CHEMICAL ENGINEERING THERMODYNAMICS I

BY.
Fatima
Arfat

DR. Ali
Almatar

Subject Chapter 1 Date 14/10/2021 No.

Thermodynamics :- is the study of the changes in the state or condition of a system when changes in temperature, state of aggregation, or its internal energy are important.

هو علم قائم على تحولات الطاقة والشغل.

H_2O

- sub cooled → يكون الماء بالحالة السائلة وممكن نسميه compressed liq
- saturated → يكون موجود بحالتين vapor liq
- super heated → يكون بالحالة الغازية نطلق عنا liq

* لنفرض عنا مطرة ماء بدي احكي شو الـ phase إلها عند $T = 25°C$

$P = 0.9$ bar

هاي حقيقة تقريبية للضغط عمان أعلى من سطح البحر بالتالي الضغط إلها راح يكون أقل من 1 atm ، لأنه كلما ارتفعنا طول عمود الهواء يقل بالتالي الضغط أقل.

sub cooled

درجة غليان الماء 100°C وحاليًا احنا عند حرارة 25°C يعني الحرارة المعرض لها الماء أقل من درجة الغليان (saturated) على الضغط يلي هي عليه.

compressed liq

لأن الضغط الموجودة عليه الماء أعلى من ضغط الـ saturated على الحرارة يلي هي عليها.

saturated water → $T = 100°C$, $P = 1$ atm

Subject chapter 1 Date 14/10/2021 No.

Thermodynamics is based upon experimental observation.

↳ كل قوانين الثرمو قائمة على تجارب
يعني حاليًا الغرض ما في اشي ينقض هاي القوانين.

Five (postulates (laws)) of thermodynamics :-

1- Two postulates deal with energy transformation. ↳ First & second laws of Thermodynam

2- The other three deal with properties. ↳ zeroth & third laws of Thermodynamics

Thermodynamic postulates : Energy Transformation :-

1- First law of thermodynamics :-

⇒ Conservation of energy - you can't get more than what you invest.

قانون حفظ الطاقة
الطاقة لا تفنى ولا تستحدث لكن تنتقل من
شكل إلى آخر.

2- second law of thermodynamics :-

⇒ It is not possible to convert all the energy of a system into useful work - you can eat as much as you want, eventually, some thing has to come out.

الطاقة محفوظة لكن لا يمكن
تحويل كل الطاقة لشغل نافع.

Subject Chapter 1 Date 14/10/2021 No.

laws of Thermodynamics:-

1- You can't win, you can only break even.
2- You can only break even at absolute zero.
3- You can't reach absolute zero.

① لو حطيت ١٠٠ واط من الطاقة راح أحصّل ١٠٠ واط (أقل) بس تعادل.

② الحالة الوحيدة يلي ممكن يصير فيها تعادل وأحصل على شغل نافع يعادل الطاقة يلي دخلتها بس عند absolute zero

③ مابقدر أوصل لل absolute zero

Thermodynamic Postulates :- Property Relationships :-

1- Zeroth law of thermodynamics :-

⇒ when each of Two systems is in thermal equilibrium with a third system, they are also in thermal equilibrium with each other.

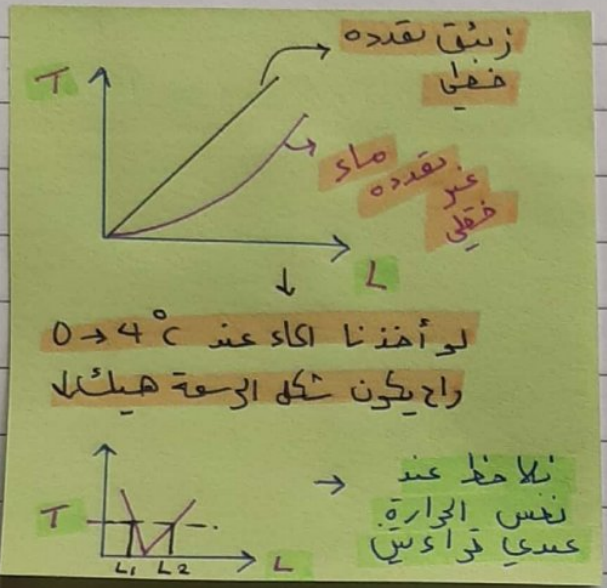
اذا عندي 3 systems (A B C)
وكان A = B
B = C
بالتالي A = C

الماء بين 0 → 4°C بصير له شذوذ للماء بتتغير الخصائص هناك يعني عند درجة حرارة وحدة بطلع عندي قراءتين

هاد القانون هو أساس موازين الحرارة مثل ميزان الحرارة الزئبقي حكينا كيف تم تقسيمه وهاد الحكي ما بيفيد وليش استعملنا زيبق مش مي

لأن تمدده مع الحرارة خطي فالتدريج في حال °C بكون منتظم بين ال 0 وال 100

Subject Chapter 1 Date 14/10/2021 No.



شو علاقة هاد القانون بموازين الحرارة :-

عنا مريض بدنا نقيس حرارته ، الميزان (A) ، المريض (C) ، الظاهر انو عنا نظامين بس ، لكن في الواقع بكون عنا نظام ثالث غايب لي هو الـ calibration (B) للي بناءًا عليه متسعنا الميزان

⇐ لما نحكي انو مريض حرارته 38°C !؟

فعليًا أول اشي صار عندي اتزان بين A و B بعدين بين C و B بالتالي عندي اتزان بين A و C ، لما نقيس الحرارة بنستنى شوي لحد ما تصير حرارة الميزان مساوية لحرارة المريض ، لكن فعليًا احنا كان عنا system غايب لي هو الماء (باردة ، ساخنة)

Pyrometer
↓
جهاز لقياس الحرارات العالية جدًا لهاد الجهاز يلي بقيسو اجنبة حرارتنا عشان كورونا

الزئبق ما بنحب كثير نستعمله لأنه سام واذا انكسر الميزان بعملنا ⚠

لو انسكب بنشتري عشان نجمعه نحطو كبريت.

2- Third law of Thermodynamics :-

⇒ The entropy of a perfect crystal is zero at absolute zero Temperature. الـ entropy هو الخاصية الوحيدة يلي بقدر أوجد حقيقة الـ

① perfect crystal عند absolute إلها ، بس
② at absolute zero

مكنتها هاد الحكي ما بصير ><

3- State Postulate :-

بتسمى phase Rule

⇒ The state of a simple, single phase thermodynamic system is completely specified by two independently variable, intensive properties.

الجداول يلي ← Table A-4 → A-8
بتهمنا. 888 897

⇒ Table A-4 :-

0.01 °C → Triple point → عند هاي الحرارة الماء يكون متواجد بالـ 3 حالات
0.6117 KPa
3 phases

⇒ في حال الماء عند 0.01°C راح يكون الحالة السائلة تحتا وفوقها الصلبة وفوقها الغازية ، أما باقي المواد بكون الصلب تحتا وفوقه السائل وفوقه الغاز ، السبب في ذلك هو خاصية شذوذ الماء.

* شذوذ الماء :-
ناتجة عن الـ H-Bonding ، كثافة الـ S أقل من الـ L ففي حال الماء الثلج بطفح فوق والسائل تحتا أما في مواد ثانية بكون العكس.

Subject Chapter 1 Date 17/10/2021 No.

⇐ في حال كان الجمع عنا ⇐ saturated liquid at triple point for water

هاد الحكي عند 0.01

لأنها هي الجمع لكن

لو تغيرت الحرارة راح

يكون عندي قيم غير ال 0

↳ entropy = 0

↳ Internal energy = 0

⇐ لنفرض بدنا نغير الجمع بحيث يصير 100°C ، بطرح من كل القيم الثانية القيم لي عند ال 100°C.

saturated liquid water at 100°C & 1 atm ← يعني بقدر أغير الجمع مثل ما بدي ، والقيم بالجدول بتتغير تباعًا بنسبة لهاد الجمع

⇐ في حال اخترنا الجمع 100°C راح نلاحظ انو القيم لي فوق ال 100°C بالجدول راح تكون سالبة ، يعني الطاقة الكامنة فيها أقل من الجمع ما بي اشي اسمو سالب كمية ، لأني باخذ فرق طاقة (بعمل مقارنة).

⇐ شو ما كان الجمع لي باخذه راح تضل التغيرات نفسها لأني باخذ changes

Subject Chapter 1 Date 17/10/2021 No.

Phase Rule ⇒

degrees of freedom = 2 + C − π

C → components: المواد الكيميائية المختلفة

π → phases

يعني أديش لازم أعطيك معلومات حتى تقدر توجد باقي المعلومات تبعتها ال system → عدد ال intensive prop.

⇒ Saturated steam Tables → 2 + 1 − 2 = 1

1 ← بس عندي H_2O

يعني بس أعطوني خاصية وحدة إما (P or T) وأنا بوجد باقي الأشياء.

⇒ super heated steam Tables → 2 + 1 − 1 = 2

2 ← أعطيني معلومتين وخذ باقي المعلومات

⇐ المعلومات يلي بنحكي عنها لازم تكون Intensive prop.

↳ T, P, $\hat{V}$, $\hat{H}$, $\hat{S}$, heat capacity, ...

لا تعتمد على حجم ال system

$\hat{V}$ ← specific volume ← مقلوب الكثافة

$\hat{H}$ → specific enthalpy ← لو بحكي total enthalpy بكون extensive prop

specific → intensive

heat capacity ↳ KJ/g.K , KJ/mol.K

extensive / extensive = intensive

Subject Chapter 1 Date 21/10/2021 No.

Macroscopic versus Microscopic Approaches :-

* Macroscopic :-

1- system is considered as a continuum.

اعتبرنا ان ال system ما الو تركيب structure less

2- The system is described by few variables ($P, T, \rho, ..$).

3- Domain of classical thermodynamics.

← هاي الثرمو يلي احنا بنتعلمها.

*** continuum ⇒**

ما بهمني كيف الجزيئات مرتبطة مع بعض بهمني الشكل الخارجي الظاهر، وطبيعة التفاعلات مع المحيط (يلي بتصير على الحدود)

Classical Thermodynamics :-

- Quantum thermo
- statistical thermo

* Microscopic :-

1- Considers the detailed molecular nature of the system.

2- The system is described by a huge number of variables (specify at least the coordinates & momenta of molecules.

3- Domain of statistical & quantum mechanics.

ما بتهمنا ما راح نتعلمها

Subject Chapter 1 Date 21/10/2021 No.

Road map to thermodynamics :- أشياء المفروض يكون عنا معرفة فيها

1 in = 2.54 cm , 1ft = 12 in

1- Physical properties (H, U, Cp, Cv ...)

=> C(H2O) = 4.184 J/g.K

2- Systems of units (SI, British ...)

3- Engineering skills & vocabulary.

4- Mathematical & computer skills.

conservation equations :-

in - out + gene = acc

conserved quantities :-

mass

moles

atoms

energy

Desired products :-

- Petrochemicals.
- Biochemicals.
- Advanced materials.
- Environmentals
- Nuclear

Subject chapter 1 Date 21/10/2021 No.

Road Map to concepts :-

⇒ Measurable (observable) quantities :-

T , P , ρ , C (heat capacity) , composition

إلها معنى

محسوس يعني

لو مسكت إيدي

على غاز بحس انو

ساخن وهكذا..

⇒ Abstract (conceptual) quantities :-

مفاهيم H , S , chemical potential , fugacity

مجردة ما إلها

معنى محسوس

∴ Product, outcome ∴

- Energy flow
  - Required heat
  - Required works
  - change in state
- Equilibrium
  - chemical equilibria
  - phase equilibria
  - combined phase & chemical eqm.

Subject Chapter 1 Date 21/10/2021 No.

Applications of Thermodynamics :-

1- Human body & health.
2- DNA & Protein folding.
3- Refrigeration systems.
4- Power plants.
5- Automotives.
6- Airplanes.
7- Air conditioning.
8- Drug discovery.
9- Advanced Materials.
10- chemical plants.
11- Space.

Subject Chapter 1 Date 24/10/2021 No.

Cyclic processes :- (شوية ردشات عنها ^^)

* ليش العرق بيطلع على شكل مقرات صغيرة ، ليش القهوة مطحونة والسكر والاسفنت صغير؟!

كلما صغرنا الحجم نزيد المساحة السطحية مقارنة بالحجم وإذا زادت المساحة السطحية متسرع الأمور (يسرع انتقال المادة أو انتقال الحرارة أو التفاعلات لي بتصير).

لما نعرق الجسم حرارته بتكون أسخن من الهواء فتتبخر مقرات العرق.

← من وين بتاخذ طاقة التبخير؟!

من الجسم بالتالي راح تقل حرارة الجسم ونحس انو برد نا.

* من وين بنجيب الكهرباء؟!

من شركة الكهرباء لي بتجيبها من محطات توليد الكهرباء لي بتجيبها من مرق الوقود.

⇐ مرق الوقود يتم من خلال cyclic processes.

الشاي لما نحط فيه سكر ونحركه السكر بذوب بسرعة ما بياخذ ثواني.

لكن لو ما حركت وقدرت أحافظ على حرارة الشاي راح ياخذ وقت طويل ليذوب (تقريبًا ما لا يقل عن 87 ساعة.

Subject Chapter 1 Date 24/10/2021 No.

* ليش لما نحط الأكل بالثلاجة يبرد ؟!

لما نحس الثلاجة من الخلف راح تكون ساخنة ، والحرارة تنتقل من الساخن للبارد ، يعني المفروض تنتقل الحرارة من خارج الثلاجة إلى داخلها حتى تتعادلو بالحرارة

* طيب كيف بتضل باردة ؟!

الثلاجة بتنقل الحرارة من المكان البارد إلى الساخن (من جوا الثلاجة بعدين بترميها للهواء الحر) عكس الاتجاه الطبيعي وهاي العملية عبارة عن cyclic process.

الخلاصة :-

أي مكان فيه وقود بتحوله لشغل . إمكانا نعالجو عن طريق cyclic process

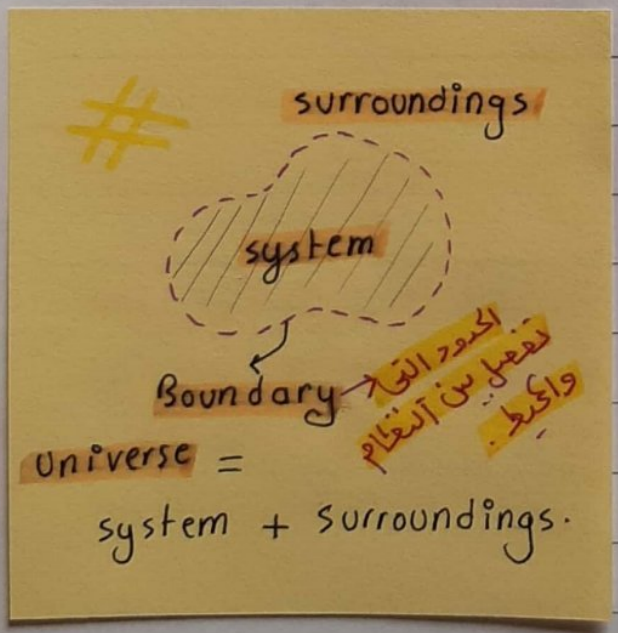
#

System, Surrounding and universe :-

⇒ **System** :- is a three dimensional region of space bounded by arbitrary surfaces called walls or boundaries which delineate the portion of the universe we are interested in studying. النظام هو عبارة عن جسم في الفضاء احنا مهتمين بدراسته (بغض النظر عن حجمه).

⇒ **Surroundings** :- (environment) is the region of physical space outside the arbitrarily selected boundaries of the system.

⇒ **Universe** :- is the system and it's surroundings.



Boundary
↓

← من أهم الافتراضات في الثيرمو انو الحدود ما إلها thick (thick = 0) ليس لها حجم (حجمها مهمل).

← أسهل للشغل، لما يكون رضيع ما بأثر على الـ interaction بين النظام والمحيط، لأنو لو إلو حجم راح يعزل النظام عن المحيط.

Subject Chapter 1 Date 24/10/2021 No.

⇒ Walls and Boundaries :-

* The contact surface shared by both system and the surroundings.

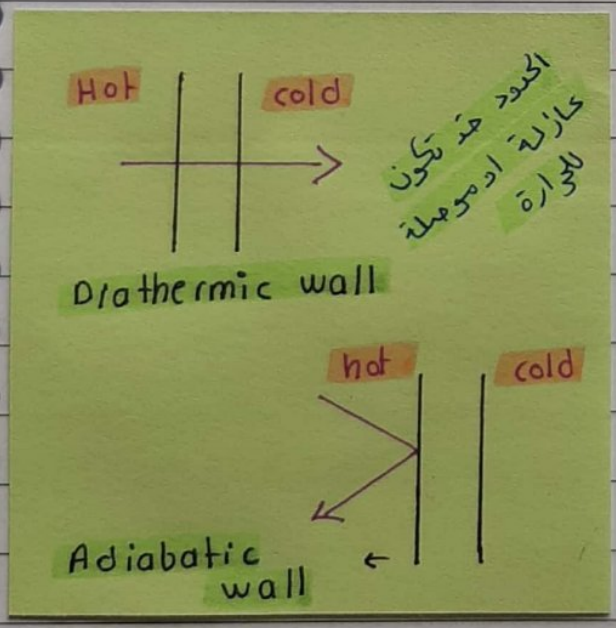
* Mathematically :- the boundary has zero thickness, and thus it can neither contain any mass nor occupy any volume in space.

1- May be real or imaginary. ممكن تكون حقيقية أو متخيلة

2- May change size or shape. ممكن تكون ثابتة الشكل والحجم أو متغيرة الحجم (مثل البالون).

3- May be at rest or motion. ممكن تكون ساكنة أو متحركة

مثال لو كنت داخل قطار بعيش بسرعة معينة سرعتي بالنسبة للقطار صفر، سرعتي بالنسبة للسكة هي نفسها سرعة القطار، يعني ممكن اتعامل مع الشخص انو كالو أو مع القطار.



Diathermic → قابلة للتوصيل
توصل الحرارة باتجاهين.

Contact Mechanisms :-

⇒ The system can be in contact with its surroundings by three distinct mechanisms :- الطرق يلي من خلالها بصير عندي interaction بين النظام والمحيط.

① Energy Transfer

Mechanical (work transfer) → changes in the pressure in the surroundings leads to change in the pressure of the system.

Thermal (heat transfer) → Changes in the temperature in the surroundings leads to change in the temperature of the system.

② Material /chemical Transfer

↓

The system and surroundings are able to exchange matter.

Subject Chapter 1 Date 24/10/2021 No.

Types of systems :-

1- **Isolated** :- changes in the surroundings do not lead to changes in the system. there is no mode of contact between the system and its surroundings.

2- **Closed** :- Mass is not allowed to be exchanged between the system and its surroundings.

3- **Open** :- Mass is allowed to be exchanged between the system and its surroundings.

system	Exchanges with surroundings	Total energy	Total mass
Open	Energy and mass	Does not remain constant	May change
Closed	Only energy	Does not remain constant	Remains constant
Isolated	Neither energy nor mass	Remains constant	Remains constant

⇒ Adiabatic ⇒ ممكن يكون open وممكن يكون closed ، هو فقط لا يسمح بانتقال ال heat

Subject Chapter 1 Date 24/10/2021 No.

ChE and ME :- اختلاف مصطلحات بينا وبين الميكانيك

⇒ An open system is called control volume (CV).

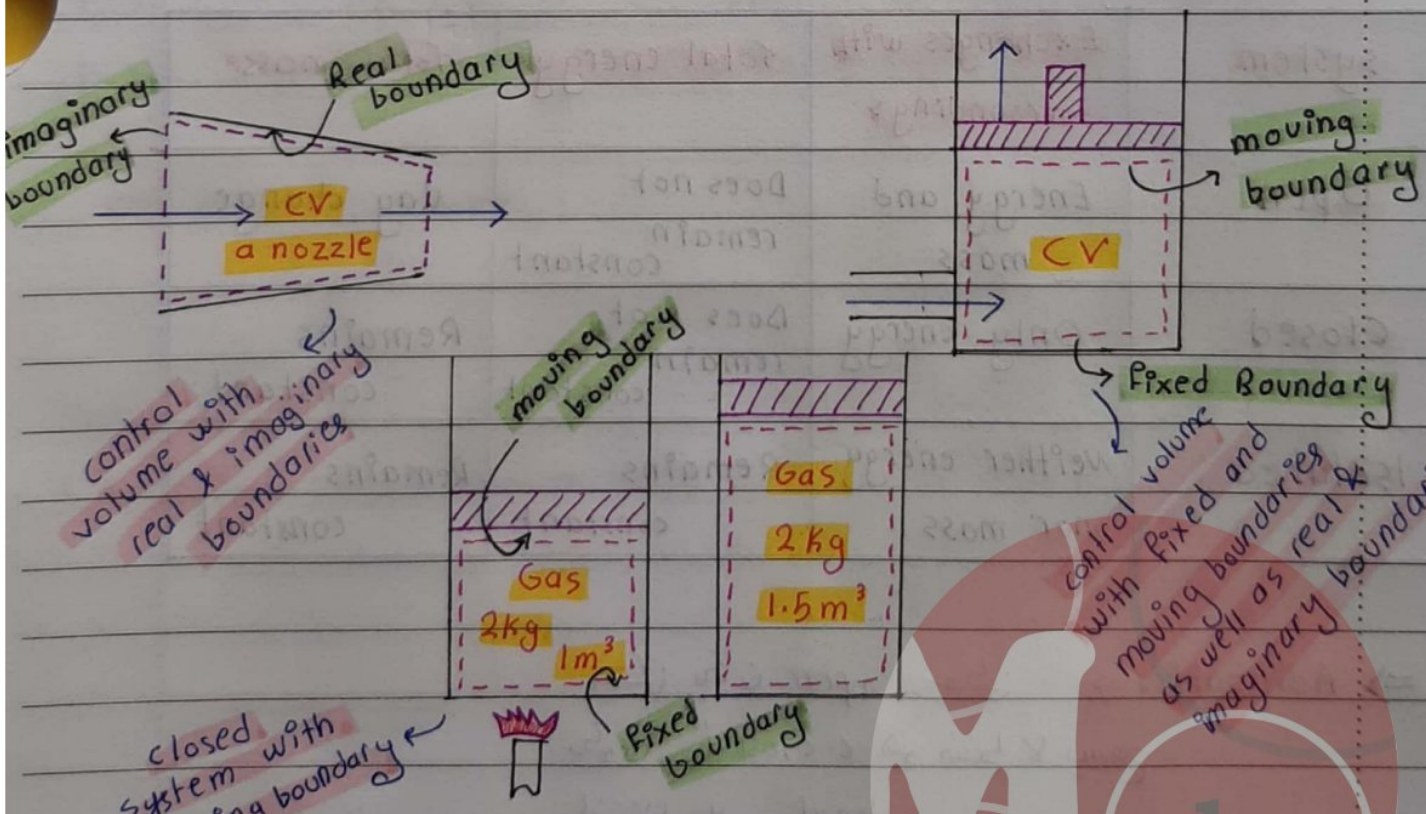
⇒ A closed system is called a control mass.

control volume ↓

إحنا بنطلع على ال in وال out ، الميكانيك بتهتم بالجم يلي جوا ال Boundary

control mass ↓

الكتلة ثابتة لأنو لا يوجد mass in و mass out



Subject Chapter 1 Date 26/10/2021 No.

Thermodynamic Properties :-

⇒ A system is characterized by thermodynamic variables called properties which can either be intensive or extensive.

⇒ Any of the intensive variables of the equilibrium system e.g. T, P, specific volume, specific energy etc. is a state variable.

⇒ The value of any state variable depends only on the equilibrium state of the system, not on the path by which the equilibrium state was reached.

⇒ Thermodynamic potentials are useful for the description of non-cyclic processes.

⇒ They are used along with the First law of Thermodynamics.

⇒ System work and entropy play a major role.

Subject Chapter 1 Date 26/10/2021 No.

⇒ P → absolute pressure (مستحيل يكون سالب)

$P_{abs} = P_{gauge} + P_{atm}$ إذا قل الضغط الماء (السائل) يغلي على حرارة أقل.

↳ ممكن يكون سالب لما يكون عندي vacuum

⇒ V → volume (total quantity) m^3

v → specific volume → m^3/kg

→ specific molar volume → m^3/mol

⇒ T → absolute Temp (K)

⇒ S → entropy كيف ذرات المادة موزعة الطاقة فيها

مدى عشوائية مستويات الطاقة (مستويات الطاقة مكممة) لها مستويات محددة وما في اشي بجبر الجزيء يكون في مستوى معين (ترتيب الجزيئات في المستويات نعبر عنه بال entropy.

⇒ U → Internal energy :- energy needed to creat a system.

الطاقة الكامنة (الطاقة الموجودة دائما مع ال system بغض النظر عن الظروف المحيطة فيها لها علاقة بطبيعة ال material.

* أنواع الحركات (الطاقات) التي تشكل U :-

1- vibrational. حركة اهتزازية

2- translational. حركة انتقالية

3- Rotational. حركة دورانية.

Subject Chapter 1 Date 26/10/2021 No.

⇒ A → Helmholtz energy :- energy needed to create a system minus the energy you can get from the environment.

$$A = U - TS$$

تعادل أديش ممكن يطلع شغل.

أديش بدي طاقة عشان أشكل النظام بالظروف يلي هو عليها

أديش ال environment تلعب دور عليه (interaction) مع المحيط

G & A
↳ work function

إذا أخذت من النظام شغل أو طاقة، الشغل راح يكون أكبر شغل ممكن أعطيه للنظام.
(max)
↳ في الواقع الطاقة الفعلية يلي ممكن أحصلها بتكون أقل من هاي الطاقة.
#

إذا أعطيت النظام شغل أو طاقة، الشغل راح يكون أقل شغل ممكن أعطيه للنظام.
(min)
↳ في الواقع الطاقة الفعلية يلي ممكن أحصلها بتكون أكبر من هاي الطاقة.
#

⇒ H → Enthalpy :- energy needed to create a system plus the work needed to make room for it.

$$H = U + PV$$

internal energy

work

V↑ توسع expansion P↓

تدريش بإمكاني أحول هذا النظام عن طريق توفير شغل، أديش بقدر أرفع أو أنزل طاقة لهذا النظام عن طريق آخذ منو شغل.

⇒ G → Gibbs energy :- total energy needed to create a system and make room for it minus the energy you can get from the environment.

أهم معيار في ال equilbrium

$$G = (\underbrace{U + PV}_{H}) - TS$$

Continuum :-

→ Matter is made up of atoms that are widely spaced in the gas phase. Yet it is very convenient to disregard the atomic nature of a substance and view it as a continuous, homogeneous matter with no holes, that is a continuum.

→ Allows us to treat properties as point functions and to assume they vary continually in space with no jump discontinuities.

→ Valid as long as the size of the system is large relative to space between the molecules.

Subject Chapter 1 Date 26/10/2021 No.

Intensive and extensive variables :-

Intensive :-

1- Independent of the size of the system e.g. T, P, density etc.

2- Can vary throughout the system (local distributions, nonisotropic.

Extensive :-

1- Scale with the size of the system, and are proportional to its volume, if other conditions are kept constant e.g. mass, volume, total energy etc.

2- Can be transformed into intensive variables by dividing by the total mass/moles or total volume to obtain specific properties.

specific properties derived from extensive properties

Extensive property	symbol	units SI	Intensive property	symbol	units SI
volume	V	m^3 or L	specific volume	v	m^3/Kg L/Kg
Internal energy	U	J	specific internal energy	u	J/Kg
Entropy	S	J/K	specific entropy	s	J/(Kg.K)
Gibbs energy	G	J	specific Gibbs energy	g	J/Kg
Enthalpy	H	J	specific enthalpy	h	J/Kg
Heat capacity at constant volume	C_v	J/K	specific heat capacity at constant volume	c_v	J/(Kg.K)
Heat capacity at constant pressure	C_p	J/K	specific heat capacity at constant pressure	c_p	J/(Kg.K)

Subject Chapter 1 Date 26/10/2021 No.

Conjugate variables :-

⇒ Extensive and intensive variables tend to come in pairs (conjugate variables). The incremental work done on a body is the product of an intensive variable and the increment in the conjugate extensive variable.

في عنا مجموعة من ال variables بتيجي مع بعض خاصة لما بدي أحسب الشغل.

a- Pressure & Volume :-

intensive extensive

$$W = P\,V \qquad (P\uparrow \quad V\downarrow)$$

J Pa m^3

$$Pa \cdot m^3 = J$$

$$\frac{N}{m^2} * m^3 = N \cdot m = J$$

في كل حالة عنا حاصل ضرب واحد Two variables extensive والثاني intensive

b- Interfacial tension & area :-

intensive extensive

انكسارات السطحية بين phases مختلفة

$$W = X \cdot A$$

J m^2

interfacial tension

$$X = \frac{J}{m^2} = \frac{N \cdot m}{m^2} = N/m$$

c- Tension & length :-

$$\underset{J}{W} = \underset{\text{Tension}}{X} \cdot \underset{m}{L}$$

$$X = \frac{J}{m} = \frac{N \cdot m}{m} = N$$

PV work :-

⇒ Work is defined as the area under the PV diagram.

الشغل يمثل المساحة تحت منحنى الضغط والحجم.

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

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P\,dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{F}{A}\, d(\underbrace{A \cdot X}_{\text{constant}}) = \int_{V_1}^{V_2} \frac{F}{\cancel{A}} \cdot \cancel{A}\, dX$$

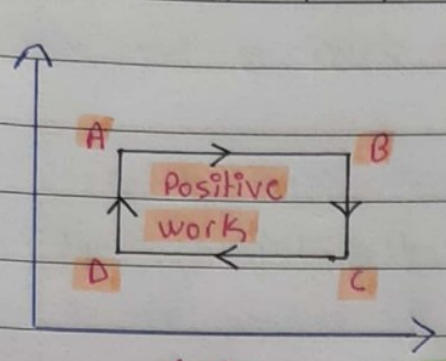
$$= \int_{X_1}^{X_2} \underbrace{F}_{\text{constant}} \cdot dX = F \cdot \Delta X$$

$$P\,\Delta V \overset{?!}{=} F \cdot \Delta X$$

$$Pa \cdot m^3 = N \cdot m$$

$$\frac{N}{m^2} \cdot m^3 = N \cdot m$$

$$N \cdot m = N \cdot m = J$$



(A)

$W(AD) = W(BC) = 0$

الضغط متغير لكن الحجم ثابت
بالتالي التكامل يساوي صفر.

$W(A \to B)$ (positive)

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

constant

$V_2 > V_1$

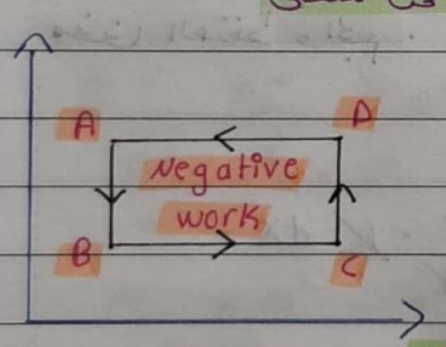
ΔV (positive)

$\therefore W(+)$

$$\Rightarrow W_{Total} = W_{AB} + \cancel{W_{BC}}^{0} + W_{CD} + \cancel{W_{AD}}^{0}$$

positive — positive — negative

المساحة تحت
هذا المنحنى أقل
من المساحة تحت منحنى
AB



(B)

$W(D \to A)$ (positive)

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

constant

$V_2 < V_1$

ΔV (negative)

$\therefore W(-)$

$$\Rightarrow W_{Total} = W_{AD} + \cancel{W_{DC}}^{0} + W_{CB} + \cancel{W_{BA}}^{0}$$

negative — negative — positive

المساحة تحت
هذا المنحنى أقل
من المساحة تحت منحنى
AD

Extrinsic and Intrinsic Properties :-

Extrinsic properties :-

⇒ Quantities whose value is independent of the nature of the substance within the system boundaries e.g, translational and rotational velocities of a body around its center.

Intrinsic properties :-

⇒ quantities whose value depend on the nature of the substance composing the system e.g, density, pressure, and Temperature.

Thermodynamic state :-

Thermodynamic state :- of a system is the condition of the system as characterized by the values of its properties.

State property :- is a property that only depends on the thermodynamic state of the system, not the path taken to get to that state.

State postulate (Phase rule) :- Specifying two state variables uniquely determines the values of an equilibrium single-component, single-phase system.

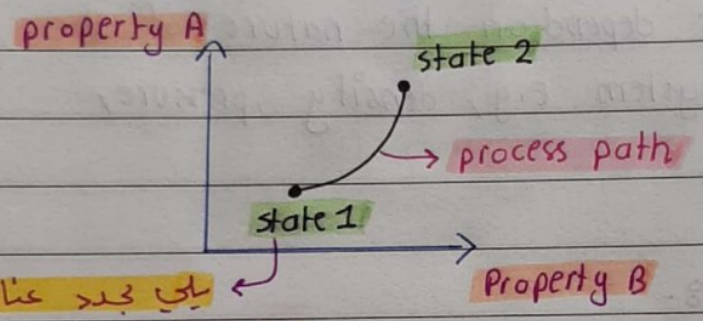
Subject Chapter 1 Date 28/10/2021 No.

Thermodynamic Processes and Paths :-

Process :- a change or a sequence of changes in the thermodynamic state of the system.

Process Path :- the specific series of states through which the system posses.

الطريق يلي بمشي فيها من state لـ state



يلي بحدد عنا حالة المادة (٥٥, supcooled)
هي الظروف يلي بحددها على state معينة.

Quasistatic process :- A process passing through a succession of equilibrium states.

بقدر أتوك من حالة إلى حالة بخطوات شبه ساكنة
هم يلي بأدم انو نوصل لـ reversible process ⇐ يعني
بقدر أنقل الـ system بتبعي من state 1 لـ state 2
بالزبط بدون ما أضيف work أو heat interaction
من الـ surrounding وهاد الحكي مش موجود في العالم
Idealy (مثالي)

Subject Chapter 1 Date 28/10/2021 No.

⇒ To describe a process completely, one should specify the initial and final states, as well as the path it follows, and the interactions with the surroundings.

State versus Path Functions :-

State Functions :-

1- Properties of the system. properties a substance can possess e.g :- T, P, S, U, V, H, A, and G.

2- Have exact differentials (value depends on current state).

Path (Process) Functions :-

1- Properties of a process. properties only a process can possess e.g :- heat and work.

2- have inexact differentials (value depends on how change occurs).

Subject Chapter 1 Date 28/10/2021 No.

Reversible Processes :-

Reversible :- قابلة للانعكاس

1- Infinitesimally slow.
2- At any stage, equilibrium is not disturbed.
3- Takes infinite time to completion.
4- work obtained is max, work consumed is min.
5- An idealization which we approach but we can never attain.

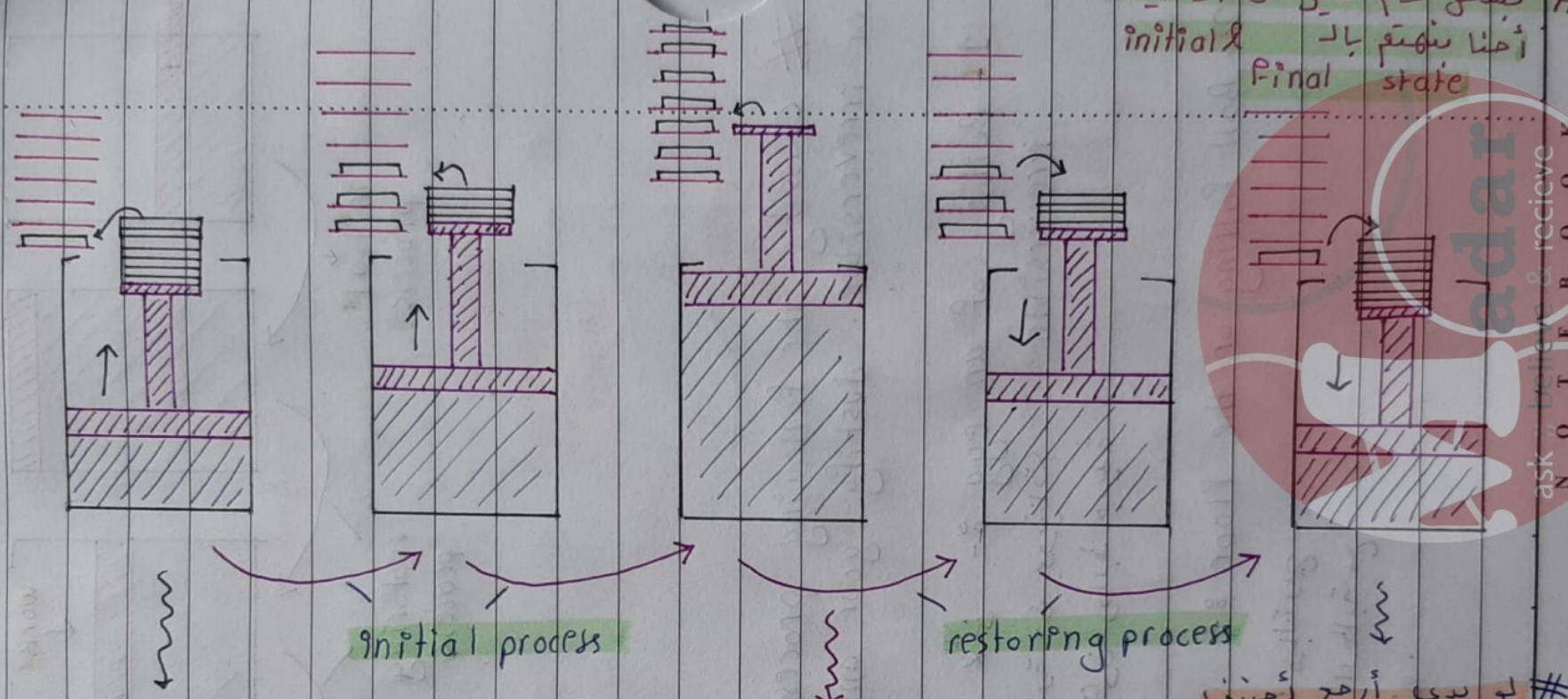
* الإبرة، لو بدي أمشي Quasistatic بحيث أتحرك بشكل بطيء عشان ما يصير احتكاك بين ال piston وسطح الإبرة، اذا ضغطت الإبرة راح تتحرك وتثبت نتيجة الاحتكاك، عشان اتجاوز هذا الاحتكاك لازم أبذل شغل.

Irreversible :- غير قابلة للانعكاس

1- Carried out rapidly.
2- Equilibrium may exist after the completion of the process.
3- Takes a finite time to completion.
4- work obtained less than max, work consumed more than min.
5- Natural processes : mixing, chemical reactions, friction, unrestrained expansion of gases, heat transfer through finite temperature difference.

Subject Chapter 1 Date 28/10/2021 No.

بشكل عام كثير من الأحيان أحنا بنهتم بال initial & Final state



عندي كتلة معينة فوق ال piston إذا شلت هاي الكتلة وداخل الأسطوانة غاز ، راح يرتفع ال piston للأعلى عشان الكتلة قلت بالتالي الضغط راح يقل ويصير توسع

$$\downarrow P = \frac{F}{A} = \frac{\downarrow mg}{A}$$

constant

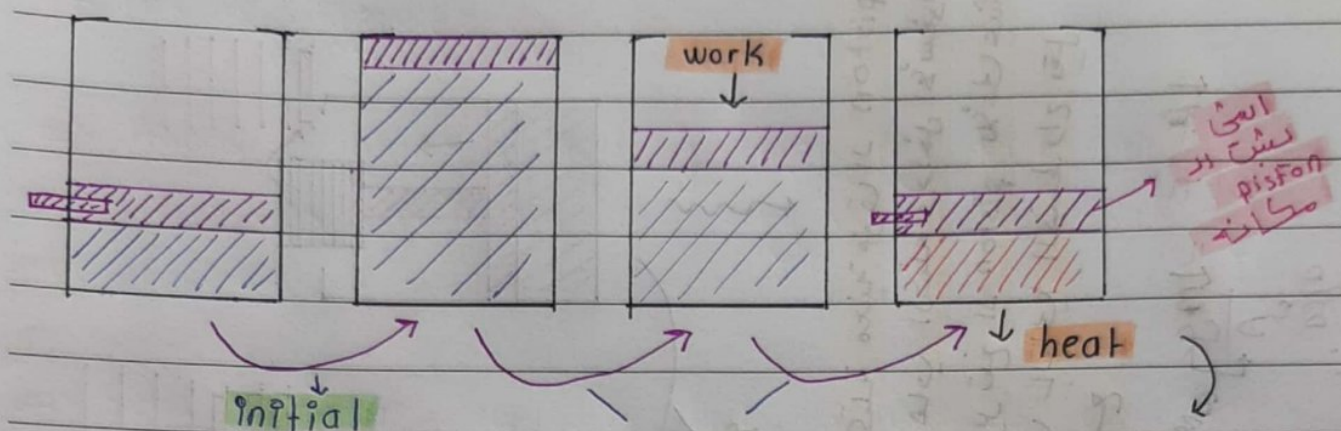
area of piston

لما أشيل كل الكتل يلي فوق راح نلاحظ انو ال piston راح يرتفع ويثبت عند سطح الاسطوانة عشان الزوايا القائمة خليوه يثبت ، لو ما كان في زوايا راح يضل ال piston يرتفع لحد ما وزن ال piston يتوازن مع الضغط يلي بعمله الغاز عليه ، عندي قوتين وزن ال piston حاول يضغط الغاز والضغط تبع الغاز نفسه بحاول يرفع ال piston ، التوازن بينهم هو يلي راح يحدد الموقع يلي راح يوقف ال piston عنده.

لو بدي أرجع أضيف الأوزان يلي شلتها مرة ثانية بنسمي العملية restoring process يعني بدي ارجع ال system لنفس ال initial state

initial = Final

Subject Chapter 1 Date 28/10/2021 No.



لنفرض بدي اسخن هاد الغاز بالتالي الغاز راح يتمدد وحجمه بزيد، لو سحبت heat الضغط راح يقل

Classify the following processes as being reversible or irreversible. Justify your answer :-

1- Boiling of an egg :- irreversible

البيضة لما نسلقها بتجمد لأنو بصير عنا تفاعل، البيضة عبارة عن بروتينات البروتينات نتيجة الحرارة بتصير تكون روابط جديدة على شكل solid.

2- Ball falling on the floor :-

إذا وقعت كرة راح تظل تنط وبالتدريج راح يقل الارتفاع نتيجة احتكاك الطابة مع الهواء ومع الأرض وبالآخر تتوقف.

Subject Chapter 1 Date 28/10/2021 No.

Iso Processes :-

iso → تقابل ، تطابق

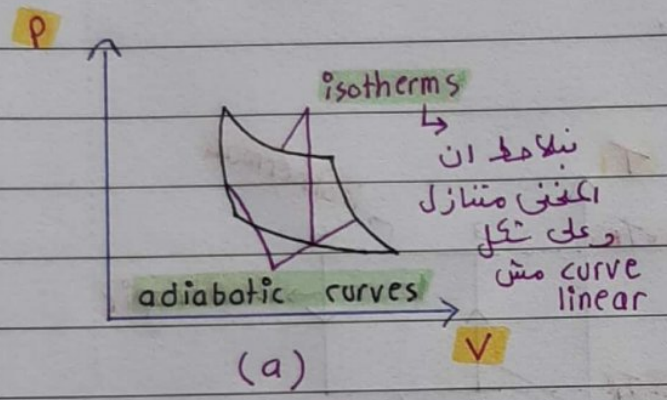
1 - Isothermal => occurs at constant Temperature.

2 - Isobaric => occurs at constant pressure.

3 - Isochoric => (isometric) occurs at constant volume.

4 - Isentropic => occurs at constant entropy.

5 - Isenthalpic => occurs at constant enthalpy.



(a)

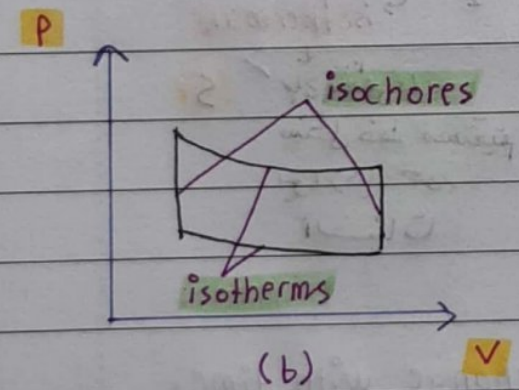
نلاحظ ان المنحنى متنازل وعلى شكل curve مش linear

$PV = nRT$ → constant

↳ constant (closed system)

$PV = C$

$P = \frac{C}{V}$ → علاقة عكسية غير خطية

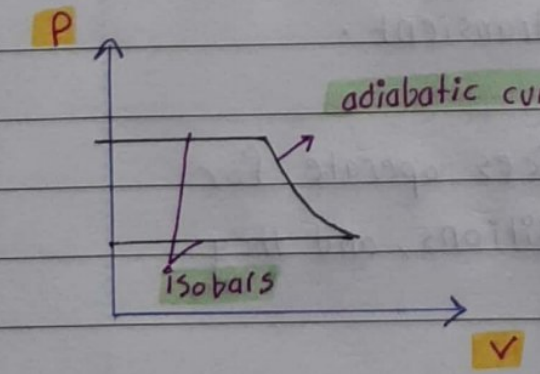


(b)

$PV = nRT$

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

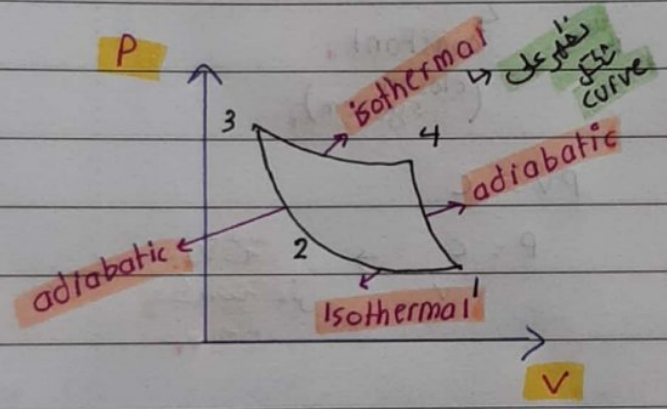
أنا بهمني تغير الحجم مع الضغط راح يكون عمودي

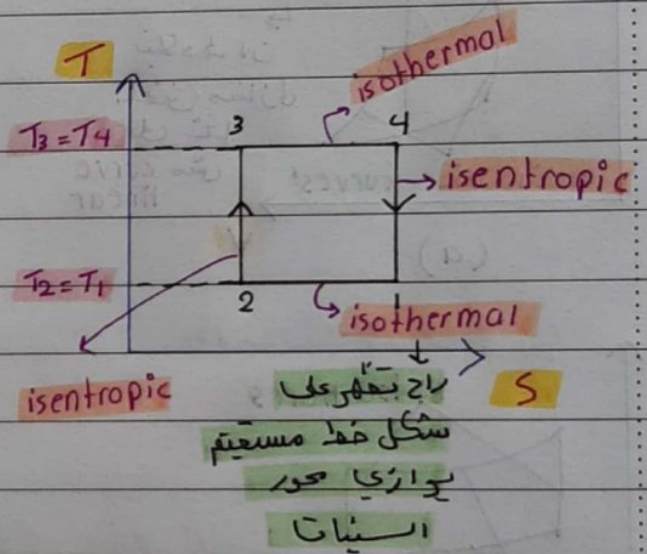


Process diagrams :-

⇒ Process diagrams plotted by employing thermodynamic properties as coordinates are very useful in visualizing the processes.

⇒ Some common properties that are used as coordinates are T, P and V (or specific v).





The steady-flow process :-

↳ no accumulation (in = out)

⇒ The term steady state implies no change with time. The opposite of steady is unsteady or transient.

⇒ A large number of engineering devices operate for long periods of time under the same conditions, and they are classified as steady-flow devices.

Subject Chapter 1 Date 28/10/2021 No.

⇒ **Steady flow process** :- a process during which a fluid flows through a control volume steadily.

⇒ Steady-flow conditions can be closely approximated by devices that are intended for continuous operation such as turbines, pumps, boilers, condensers, and heat exchangers or power plants or refrigeration systems.

Subject Chapter 2 Date 31/10/2021 No.

Cyclic Processes :-

→ A process such that the system passes through a sequence of states, ending up back in its original state.

بيلش بـ state معينة وبنلف

وبنتهي بنفس الـ state . ← تحددها الـ state point →

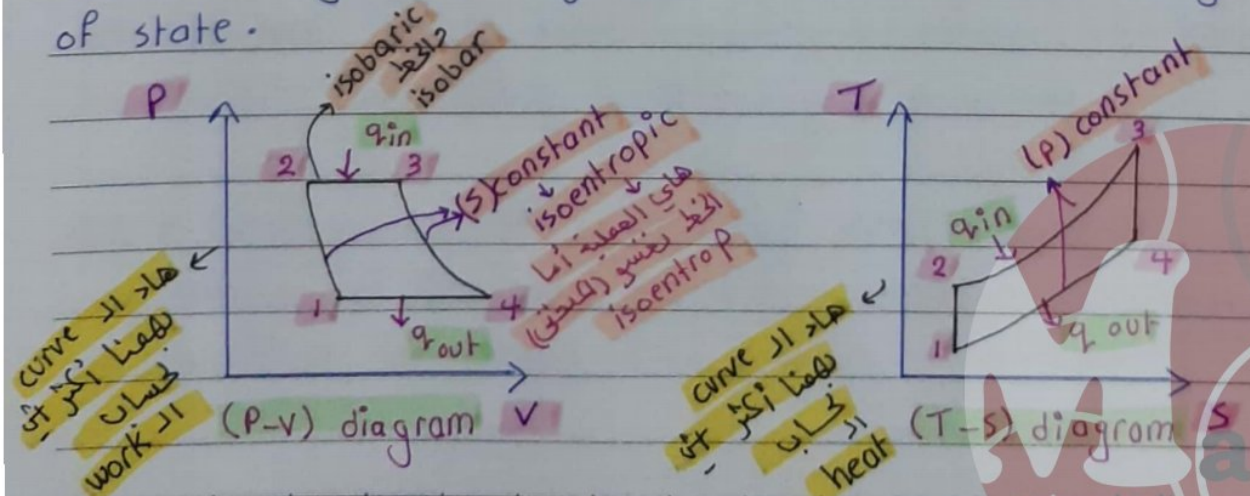
phase Rule ← بالعادة 2 intensive prop.

⇒ Mathematically, the cyclic process can be represented for any property as

$$\oint dy = 0$$

⇒ Conversely, if the integral of a quantity dy over an arbitrary cycle is zero then the quantity y is property.

⇒ At the conclusion of a cycle all properties have the same values they had at the begining. Consequently, over the cycle the system experiences no net change of state.



Subject Chapter 2 Date 31/10/2021 No.

→ state function → لا تهتم بالمسار

يعني لو عملت دائرة وارجعت لنفس النقطة يلي بلشت منها الخواص عند هاي النقطة مابهمها أديش لغيت كل الخواص راح تظل نفسها

(P, V, H, S, ...)

← بس الـ work والـ heat بيتغيرو لأنهم بهتموا بالمسار (path function)

بنلاحظ كمان أن بعض الـ phase diagram على process معينة بتكون curve وعلى phase diagram ثاني بتبين line سواء عمودي أو أفقي.

cyclic process →

نعاملها على أساس انها closed system

بالتالي عدد المولات ثابت

ليش الـ isothermal بكون على شكل منحنى الـ (P-V) diagram !؟

$PV = nRT$

↳ constant

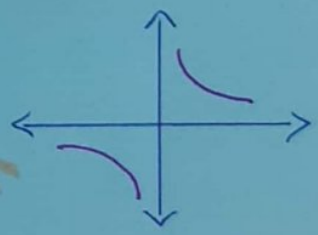
$PV = \alpha T$ ↳ isothermal T constant

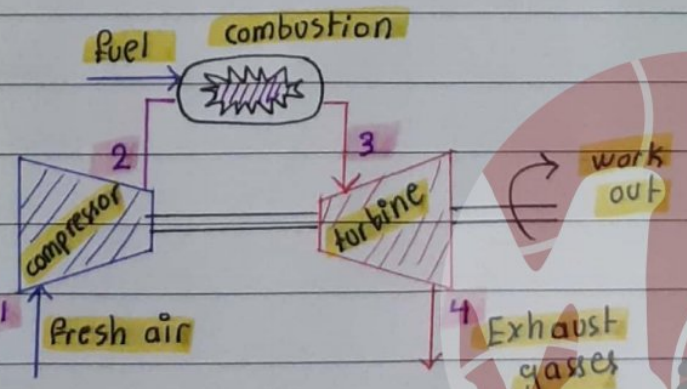
$PV = C \rightarrow P = \frac{C}{V}$

علاقة عكسية غير خطية بين P و V

لو رسمنا المنحنى راح يطلع على شكل curve

$y = \frac{1}{x}$





Subject Chapter 2 Date 31/10/2021 No.

Applications of cyclic Processes :-

1- steam circulating through an electrical power plant executes a cycle.
محطات توليد الكهرباء

2- Refrigerants in a domestic or industrial plant passes through a cycle.
البتريد

حكينا قبل كيف الثلاجة بتحافظ على
لي جواها يضل بارد ><

← في عنا محبس بالثلاجة برجع غاز
البتريد لسائل ، وهذا السائل برجع
ياخد حرارة من الثلاجة ويتبخر ،
وبزت هاي الحرارة لخارج الثلاجة
عشان هيك بتحافظ على برودة
الثلاجة من جوا
(يعني ياخد حرارة من الثلاجة وبرميها
برة)

cooling tower
↓
أبراج البتريد ، وظيفتهم بتريد
مياه البتريد عن طريق بتبخير جزء
منها (البتبخر هاد لي بنشوفه)

#

بالسنة لل cyclic متعارف
عليه انها تكون 4
خطوات (ممكن يكون
أكثر)

الدكتور حكا حكي كثير ><
الخلاصة ⇐

← بنحرق وقود ← بنحز ماء ← بطلع
steam ← هاد ال steam بنوديه
على turbine ← هاد ال turbine
بطلعلنا كهرباء .

heat $\xrightarrow{\text{تحول}}$ work → steam
طاقة الاحتراق — كهرباء — الماء برجع بلفا ال system

cyclic system

Subject Chapter 2 Date 31/10/2021 No.

Simplified Analysis of cyclic Processes :-

⇒ first law of thermodynamics with a unit mass (1 kg) in closed system.

↳ مكينا انو راح نفرض انو ال closed system ← cyclic processes

↓ mass constant

no (mass in & mass out)

⇒ Negligible KE & PE.

↳ يتم اهمالهم لأنو قيمهم قليلة مقارنة بالتغيرات لـ (ΔU, Q, W)

⇒ For any step in the cycle ⇒

↳ لأي خطوة بال cycle بتحقق هاي المعادلة

$$\Delta U = Q - W$$

- ΔU: change in internal energy
- Q: heat transfer rate
- W: work transfer rate

على ال step يلي أنا فيها

Q → done on sys (+)
Q → done by sys (−)
W → done on sys (−)
W → done by sys (+)

ليش بنهمل الطاقة الحركية وطاقة الوضع ؟!

0 m/s → 100 m/s

↳ 360 km/h

↳ سرعة عالية

$m = 1 kg$

$\Delta EK = \frac{1}{2} m (\Delta v)^2$

$= (0.5)(1)(100^2 - 0^2) = 5000 J$

← 5 kJ ← قيمة قليلة

← لو عندي ماء بدي ارفع حرارتو من 20°C → 30°C ↗

$q = m C_v \Delta T$

$= (1)(4.18) \frac{kJ}{kg \cdot K} (30 - 20)°C$

$q = 41.8 kJ$ → تسخين الماء 10 درجات يعادل 8 أضعاف الطاقة الحركية

latent heat of vap. (H_2O)

$= 2268 kJ/kg$

↳ هاد الرقم مقارنة لـ 5 kJ كثير كبير بالتالي بنهملها

بكون التركيز بس على :

Q, W, H, U

$PE = mg\Delta Z$

$= (1)(10)(100) = 1 kJ$

↳ رقم قليل (يهمل)

← نفس الحكي بنطبق على PE

Subject Chapter 2 Date 2/11/2021 No.

Example :- $\Delta U = Q - W$

A cyclic process is carried in fours steps on a closed system composed of one mole of an ideal gas. The following table has some missing values. Fill in the missing values ?!

step	ΔU (J)	Q (J)	W (J)	step type
a	0	-2000 J	-2000	isothermal
b	2000	0	-2000 J	adiabatic
c	-1000 J	-1000 J	0	isochoric
d	-1000	2000 J	3000	General
Process	0	-1000 J	-1000 J	cycle

لأنو لفينا وارجعنا لنفس النقطة الـ state prop بكونو صفر

هاي الطاقة يعني أنا أخذت heat عن طريق اني أعطيتها work

$W_{cycle} = W_a + W_b + W_c + W_d$

$Q_{cycle} = Q_a + Q_b + Q_c + Q_d$

* ΔU, ΔH → functions of Temp. (for ideal gas)

ΔU ← تعتمد على الحرارة

$\Delta U = 0$ (T → constant) → isothermal

* $W = P\Delta V$

مستحيل يكون صفر لأنو abs

$W = 0$ ∴ $\Delta V = 0$ → $V_i = V_f$ → isochoric

Subject Chapter 3 Date 2/11/2021 No.

Energy change of a system, ΔE system :-

⇒ The determination of the energy change of a system during a process involves the evaluation of the energy of the system at the beginning and at the end of the process, and taking their difference.

Energy Change = Energy at final state − Energy at initial state

$$\Delta E_{system} = E_{final} - E_{initial} = E_2 - E_1$$

Total energy E of a system :-

⇒ In the absence of nuclear changes, electric, magnetic, and surface tension effects (for simple compressible systems), the change in the total energy of system during a process is the sum of the changes in its internal, kinetic, and potential energies.

$$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

$$\Delta U = m(u_2 - u_1)$$

$$\Delta KE = \frac{1}{2} m (V_2^2 - V_1^2)$$

$$\Delta PE = mg(Z_2 - Z_1)$$

Subject Chapter 3 Date 2/11/2021 No.

Forms of energy balance (EB) :-

⇒ Balance
- Integral (difference) → $E_{in} - E_{out} = \Delta E_{sys}$ (KJ)
  - ↳ يعني التغير الكلي بين لحظة ولحظة
- Differential → $\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \frac{dE_{sys}}{dt}$ (KW)
  - ↳ في حال بدي عند لحظة معينة

⇒ Material balance (MB) is a key in solving many problems in combination with energy balance.

$m_{in} - m_{out} = \Delta m_{sys}$, $\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \frac{dm_{sys}}{dt}$ (kg/s)

integral — differential

in − out + gen − cons = Acc

- in: الكهاجرين للأردن
- out: الكهاجرين خارج الأردن
- gen: عدد الكواليد
- cons: عدد الوفيات
- Acc: بمثل شو قاعد يصير داخل ال system ، نتيجة كل التفاعلات هاي شو صار ال system بتبي (العدد الحالي من السكان)

يحصلو على ال boundary بين ال sys وال surr

يحصلو داخل ال bulk داخل ال sys

Difference form of the balance equations :-

amount of θ in the system at time $t+\Delta t$ — amount of θ in the system at time t = amount of θ that entered the system across system boundaries between t & $t+\Delta t$

— amount of θ that left the system across system boundaries between t & $t+\Delta t$ + amount of θ generated within the system between t & $t+\Delta t$

$$\Rightarrow \frac{\theta(t+\Delta t)-\theta(t)}{\Delta t}$$

= rate at which θ enters the system across system boundaries.

− rate at which θ leaves the system across system boundaries.

+ rate at which θ is generated within the system.

Take the limit as $\Delta t \to 0$ $\Rightarrow \frac{d\theta}{dt} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\theta(t+\Delta t)-\theta(t)}{\Delta t}$

$\therefore \frac{d\theta}{dt}$ = rate of change of θ in system = rate θ enters − rate θ leaves + rate θ generated

This equation is general & applies to both conserved & nonconserved quantities.

In − out + gen − cons = Acc

إيداع رصيد — سحب رصيد — الفوائد وارباح الاستثمارات — رسوم البنك — التغير في الأموال (زاد، قلت)

Conservation of mass :-

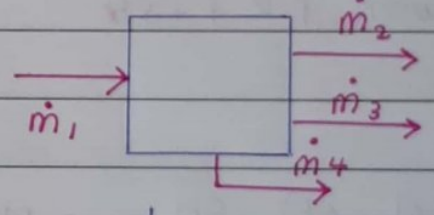
⇒ Substitute θ with m to obtain the proper form

differential mass balance

$$\frac{dm}{dt} = \sum_{k=1}^{K} \dot{m}_k$$

$\dot{m}_k$ → In (+ve), out (−ve)

rate of change of mass — mass flowrate



$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4$$

Integral mass balance

$$m(t_2) - m(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} \left(\sum_{k=1}^{K} \dot{m}_k \right) dt$$

اذا كان عنا

constant flowrate → $= \sum \dot{m}_k \Delta t$

Subject Chapter 3 Date 4/11/2021 No.

First law of thermodynamics (Energy Balance) :-

⇒ The net change (increase or decrease) in the total energy of the system during a process is equal to the difference between the total energy entering & the total energy leaving the system during that process

1- The boundaries of the system may be stationary or moving. if they are moving it can be due to expansion/contraction, or the system as a whole is moving, or both.

2- Mass may flow into one, several, all, or none of the k entry ports.

3- Energy → In form of heat may enter or leave the system across its boundaries.
→ In form of work may enter or leave the system across its boundaries.

$$\dot{m} = \sum_{k=1}^{K} \dot{m}_k \qquad \dot{W} = \sum_{j=1}^{J} \dot{W}_j \qquad \dot{Q} = \sum_{l=1}^{L} \dot{Q}_l$$

#حكينا أشكال الانتقال بين النظام والمحيط (m, W, Q)

الشغل الداخل والخارج ويعني الكميق بالنسبة لل heat و ل mass

Subject Chapter 3 Date 4/11/2021 No.

Formal sign convention :-

1- Heat Q
- → to a system (+)
- → from a system (−)

2- Work W
- → Done by system (+)
- → Done on system (−)

3- Mass
- → Into a system (+)
- → out of a system (−)

Conservation of Energy :-

⇒ Substitute θ with the sum of the internal, kinetic and potential energy of the system

$$\theta = E = m\left(u + \frac{v^2}{2} + gz\right) = U + m\left(\frac{v^2}{2} + gz\right)$$

Subject Chapter 3 Date 4/11/2021 No.

⇒ Energy is a conserved quantity. Consequently, the energy balance takes the form

$$\frac{d}{dt}\left(U + m\left(\frac{V^2}{2} + gz\right)\right) = \text{rate at which energy enters system.} - \text{rate at which energy leaves system.}$$

Integral & Differential forms of the first law of Thermodynamics :-

لو عنا closed بنشيل التغير بالكتلة

$$\Delta E_{system} = E_{in} - E_{out} = (Q_{in} - Q_{out}) + (W_{in} - W_{out}) + (E_{mass\,in} - E_{mass\,out})$$

$$\Delta\left(m\left(u + \frac{V^2}{2} + gz\right)\right) = Q - W + \int \sum_i \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right) dt$$

Q → J

u: internal energy

system acc بتغير داخل النظام

h_i: enthalpy

$\frac{V_i^2}{2}$: KE

gz_i: PE

هون بحملو على ال boundary

$h_i = u + \boxed{PV}$

PV → ?!

لو عنا steam flow جاي بالآخر

بدمش يلي جتلو وبنقلو طاقة وبدمشو بعض وهكذا (بالتالي هاد work ، النظام لحالو ماني أي تغيرات مثل مبدأ أجار الدومينو

هاي المعادلة حالة عامة وأنا بناءاً على المعطيات بلغي يلي ما بدي إياه.

مجموع ال interaction بين النظام والمحيط يلي بصير على الحدود لازم يبين على شكل accumulation في ال system

$$\frac{dE_{sys}}{dt} = \dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = (Q_{in} - Q_{out}) + (\dot{W}_{in} - \dot{W}_{out}) + (\dot{E}_{in\,mass} - \dot{E}_{out\,mass})$$

$$\frac{d}{dt}\left(m\left(u + \frac{V^2}{2} + gz\right)\right)_{system} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum_i \dot{m}_i\left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right)$$

rate of change (التغير)

$\dot{Q} \rightarrow d/s \rightarrow W$

Special Cases of the first law of Thermodynamics :-

1- cancels out for steady state → $\frac{d}{dt}\left(m\left(u + \frac{V^2}{2} + gz\right)\right)_{system}$

2- cancels out for adiabatic system → Q

3- cancels out for systems with no work on or out of the system → W

usually, but not always KE & PE are negligible compared to either u or h.

4- cancels out for closed systems. → $\sum_i \dot{m}_i\left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right)$

Subject Chapter 4 Date 7/11/2021 No.

Interaction Between a system & surroundings :-

⇒ Energy Flow :-

1- accompanying mass flow. → الأشياء يلي بجر إلها mass flow

(ΔU, KE, PE, (PV) work)

Heat transfer
- → Conduction. → التوصيل
- → Convection. → الحمل → رايقًا بيجي مع ال Bulk movement → حركة ل system كامل
- → Radiation. → الإشعاع

2- Pressure induced due to mass flow.

Work
- → shaft
- → Movement of system boundaries.
- → fields (Electrical / Magnetic).

shaft → يعني بكون عندي اشي ميكانيكي بسوي اشي بال system مثل بكون عندي مروحة.

Movement of system boundaries (boundary work) → يعني بجير تغير بحجم ال system (PV) work.

⇐ الدوائر الكهربائية كل ما زادت الحرارة كفاءتها بتقل.

Power = I V

Subject Chapter 4 Date 7/11/2021 No.

Energy Accompanying Mass Flow :-

⇒ Mass flow occurs at the system boundary.

⇒ An inlet/outlet stream carries energy with it in the form of ; Kinetic, potential, internal & flow induced energy.

$$E_{\text{mass flow}} = \underbrace{h_i}_{U + PV} + \frac{V_i^2}{2} + g z_i$$

* ليش إذا عندي Flow rate بناخذ h ، وفي حال الـ system بناخذ u ؟!
← النظام وحدة واحدة كله بيتحرك ما في تغيرات بالتالي ما عنا (PV) work

$$h = U + \underbrace{PV}_{\text{Flow induced energy}}$$

* Flow induced energy :-

لو صفينا درا بعض وصفنا الأخير راح يضغط يلي قبلوا وكل واحد يضغط يلي قبلو وهكذا (مثل الدومينو) لحد ما نوصل لأول واحد راح يتحرك شوي بالتالي الإزاحة بتغير يعني عندي شغل لأنو يلي صار كان عبارة عن نقل طاقة كل واحد ليلي قبلو.

يعني لو عنا flow stream جاي من الآخر يدفش يلي قبلو وهكذا بالتالي هاد work عشان هيك الـ flow rate بكون فيه enthalpy

Subject Chapter 4 Date 7/11/2021 No.

Heat & work characteristics :-

⇒ Heat & work are interactions between the system & its surroundings.

⇒ Heat & work are similar in some aspects :-

1- Boundary phenomena.

2- Systems possess energy, but not heat & work. That is heat & work are transient phenomena. النظام يملك طاقة
لكن لا يملك heat & work ← لكن ممكن
استفيد من هاي الطاقة واعمل interactions
بين النظام والمحيط بالتالي بصير عنا work
heat

3- Both are associated with a process not a state. بعتمدو
على طبيعة ال process

4- Both are path functions, their magnitude depend on the path followed by a process as the end states. بعتمدو على
المسار

5- Both are directional quantities, you have to give the proper sign or direction of heat & work. بهمني اتجاه انتقالها
بالتالي عندي إشارة.

Subject Chapter 4 Date 7/11/2021 No.

Heat transfer :-

Heat :- is the form of energy that is transferred between Two systems (or a system & its surroundings) by virtue of a temperature difference. Energy in transit.

⇒ heat ↗ to system → positive.
↘ from system → negative.

⇒ Units of energy are kJ, while the units of heat transfer rate are in kJ/s or kW.

Modes of heat transfer :-

1- Conduction :-
Transfer of energy from the more energetic particles of a substance to the adjacent less energetic ones as a result of interactions between the particles (G, L, S).

$$\frac{q}{A} = -k \frac{dT}{dx} \rightarrow \dot{Q}_x = -kA\left(\frac{T_2 - T_1}{L}\right)$$

2- Convection :-

Energy transfer between a solid surface & the adjacent fluid (G, or L) which is in motion.

$$\dot{Q}_c = hA(T_b - T_f)$$

بالتالي راح تصير عملية convection
بسبب وجود الهواء يعني آخر
إلكترون بنقل طاقتو للهواء، بصير
فوق كثافة الهواء السخن كثافته
قليلة والهواء البارد كثافته أكبر
بصير اللي كثافته عالية بنزل تحت
والقليلة بطلع فوق وهكذا، بصير
تقلب بالهواء (تيارات حمل) متى نصل
للاتزان.

← صوبة الغاز، لو حطينا فوق
منقوشة زعتر كيف بتوصلها الحرارة،
كيف بتحس بالدفء؟!
اول إلكترون ملامس للحرارة بكسب
طاقة هاي الطاقة بنقلها للإلكترون
القريب منو وكل إلكترون بنقل للقريب
منو وهكذا لغاية ما توصل لآخر
إلكترون، بصير عنا هواء بيطلع جديد
↖

3- Radiation :-

Energy emitted by matter in the form of electromagnetic waves (photons) as a result of the changes in electronic configurations of the atoms or molecules. Does not require an intervening medium. Usually important at high Temperatures.

$$\dot{Q}_e = \varepsilon \sigma A T_b^4 \rightarrow \text{(non - linear)}$$

Subject Chapter 4 Date 7/11/2021 No.

Adiabatic process :- (idealization)

⇒ A process with no heat transfer is called an adiabatic process. It can occur in two ways :-

1- Well insulated system.

2- Both the system & surroundings are at the same T, which means there is no driving force. → فرق الحرارة

وبما انو النظام والمحيط نفس الحرارة بالتالي ماعنا driving force

⇒ the Temperature of the system may change in an adiabatic process by other means such as work.

adiabatic **not** isothermal

isothermal → يعني قاعدة بعمل اشي داخل النظام على درجة حرارة ثابتة داخل النظام ، وهذا لا يعني انو ما عندي انتقال للحرارة بين النظام والمحيط.

Example (2-3) :-

A candle is burning in a well-insulated room. Taking the room (the air plus the candle) as the system, determine

(a) if there is any heat transfer during this burning process,

(b) if there is any change in the internal energy of the system ?!

(a) $Q = 0$ (well - insulated)

(b)

$$(\Delta U + \cancel{\Delta EK} + \cancel{\Delta PE})_{sys} = \Delta E_{sys} = \cancel{Q} - \cancel{W} + \cancel{\sum m_i h_i / \Delta t}$$

الغرفة ثابتة لا تتحرك

ما تغير ارتفاع الغرفة (الغرفة ما ارتفعت عن الأرض)

well insulated

ماعندي ولا نوع شغل وما عندي تغير بحجم الغرفة وما عندي مروحة او مضخة.

closed system

$\therefore \Delta U = 0$ or $U_F = U_i$

no change in internal energy

initial state → قبل ما أولع الشمعة

final state → لما ولعتها

Example (2-4) :-

A potato initially at room temperature (25°C) is being baked in an oven that is maintained at 200°C. Is there any heat transfer during this baking process?!

الجواب لهاد السؤال بعتمد على ال system يلي بدي آخذو.

لو اعتبرنا حبة البطاطا هي ال system والفرن surrounding، راح يكون عندي فرق حرارة بالتالي عنا driving force، وما عنا مادة عازلة بين البطاطا والفرن بالتالي عنا heat transfer.

ليش نلف البطاطا بقصدير لما نشويها ؟!

عشان القصدير يعزل حرارة الفرن عنها وما تتخرق البطاطا.

$\Delta U = Q$ #

Mechanical work :-

⇒ Work is a mechanism for transporting energy across the boundaries of the system.

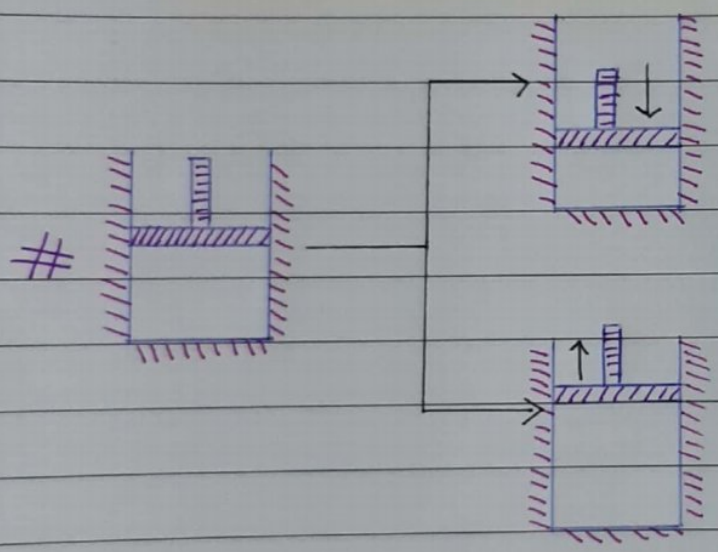
⇒ Mechanical work is the product of a force F & a displacement Δx when both are measured in the same direction (collinear).

⇒ Work ↗ on system → (negative)
↘ by system → (positive)

⇒ Units of work are KJ, while the units of time rate at which work is done on or by system (power) are in KJ/s or kW.

Moving Boundary Work (W_b) :-

⇒ Moving boundary work (PdV work) :- The expansion & compression work in a piston-cylinder device.



→ compression (-ve)
↳ work done on system
الحجم يقل

→ expansion (+ve)
↳ work done by system
الحجم يزداد

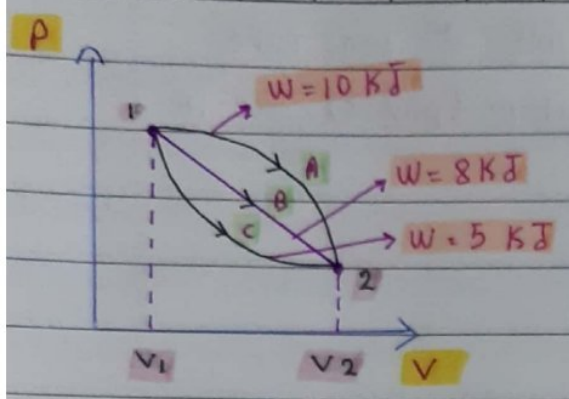
Work as an area under (P-V) curve :-

⇒ The area under the process curve on a (P-V) diagram represents the boundary work (W_b).

$$\text{Area} = A = \int_1^2 \underline{\underline{\delta}}W = \int_1^2 dA = \int_1^2 P\,dV = W_{12} \text{ (not } \Delta W) = W_b$$

derivative for inexact function → path function

Subject Chapter 4 Date 9/11/2021 No.



لـ الشغل عند A أكبر لأنو المساحة تحت المنحنى أكبر، والشغل موجب لأنو عندي Expansion

$V_2 > V_1$

Units of Pressure in (Pa) & units of volume (m^3) to obtain work in (J).

work → PV diagram

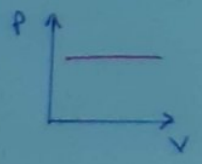
heat → TS diagram

الشغل عليها أسهل.

ليش ما بقدر أستخدم $P\Delta V$ مباشرة؟!

$$W_b = \int_{V_1}^{V_2} \boxed{P}\, dV \neq P\Delta V$$

not constant → لازم أعرف علاقة الضغط بالحجم وأعوضها وأكامل.



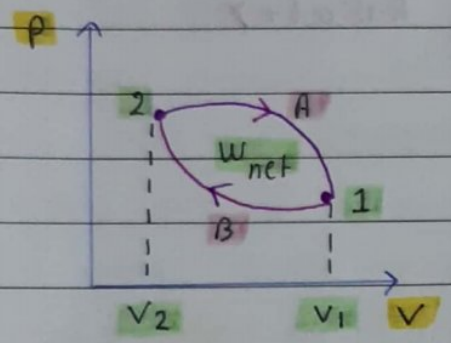
→ هاي الحالة الضغط ثابت بالتالي

$W_b = P\Delta V$

Subject Chapter 4 Date 11/11/2021 No.

Work in a cycle :-

⇒ The net work done during a cycle is the difference between work done by system & work done on system.



الشغل الكلي هو ال area المحددة في ال cycle path ، يعني لو بدي أمر من (1 ← 2) بعدين من (2-1) عشان خطوتين

total work W_{net} = Area A − Area B

المساحة تحت المنحنى

#

Polytropic , Isothermal , and Isobaric process :-

⇒ Polytropic : turning many ways

⇒ Polytropic process is the general case for the different processes.

⇒ For a constant polytropic exponent n

Isobaric → $n = 0$ → $PV^n = C$ → $PV^0 = C$ → $P = C$

Isothermal → $n = 1$ → $PV^n = C$ → $PV = C$ → $PV = nRT$ → $T = \frac{PV}{nR} = C$

Subject Chapter 4 Date 11/11/2021 No.

Isochoric → $n = \infty$ → $P/T = C$

Isentropic (adiabatic reversible) → $n = \gamma$

$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ For ideal gas → $C_p = C_v + R$

$\gamma = \frac{C_v + R}{C_v}$ → $\gamma = 1 + \frac{R}{C_v}$ (R → +, C_v → +) Ratio (+)

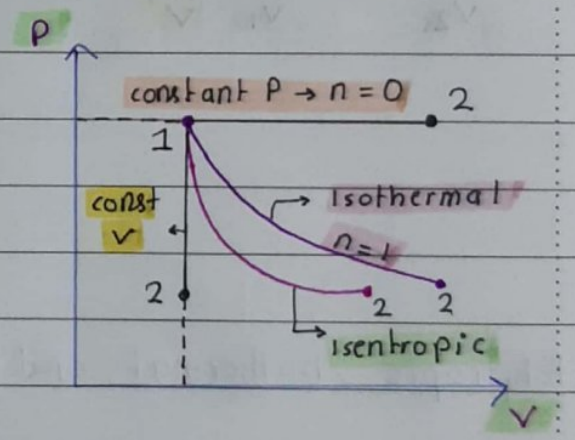
دائماً قيمتها أكبر من واحد
بس ماراح تكون ∞

Polytropic Process : Work & Heat :-

$\Delta u = C_v (T_2 - T_1)$

$\Delta h = C_p (T_2 - T_1)$

$Q = \frac{C_v (\gamma - n)}{(1-n)} (T_2 - T_1)$



$PV^n = C$

$P = CV^{-n}$

$W_b = \int_1^2 P\,dV = \int_1^2 CV^{-n}\,dV = C\frac{V_2^{1-n} - V_1^{1-n}}{1-n} = \frac{1}{n-1}(P_2V_2 - P_1V_1)$

$n \neq 1$

$C V_2^{1-n} \cdot V$

P V

P_2V_2

$W_b = \int_1^2 P\,dV = \int_1^2 CV^{-1}\,dV = PV \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ $n = 1$

$PV^n = C$

$P_1V_1 = C = P_2V_2$

بقدر أعوض P_2V_2 or P_1V_1

ما دام $\gamma > 1$ اذا الاقتران بنزل أسرع من $n = 1$ عشان هيك دايماً بكون تحت الـ Isothermal.

NOTEBOOK

Example (4-4) :-

A - piston - cylinder device contains $0.05\ m^3$ of a gas initially at 200 kPa. At this state, a linear spring that has a spring constant of 150 kN/m is touching the piston but exerting no force on it. Now heat is transferred to the gas, causing the piston to rise & to compress the spring until the volume inside cylinder dobles. If the cross sectional area of the piston is $0.25\ m^2$ determine (a) the final pressure inside the cylinder, (b) total work done by the gas, (c) the fraction of this work done against the spring to compress it ?!

↳ نسبة الشغل يلي راح عشان يضغط الزنبرك.

(a)

$\Delta V = 0.1 - 0.05 = 0.05\ m^3$ → $\Delta V = A \cdot \Delta X$

↳ مكاني الجم زاد للضعف لما أعطيت النظام heat

$\Delta X = \frac{0.05}{0.25} = 0.2\ m$

↳ يعني ال piston ارتفع 20 cm

$F = k\Delta X = 150\ \frac{kN}{m} \cdot 0.2\ m = 30\ kN$

$P = \frac{F}{A} = \frac{30\ kN}{0.25\ m^2} = 120\ kPa$

$200 + 120 = 320\ kPa$

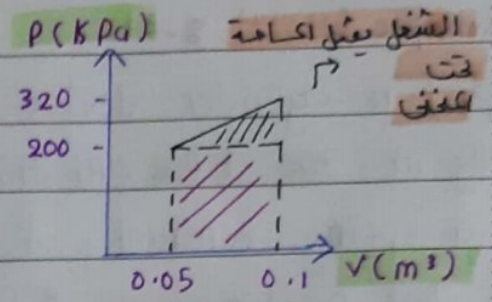
↳ الضغط في البداية وهو ضغط ثابت.

الضغط يلي حرك الزنبرك

↳ الضغط النهائي

بنقدر نلعب بالسؤال ومثلاً نحط شي يمنع ال piston يتحرك بالتالي $\Delta V = 0$ و ال $W = 0$ و ال heat بكون تحول لـ ΔU (حرارة).

(b)



الشغل يمثل المساحة تحت المنحنى

W → area under the curve

W = △ + ▨

$= \frac{1}{2} * (0.05)(120) + (0.05)(200)$

$= 13$ kJ

↳ work done by system.

(c)

work represented by the triangular area is done against the spring

W = △ $= \frac{1}{2}(0.05)(120) = 3$ kJ

or

$W = \frac{1}{2} k (x_2^2 - x_1^2) = \frac{1}{2}(150)(0.2) = 3$ kJ

Example :-

A rigid tank contains air at 500 kPa & 150°C. As a result of heat transfer to the surrounding, the T & P inside the tank drop to 65 °C & 400 kPa. Determine the boundary work done during this process ?!

rigid → constant volume → W = 0

Subject Chapter 4 Date 11/11/2021 No.

Heat Capacity :-

⇒ The heat required to raise a unit mass of a substance by one degree (scale dependent).

Constant volume (isochoric)

بشتق ال ← internal energy at constant volume

$$C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v$$

Units in (kJ / kg.K or kJ / mol.K)

→ same as units of entropy S

Constant pressure (isobaric)

بشتق ال ← enthalpy at constant pressure

$$C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p$$

Ideal gas Cv & Cp :-

⇒ Ideal gas is a simple case in which an exact relationship exists between the two heat capacities.

⇒ The enthalpy & internal energy of an ideal gas are functions of Temperature only :-

1- heat capacity is a function of Temperature only.

2- Partial derivatives can be replaced by total derivatives (pressure independent).

⇒ Ideal gas heat capacities are usually tabulated as a polynomial in temperature.

$$C_p^* = a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3 + \dots$$

heat capacity at low pressure

$$C_v^*(T) = \frac{du(T)}{dT} \qquad C_p^*(T) = \frac{dh(T)}{dT}$$

$$C_p^* = C_v^*(T) + R \rightarrow C_p > C_v$$

↳ هذا الحكي مع بس لل ideal gas

Table (A-2) → عشان ال heat capacity

Obtaining Internal energy :-

Gases :-

1- Exact expression for an ideal gas.

2- Valid only when density = constant for a real gas.

$$\Delta U = \int_{T_1}^{T_2} C_v^*(T)\, dT$$

↳ $C_p^* - R$

↳ من الجدول

Subject Chapter 4 Date 11/11/2021 No.

Solids & liquids :-

$$\Delta u = \Delta h - \Delta(Pv) \approx \Delta h - v\Delta P$$
$$\approx \int_{T_1}^{T_2} C_p^*(T)\, dT$$

Reasonable approximation for a solid or a liquid below $T_r = 0.75$ (pressure change is below several MPa)

Subject Chapter 4 Date 11/11/2021 No.

solids & liquids :-

$$\Delta u = \Delta h - \Delta(PV) \approx \Delta h - V\Delta P$$

$$\approx \int_{T_1}^{T_2} C_p^*(T)\, dT$$

$C_p \simeq C_v$

Reasonable approximation for a solid or aliquid below $T_r = 0.75$ (pressure change is below several MPa)

$C_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_v \rightarrow C_v^*$

↳ heat capacity for ideal gas at constant volume.

$C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p \rightarrow C_p^*$

↳ heat capacity for ideal gas at constant pressure

ideal gas

U & h

↳ functions of Temp only

↓

يعني بقدر اكتب

$\frac{dU}{dT} \xrightarrow{\text{بدل}} \frac{\partial U}{\partial T}$

$\frac{dh}{dt} \xrightarrow{\text{بدل}} \frac{\partial h}{\partial T}$

$C_v \simeq C_p$?!

⇐ عشان ال solid & liquid incompresible

↓

المنتظ ما بلعب دور كبير على تغير كثافة هاي ال phases

$h = U + \cancel{PV}$

$h = U \rightarrow C_p = C_v$

لمعظم الحالات

Subject Chapter 4 Date 14/11/2021 No.

from steam table :-

T (°C)	u (kJ/kg)		h (kJ/kg)	
	liq	vapor	liq	vapor
25°C	104.83	2409.1	104.83	2546.5
30°C	125.73	2415.9	125.74	2555.6

→ $\frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x}$

بدنا نحسب Cp & Cv عند 25°C :-

→ for liquid :-

$$C_p = \frac{dh}{dT} = \lim_{\Delta T \to 0} \frac{h(T+\Delta T) - h(T)}{\Delta T}$$

$$= \frac{125.74 - 104.383}{303.15 - 298.15} = 4.182 \text{ kJ/kg·K}$$

بنوخذ أقرب حرارة للـ 25°C ← 30°C

$$C_v = \frac{du}{dT} = \frac{125.73 - 104.83}{5} = 4.18 \text{ kJ/kg·K}$$

نلاحظ انو ما في كثير فرق بالقيمتين بالتالي بنقدر نعتبر Cv = Cp .

Subject Chapter 4 Date 14/11/2021 No.

→ for vapor :-

$$C_p = \frac{dh}{dT} = \frac{2555.6 - 2546.5}{5} = 1.82 \ kJ/kg \cdot K$$

$$C_v = \frac{du}{dT} = \frac{2415.9 - 2409.1}{5} = 1.36 \ kJ/kg \cdot K$$

$$C_p^* = C_v^* + R$$

↳ تتعامل مع المولات

هون بنلاحظ عنا فرق عشان هيك $C_p^* = C_v^* + R$.

$$C_p^* - C_v^* = R$$

$$1.82 - 1.36 = 0.46 \ kJ/kg \cdot K$$

$$= 0.46 \times (18) = 8.28 \ \frac{kJ}{kmol \cdot K} = 8.28 \ \frac{J}{mol \cdot K}$$

↳ على هاي الظروف طلعت قريبة لل ideal gas

$$C_p(100°C)_{(vapor)} = \frac{2683.4 - 2675.6}{5} = 1.56 \ kJ/kg \cdot K$$

$$C_p(100°C)_{(liq)} = \frac{440.28 - 419.17}{5} = 4.22 \ kJ/kg \cdot K$$

← في T (range) حكيلي بيقدر نحكي انو Cp (constant) للسوائل.

← Cp لل vapor تقل بزيادة الحرارة.

← Cp لل liquid بزداد بزيادة الحرارة.

قدرة الغاز على امتصاص الطاقة (الحرارة) قليلة على الحرارات العالية اما ( ) للسوائل اكبر من الغاز عشان هيك سهل نزود الطاقة بالسوائل.

Subject Chapter 4 Date 14/11/2021 No.

Ideal gas heat capacities :-

⇒ Assuming the isochoric & isoboric heat capacities are constant, define their ratio γ

polytropic exponent ← $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

($\gamma > 1$)

	C_p	C_v	γ
1- Monoatomic (Ar, Kr, Xe) → (noble gases)	$\frac{5}{2}R$	$\frac{3}{2}R$	1.67
2- Diatomic	$\frac{7}{2}R$	$\frac{5}{2}R$	1.40
① homonuclear ($O_2, H_2, N_2, Cl_2, ...$) → ذرتين متشابهات		air → mix of 2 Diatomic (O_2, N_2) → بالتالي راح يكون الو نفس الخواص	
② hetronuclear ($CO, NO, ...$) → ذرتين مختلفات			
3- polyatomic (CO_2, SO_2, NH_3, CH_4) → مابعرف أديش العدد للهم أكثر من 2	$\frac{9}{2}R$	$\frac{7}{2}R$	1.30

monatomic + 1R → Diatomic

Diatomic + 1R → polyatomic

Table (A-2) → قيم الـ capacity

Subject Chapter 4 Date 16/11/2021 No.

Table A-2 :-

⇒ Cp (CO_2 , NO_2)

أكاسيد النيتروجين ← تتأثر بالحرارة بشكل كبير

ideal gas → P↓ , T↑

ليش الكبريت مهم عنا في الصناعة ؟!

ليش الكبريت (S) أكثر اشي طلع متعرف في البعد عن حتى الـ Cp للـ ideal gas يلي الهيدروجين تكون $\frac{5}{2}R$:-

لأنو الكبريت ما بكون موجود على شكل S بكون S_8

polyatomic ← يعني تقريبًا راح يكون على هاد الأساس مش monoatomic

1- $S + O_2 \rightarrow SO_2$

2- $SO_2 + O_2 \rightarrow SO_3$

3- $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$

sulfuric acid ← أكثر مادة كيميائية تنتج في العالم لأنها Row material لشغلات كثيرة.

4- $Ca_3(PO_4)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + H_3PO_4$

$Ca_3(PO_4)_2$ ← بجيب صخر الفوسفات بطحنو ناعم جدًا بعدين بفاعله لأنو كل ما قل الحجم زاد الـ Rate of reaction وسرعة التفاعل بشكل كبير جدًا.

$CaSO_4$ ← الجبس

H_3PO_4 ← phosphoric acid

5- $H_3PO_4 + 2NH_3 \rightarrow (NH_2)HPO_4 + H_2O$

$(NH_2)HPO_4$ ← العادة يلي بنعملها ← بوخذ (N , P) لا يوخذ K

NPK → غذاء الشجرة

Subject Chapter 4 Date 16/11/2021 No.

Electrical Work :-

مثل البطاريات ، السيارات
الكهرباء يلي بالبيت ...

=> Flow of electrical energy is classified as shaft work & is given by the product of current flow (I in Amperes) & electrical potential difference across the system (v in volts).

$\dot{W}_e$ (W) = VI

power (J/s)

W_e (J) = VI Δt = VN

total work

الوقت يلي بستهلك فيه الـ power

=> Negative if electrical energy is supplied to the system, & Positive if the system is the source of electrical energy.

لو حطيت كاسة مي بالميكروويف مدة دقيقتين ومرة ثانية مدة دقيقة مثلاً شو يلي راح يتغير؟!

الـ Rate ← (power) بتضل ثابتة يلي بتغير عنا هو الـ energy عشان الوقت بتغير.

← كلما كبرت بطارية التلفون بزيد الوقت للتشغيل.

Subject Chapter 4 Date 16/11/2021 No.

⇒ A cell phone Li-ion battery has the following specs :-

voltage = 3.85 V discharge rate = 2000 mAh

أديش ممكن استخدم بفترة معينة من الطاقة المخزنة بالبطارية .

a- Determine the energy discharge for this battery :-

$W = VI\Delta t$

$= (3.85)(2) = 7.7\ W.h$

2000 mAh

I(A) × t

بعطينا السخنات لي بقدر أشتغل فيها

b- Given that the mass of such a battery is 54 g, what is the energy density (W.h/kg) :-

↳ أديش بتتركز الطاقة بوزن معين

$= 7.7/(0.054) = 142.6\ W.h/kg$

↳ كل kg من هاي البطارية كازم يحتوي على 142.6 W.h

c- The same energy density & battery are going to be used to drive an electrical vehicle. What would be the mass of the battery required for such car if the capacity of the battery is 16 kW.h :-

$= 16000/(142.6) = 112.2\ kg$

Subject Chapter 4 Date 21/11/2021 No.

Shaft work :-

⇒ Energy transmission with a rotating shaft is very common in engineering practice. عندي شغل ما بغير حجم ال system وقد لا يكون electrical .

ناتج عن حركة (shaft) مثل
- الكوابح. ← هدول كلهم عبارة عن unit operations
- المحركات.
- التوربينات. قد يكون فيها حركة تؤدي الى شغل بس ما بتغير حجم بشكل كبير، وما بكون فيها كهرباء بطريقة مباشرة.

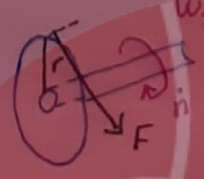
⇒ Often the Torque T applied to the shaft is constant, which means that the force F applied is also constant. For a specified constant torque, the work done during n revolutions is determined as follows :-

ال W shaft بالعادة قائم على الحركة الدائرية، لأنو بتعطينا كهرباء أو بنقدر من الكهرباء نسوي حركة دائرية بتساعدنا بشكل كبير بكثير أمور.

#

$W_{sh} = 2\pi n T$

$T = Fr$



shaft work proportional to :-

1- Tourqe applied.

2- number of revolution

Subject Chapter 4 Date 21/11/2021 No.

⇒ A force F acting through a moment arm r generates a torque T of :-

ذراع القوة (المسافة يلي بتأثر على القوة)

$T = F r \rightarrow F = T/r$

العزم ← T ، F ← القوة

⇒ This force acts through a distance s, which is related to the radius r by :-

عندي اشي بدور إذا بلف لفات معينة بالتالي كل لفة تعادل محيط دائرة $(2\pi r)$.

$s = (2\pi r)\, n$

s ← المسافة الكلية للقوة ما يعادل كم مرة لفت مضروب بالقوة بعطينا العزم.

n ← عدد اللفات

⇒ Then the shaft work is determined from :-

$W_{sh}(J) = F s = (T/r)(2\pi r)n = 2\pi n T$

F ← القوة ، s ← الإزاحة

⇒ The power transmitted through the shaft is the shaft work done per unit time :-

$\dot{W}_{sh}(W) = 2\pi n T$

n ← جسمنا على الزمن

↳ rpm → (round per minite)

← بالدقيقة أد يش لف

Subject Chapter 4 Date 21/11/2021 No.

Shaft work examples :-

a) mixing → عمليات الخلط

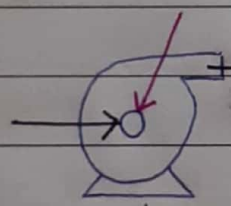
مثل الدهانات ، منظفات

↓

عمليات الخلط بتحتاج بذل شغل .

الدهان يعتبر slurry يعني فيه سائل وصلب مع الوقت بفصل عشان هيك الدهين بحرك الدهان . (عشان يتجانس) .

b) Pumping



suction (المدخل) ← داخلة مباشرة بالمضخة

discharge (المخرج)

↳ tangential مماس من فوق

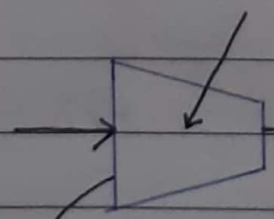
↳ centrifugal pump ← بكون في موتور بحول الكهرباء لحركة دائرية (Shaft)

↓

بتستعمل منفوخات منخفضة و flow rate عالي

← المضخة فيها مراشات (مروحة) بس مسكر عليها عشان كل الـ power تروح للي بدخل

c) compression



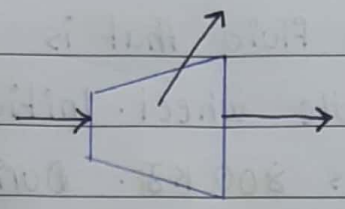
suction (الضغط الكبير)

discharge (الضغط الصغير)

دخل بحجم كبير وبطلع بحجم صغير

volumetric flow rate عندي عالي لأنو الفرق عالي

d) Expansion (Turbine)



دخل بحجم صغير
وطلع بحجم كبير.

Example :-

Determine the power transmitted through the shaft of a car when torque applied is 200 N.m & the shaft rotates at a rate of 4000 revolutions per min (rpm)?!

$$W_{sh} = 2\pi \dot{n} T = 2\pi * \frac{4000}{min} * \frac{1 min}{60 s} * 200 J * \frac{1 kJ}{1000 J}$$

$$= 83.8 kW = 112 hp$$

$1 kW = 4/3 hp$

$1 hp = 746 W$

↳ note that power transmitted by a shaft is proportional to torque & the rotational speed.

ال power للشي T ∝ ∴

$$2000 \frac{Cal}{day} * \frac{4.184 kJ}{1 Cal} * \frac{1 day}{24 h} * \frac{1 h}{3600 s}$$

Power = 0.1 kW = 100 W

$1 Cal = 4.184 kJ$

↳ ال power مكيله بالتالي الكفاءة عالية على أداء الأعمال.

Example :-

A rigid tank contains a hot fluid that is cooled while being stirred by a paddle wheel. Initially, the internal energy of the fluid is 800 KJ. During the cooling process, the fluid loses 500 KJ of heat, & the paddle wheel does 100 KJ of work on the fluid. Determine the final internal energy of the fluid ?! neglect the energy stored in paddle wheel.

$\Delta KE = \Delta PE = 0$

rigid tank → constant volume → $V_2 = V_1$ → $W = 0$ → boundary work

$\Delta E = \Delta U$

$W_{in} - Q_{out} = \Delta U = U_2 - U_1$

$100\ KJ - 500\ KJ = U_2 - 800\ KJ$

$U_2 = 400\ KJ$

$\cancel{\Delta KE} + \cancel{\Delta PE} + \Delta U = Q - W$

closed system, no mass flow rate

Q: (−) by system

W: (−) on system

لو كان $Q = W$ ← بالتالي $U_2 = U_1$ ← ما راح نلاحظ أي تغير على الحرارة

← أما بالحالة يلي عنا $U_2 < U_1$ بالتالي النقصان بـ U_2 بيبين على شكل نقصان بالحرارة و العكس صحيح. (هون عنا cooling)

Subject Chapter 4 Date 23/11/2021 No.

Example :-

A fan that consumes 20 W of electric power when operating is claimed to discharge air from a ventilated room at a rate of 1.0 kg/s at discharge velocity of 8 m/s. Determine if this claim is reasonable ?!

المروحة ما بتبرّد ولا بتسخّن
هي بتحرك الهواء (بدنا نوخذ الـ system
يكون الهواء يلي جوا المروحة يعني
open system

→ steady state
accumulation = 0

$$E_{in} - E_{out} = \frac{dE_{sys}}{dt} = 0 \rightarrow E_{in} = E_{out}$$

→ Q = 0 (no heat transfer)
→ ΔPE = 0 (ما تغير الارتفاع)
→ Δh = 0 (لأنو الحرارة يلي داخلة تقسها يلي طالعة)

بنستنتج انو السرعة يلي
حكاني عنها لايمكن تحصيلها
بهاي الـ power

$\dot{W}$, ΔKE ✓

$$\dot{W} = \dot{m}\,\Delta KE$$

↳ بس لأنو
سرعة الهواء يلي داخل
للمروحة تقريبًا صفر بالتالي

$$KE = \frac{V_{out}^2}{2}$$

$$\dot{W} = \dot{m}\,KE = \dot{m}\frac{V_{out}^2}{2}$$

$$V_{out} = \sqrt{\frac{2\dot{W}}{\dot{m}}} = \sqrt{\frac{2(20)}{1}} = 6.3\ m/s$$

→ which is less than 8 m/s Therfore the claim is false

Example :-

The lighting needs of a classroom are met by 30 fluorescent lamps, each consuming 80 W of electricity. The lights in the classroom are kept on for 12 hours a day & 250 days a year. For a unit electricity cost of 11 cents per kWh, determine the annual energy cost of lighting for this classroom. Also, discuss the effect of lighting on the heating & air-conditioning requirements of the room?!

المطلوب أديش بتكلفني
إضاءة القاعة على هاي الظروف.

lighting power = Power consumed per lamp * No. of lamps

الاستهلاك
بتع اللمبات بالـ
KW

= 8 W/lamp * 30 lamps = 2400 W = 2.4 KW

operating hours = 12 h/day * 250 days/year = 3000 h/year.

الـ 2400W كم ساعة
بدهم يشتغلوا في السنة.

lighting energy = lighting power * Operating hours

كم الطاقة يلي راح
استهلكها من هيدول
الجنوار في السنة.

= 2.4 KW * 3000 h/year = 7200 kWh/year

Subject Chapter 4 Date 23/11/2021 No.

lighting cost = lighting energy * unit cost

= 7200 kWh/yeas * \$ 0.11/kWh = \$ 792/year

↳ بتكلف حوالي 800 دولار

Energy Conversion efficiencies :-

↳ كفاءة تحويل الطاقة

Definition ⇒

efficiency = η = Desired output / Required input

الاشي يلي بدي اياه (أحصله)

↳ بستثمر اشي حتى أحصّل اشي.

↳ الاشي يلي بدفعه

Efficiency of water ⇒ (water heater ><)

كفاءة سخان الماء

η = Energy delivered to the house by hot water / Energy supplied to the water heater

Type	effriciency
Gas, conventional.	55%
Gas, high-efficiency.	62%
Electric conventional.	90%
Electric, high efficiency.	94%

↳ conventional (تقليدية)

↓

بتستهلك طاقة أكبر عشان

هيك η الها أقل من ال high efficiency

Subject Chapter 4 Date 25/11/2021 No.

Heating value of the fuel :-

⇒ The amount of heat released when a unit amount of fuel at room temperature is completely burned & the combustion products are cooled to the room temperature.

$$CH_4 + O_2 \longrightarrow CO_{2(g)} + H_2O$$

$H_2O_{(v)}$ → lower heating value LHV

$H_2O_{(l)}$ → higher heating value HHV

ΔH_c ← قائمة على أنا شو بطلع H_2O (v ، L)

⇒ Combustion equipment efficiency $\eta_{comb-equip}$ ⇒

$$\eta = \frac{\text{Useful heat delivered by the combustion equipment}}{\text{Heating value of the fuel burned}}$$

الـ heat يلي حصلتو للغرض يلي بدي إياه (مثل الحرارة يلي احتجتها عشان أسخن مي)

لـ راح تكون أقل من 100

heat كل الـ of combustion fuel تبع الـ

→ η (cars, jet) based on LHV.

↳ not practical to try to recover the heat of vaporization.

→ η (furnaces) based on HHV.

Subject Chapter 4 Date 25/11/2021 No.

Space heating systems :- التدفئة المركزية

⇒ Annual fuel utilization efficiency (AFUE) :-
accounts for the combustion equipment efficiency as well as other losses such as heat losses to unheated areas & start-up & cool-down losses.

التدفئة المركزية ، بتكون عندي
ديزل بحرقوا داخل boiler بتكون
CO_2 ، H_2O ، ΔH_c ← ΔH_c بنستعمل
عشان نسخن عنا pipes فيها H_2O
موجودات حول ال boiler وبتمر هيك
ال pipe عبر الحيطان لل Radiator
(بكونو مسخرجات) ما بنستفيد من كل
الطاقة لأنو جزء راح يصبح
η → تقل

AFUE
⇒ Old heating system < 60%
⇒ new heating system ~ 85%
⇒ High efficiency furnaces > 96%

Car engine efficiency :-

The work output is understood to be the power delivered by the crankshaft.

ال power يلي
حركت
السيارة

$$\eta = \frac{\text{Power delivered by the crank shaft}}{\text{heating value of the fuel burned}}$$

الوقود يلي بستفيدوا

Car efficiency
⇒ Gasoline automotive 20 - 30%
⇒ Diesel engines 35 - 40%

بعبي السيارة بدينار بنزين بحصل
$\eta = 30\%$ ، يعني بستفيد بس بـ 30 قرش
و 70 قرش ضائعات ⇐ السيارة بتسخن
بالتالي عنا heat transfer بين السيارة
والخارج ، والسيارة بتحرق وقود فنواتج
هذا الاحتراق بتطلع من العادم
(جزء من الطاقة الناتجة عن حرق الوقود ضائعة)
الديزل أحسن من البنزين

Subject Chapter 4 Date 25/11/2021 No.

Cars, CO_2 emission in g/Km :- محافظة السيارة على البيئة

أديش بتطلع CO_2

A	B	C	D	E	F	G
<100	<120	<140	<160	<200	<250	>250

أفضل أنواع السيارة كمية CO_2 أقل

أسوء أنواع السيارات بتلوث مريض ومرض مقارنة بـ A

كل سيارة بكون معها ملصق بومنح أديش بطلع CO_2، كم لتر بستهلك عشان أقطع مسافة معينة وتكلفة هاد اللتر، ومراسغات ثانية

Power plant efficiency :- (يلي بننتج فيها الكهرباء)

⇒ A generator is a device that converts mechanical energy to electrical energy.

Generator efficiency is the ratio of the electrical power output to the mechanical power input.

⇒ The thermal efficiency of a power plant :-

The ratio of the net shaft work output of the turbine to the heat input to the working fluid.

⇒ Overall efficiency for the power plant is the ratio of the net electrical power output to the rate of fuel energy input.

↳ أديش دخلت كهرباء على أديش حرقت وقود

$$\eta_{over\ all} = \eta_{comb.\ equip} \quad \eta_{thermal} \quad \eta_{generator} = \frac{\dot{W}_{net.electric}}{HHV * \dot{m}_{fuel}}$$

$\dot{W}_{net.electric}$ ← كم مضلت كهرباء

$HHV * \dot{m}_{fuel}$ ← كم حرقنا وقود

$\eta_{comb.\ equip}$ ← حرق وقود ينتج steam بنضغطه على توربين.

$\eta_{thermal}$ ← نقل حرارة للتوربين

$\eta_{generator}$ ← يحول من طاقة ميكانيكية لطاقة كهربائية

Thermal efficiency of power generation :-

Type of power plant	efficiency %
1- Open cycle gas turbine.	25 - 35
2- sub - critical coal.	30 - 38
3- supercritical coal.	35 - 45
4- solar thermal.	32 - 38
5- nuclear.	32 - 36
6- gas turbine combined cycle.	45 - 60

بنلاحظ بشكل عام انو الكفاءة قليلة.

lighting efficiency & efficacy :-

⇒ The efficiency for the conversion of electricity to light is the ratio of the energy converted to light to the electrical energy consumed.

lighting efficacy :- is the amount of light out put in lumens per W of electricity consumed. قابلية التحويل

ال η بتاخذ range 0 → 100%.

أما ال efficacy بتاخذ أي range

ال η بالليل وحدة أما ال efficacy بالـ W.

(Table 2-1)

Subject Chapter 4 Date 25/11/2021 No.

→ European Union Energy label :-

↳ الـ label يلي بكون موجود على الأجهزة الكهربائية.

(قراءة ذاتية ☺)

self - Read :- ما بهمونا بس نقرأ عليهم ☺

1- spring work.

2- work done on elastic solid Bars.

3- Work associated with the stretching of liquid film.

4- Work done to Raise or to accelerate a Body.

Subject Chapter 5 (chapter 3 بالكتاب) Date 28/11/2021 No.

Pure substances :-

A substance that has a fixed chemical composition throughout.

مادة لها نفس التركيب الكيميائي خلال ال system (الماء والثلج تعتبر pure)

(ميه وملح not pure)

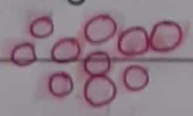
⇒ Air is a mixture of several gases, but it is considered to be a pure substance. الهواء بنتعامل معه على انو pure على الرغم من انو mix، بس عشان نسهل حياتنا ☺

Phases of a pure substance :-

(a) solid → molecules are at relatively fixed positions

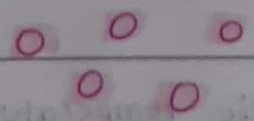
الجزيئات قريبة من بعض وثابتة.

(b) liquid → groups of molecules move about each other.



بين السائل والغاز.

(c) gas → molecules move about at random.



كثافته قليلة والجزيئات حرة وبعيدة عن بعض.

Subject Chapter 5 Date 28/11/2021 No.

أنواع ثانية لل phase :-

① البلازما ← بتحتاج أرفع الحرارة 3000 تقريبًا.

← لما أعرض المواد للبلازما (حرارة عالية) بترجع للعناصر المكونة لها.

الخشبة لما أعرضها لحرارة فوق ال 3000، بصير C لحال و O لحال و H لحال.

احنا ما بنتعامل مع هاي الحالات بس بهمنا (g/l/s)

② النجوم neutron stars ←

الشمس بتوصلنا حرارتها عن طريق الاندماج النووي.

← النجوم تعتبر الحالة الخامسة للمادة.

الكثافة أعلى بكثير من المواد اللي بنعرفها.

③ super fluidity ←

الحالة السادسة للمادة.

← مثل ال H بجمد بكمية وبطلع منها مثل لما هدا يمر من حيط ⇐ (لا نتعامل معها)

الزجاج يعتبر liq، لأنو لو اتفرجنا على تركيب ذرات وجزيئات الزجاج راح يكون قريب من ال liq (بس احنا بالعادة بنتعامل معو انو solid)، لأنو له شبه لانهائية يعني ماراح نشوف انو صرلو flow.

what defines a Phase :-

1- liquid ⇒ if vaporization results from an isothermal pressure reduction (expansion).

حرارة ثابتة وضغط قليل

25°C ← (زجاجة ماء) → لما أدخل 0.03 تقريبا المي راح تغلي بنفسها liq

ثبتنا الحرارة وبلشنا نقلل الضغط

2- gas ⇒ if condensation results from an isobaric temperature reduction (cooling).

ضغط ثابت وحرارة قليلة

راح نوصل لمرحلة عندها الغاز بيتكاثف وبتحول لسائل بنفسه غاز.

Subject Chapter 5 Date 28/11/2021 No.

⇒ **vapor** :- gas a $T < T_c$ that can condensed either :-

saturation المناطق القريبة من ال

غاز بالتالي راح يصير عندي تكاثف بطرق بحتين

ال gas أعم من ال vapor

1 - by isothermal compression

2 - by isobaric cooling

عكس ال liq

مثل الغاز

⇒ Beyond the critical point, nether condensation nor vaporization leads to phase change, for which the phase is called **fluid**. ما بعد ال critical point بنسمي المادة Fluid

⇒ The region $T > T_c$ is termed the **supercritical region**.

لـ كثافتها ولزوجتها بين ال liq وال vap ولكن كفاءتها بأخذ الشوائب أفضل بكثير من ال liq وال v

مثلاً في الغسالة → مثل ال CO_2 لو نزلت الحقنة ال CO_2 بتحول لغاز والبقعة solid يعني بالتالي فصلت البقعة عن ال CO_2 بتكون الكفاءة عالية.

PvT phase diagram :- (عندي 3 مساقط)

- Pv → specific volume
- PT → أشهر مسقط
- VT

PT phase diagram :-

→ For water at triple point :-

$T_{tp} = 0.01\ ^\circ C$

$P_{tp} = 0.6117\ kPa$

→ For water at normal boiling point :-

$T_{nb} = 99.97\ ^\circ C$

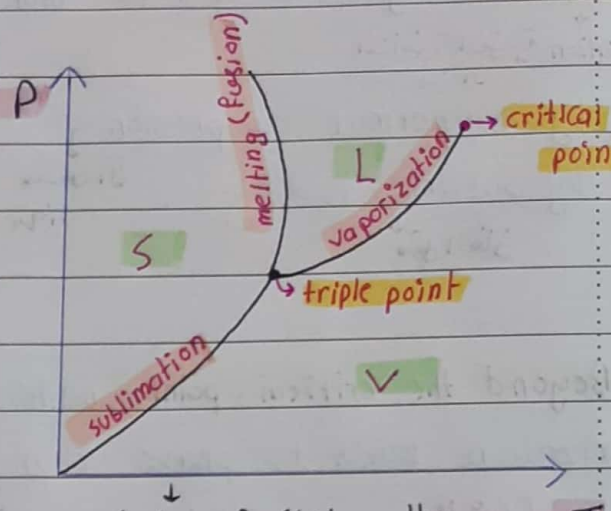
$P_{nb} = 101.325\ kPa$

↳ $1\ bar = 10^5\ Pa$

→ For water at critical point :-

$T_c = 373.95\ ^\circ C$

$P_c = 22.06\ MPa$



↓ at low P (below the triple point) solids evaporate without melting first (sublimation)

← بشكل عام العلاقة بين الكيرفات طردية أسية، باستثناء الماء curve ال melting بتكون عكسية.

← ال liq بكون دايمًا بين ال triple point & critical point.

← في كيرفات ثانية بكون عنا حول 7 phases من ال solid، بس ما بهمونا كتير بالهندسة الكيميائية ☆، هاي ال phases الثانية للثلج بتبين على ضغوطات عالية (100 000 Pa) بنلاحيتها بالكواكب الكبيرة)

→ saturation → melting (melting pressure)
↓ → sublimation (sublimation pressure)
بتشمل كل ال كيرفات بس احنا عادة بنهتم بال vaporization → vaporization (vapor pressure)

Subject Chapter 5 Date 30/11/2021 No.

Saturation Temperature & saturation pressure :-

⇒ The Temp at which water starts boiling depends on the pressure; therefore, if the pressure is fixed, so is the boiling temperature.

⇒ water boils & 100°C at 1 atm pressure.

⇒ Saturation Temp T_{sat} :- The Temp at which a pure substance changes phase at a given pressure.

⇒ Saturation pressure P_{sat} :- The pressure at which a pure substance changes phase at a given temperature.

← من الكيرف السابق نلاحظ انو ال vapor pressure يتأثر بشكل كبير بالحرارة (علاقة طردية). (علاقة طردية أسية)

Antoine equation

$$\ln P^{vap} = A - \frac{B}{T+C} \rightarrow P_{vap} = e^{\left(A - B/T+C\right)}$$

Example :-

A rigid tank contains 50 kg of saturated liquid water at 90°c. Determine the pressure in the tank & the volume of the tank ?!

أنا على ال sat'd

rigid tank (constant volume)

لكن ما عندي vapor

بس liq

$T = 90°c$

$f = 2 + C - \pi = 2 + 1 - 2 = 1$

يعني من معرفتي للحرارة

فقط بقدر أوجد باقي الأشياء.

عندي حرارة بزوج على

ال sat'd Temp ⇐

$P = P_{sat\ at\ 90°c} = 70.183\ kPa$

أقل من الضغط الجوي يعني

التنك فيه vacuum

$V = mv = 50 \times 0.001036\ \frac{m^3}{kg} = 0.0518\ m^3$

specific volume of sat'd liq at 90°c

Subject Chapter 5 Date 30/11/2021 No.

Meaning of the equilibrium curves :-

⇒ The slope of the vapor-liquid equilibrium (VLE) curve gives the rate of change of the vapor pressure of the liquid with temperature.

⇒ The slope of the vapor solid coexistence curve is equal to the change of the vapor pressure of the solid (sublimation pressure) with temperature.

⇒ The inverse of the slop of the liquid-solid coexistence line gives the change of the melting temperature of the solid with pressure.

At equilibrium, the Clapeyron equation is :-

$$\left(\frac{\partial P^{sat}}{\partial T}\right)_{g'=g''} = \frac{\Delta S}{\Delta v} = \frac{\Delta h}{T\Delta v}$$

→ بالكسر ال ΔS بيكون ΔS لأنو g إله أكل من ال v وهكذا...

← على ال equilibrium ال g لل phase الأولى بكون يساوي g لل phase الثانية ⇐

$$g^L = g^V \quad (at\ 100^\circ C)$$

$$h_1 - TS_1 = h_v - TS_v$$

$$419.17 - (373.15)(1.3072) = 2675.6 - (373.15)(7.3542)$$

$$-68.8 \simeq -68.8\ kJ/kg$$

Subject Chapter 5 Date 2/12/2021 No.

Interpreting the Clapeyron equation :-

⇒ Δh, Δv & Δs are all non-zero away from the fluid critical point & approach zero as the critical point is approached.

→ None of the coexistence curves has a zero slop.

⇒ Due to the non-zero value of both the entropy & enthalpy changes accompanying phase transitions.

⇒ Due to Δv being non-zero.

⇒ Generally, the heat of fusion & volume change on melting are positive.

→ leads to the positive slope of S-L curves.

→ Water is an exception to this.

vapor liquid :-

vapor	liq	(V-L)
$h\uparrow$	$h\downarrow$	$\therefore \frac{\Delta h}{T\Delta V}$
$T(+)$	$T(+)$	$\downarrow$
$\Delta V\uparrow$	$\Delta V\downarrow$	$(+)$

vapor solid :-

vapor	solid	(V-S)
$h\uparrow$	$h\downarrow$	$\therefore \frac{\Delta h}{T\Delta V}$
$T(+)$	$T(+)$	$\downarrow$
$\Delta V\uparrow$	$\Delta V\downarrow$	$(+)$

liquid solid :-

liquid	solid	(L-S)
$h\uparrow$	$h\updownarrow$	$\therefore \frac{\Delta h}{T\Delta V}$
$T(+)$	$T(+)$	$\downarrow$
$V\uparrow$	$V\downarrow$	$(+)$

liquid solid (H_2O) :-

liquid	solid	(L-S)
$h\uparrow$	$h\downarrow$	$\therefore \frac{\Delta h}{T\Delta V}$
$T(+)$	$T(+)$	$\downarrow$
$V\downarrow$	$V\uparrow$	$(-)$

Clausius - Clapeyron equation :-

=> Applies to V-L / V-S equilibria.

A temperatures for which the vapor pressure is not very high. Assumes the vapor phase is ideal gas, then substitute in the clapeyron equation.

$v^g \gg v^f \Rightarrow \Delta v \approx v^g$ → بما انو الحجم للغاز كبير كتير مقارنة بالسائل منعتبر نعتبر $\Delta v = v^g$

$\Delta v^{fg} \approx v^g = RT/P$

↳ ومنعتبر نعتبر الغاز ideal gas ونعوض هاي بالمعادلة

$$\frac{dP^{sat}}{dT} = \frac{P^{sat}\,\Delta h^{fg}}{RT^2} \Rightarrow \frac{d\ln P^{sat}}{dT} = \frac{\Delta h^{fg}}{RT^2}$$

بنكامل هاي المعادلة

Referred to as the Clausius - Clapeyron equation

=> The latent heat of vaporization is a function of temperature. Assume it is idependent of temperature over small Temperature intervals.

$$\ln \frac{P^{sat}(T_2)}{P^{sat}(T_1)} = -\frac{\Delta h^{fg}}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)$$

Subject Chapter 5 Date 2/12/2021 No.

Vapor pressure Models :-

Clausius Clapeyron

$$\ln P^{vap} = A - \frac{B}{T}$$

الأساس هي ال
clausius clapeyron
والباقي كأنهم أضافوا
زيادة لهاي المعادلة.

Antoine

$$\ln P^{vap} = A' - \frac{B'}{T + \boxed{C'}}$$

Riedel

$$\ln P^{vap} = A'' + \frac{B''}{T} + \boxed{C'' \ln T + D T^6}$$

Harlecher - Braun

$$\ln P^{vap} = A''' + \frac{B'''}{T} + C''' \ln T + \frac{D' P^{vap}}{T^2}$$

لـ هاي المعادلة
مبنية بس مشكلتها
انو P^{vap} على الجهتين
يعني بتنحل
trial & error

Subject Chapter 5 Date 2/12/2021 No.

Estimation of Δh^{fg} at Normal Boiling Point & at $T \neq T_n$

بالنسبة للماء مباشرة من ال table

Trouton's rule gives a rough estimate

$$\frac{\Delta h_n}{RT_n} \sim 10$$

$T_n \rightarrow$ normal Boiling Point (1 atm)

For H_2O at $100°C \approx 373.15$ K :-

$$\Delta h = 10 * R * T = 10 * 8.314 * 373.15$$

$$= 31023.69 \text{ J/mol} \rightarrow \text{KJ/Kg}$$

$$= \frac{31023.69}{18} = 1723.538 \text{ KJ/Kg}$$

بينما القيمة الفعلية

بالجدول 2256.4 يعني عندي

error كبيرة لأنو الطريقة هاي تقديرية .

Riedel equation gives estimates to within 5% of the experimental values.

$$\frac{\Delta h_n}{RT_n} = \frac{1.092 (\ln P_c - 1.013)}{0.930 - T_{rn}}$$

P_c → critical pressure (bar)

$T_{rn} = T / T_c$ → reduced Temperature

For H_2O at 373.15 K :-

$$\frac{\Delta h}{(8.314)(373.15)} = \frac{1.092 (\ln(220.6) - 1.013)}{0.930 - (373.15/647)}$$

$$\Delta h = 42036.49 \text{ J/mol} = \frac{42036.49}{18} = 2335.36 \text{ KJ/Kg}$$

قريبة أكثر للقيمة

يلي بالجدول

Subject Chapter 5 Date 2/12/2021 No.

The watson correlation may be used to estimate the latent heat of vaporization of a liquid from knowledge of a single point

$$\frac{\Delta h_2}{\Delta h_1} = \left(\frac{1 - T_{r2}}{1 - T_{r1}}\right)^{0.38}$$

← عادة بتكون عند ال Boiling Point

Pitzer's Acentric factor : Definition

⇒ The two parameter corresponding states Theory (CST) fails to correlate data other than these for simple fluids.

⇒ Development of the acentric factor (to deviate from spherical shape of simple fluids). مهمة لأنها بتعطيني فكرة عن ال molecules بتبقى متدبش بعيد عن ال spherical shape

$\omega \uparrow \rightarrow$ كلما بعد

$\omega \downarrow \rightarrow$ كلما قرب من ال spherical shape

$$\omega = -1.0 - \log(P_r^{sat})_{T_r = 0.7}$$

ω → For simple fluids (Ar, Kr, Xe) is zero. ($\omega = 0.001$, 0.005, 0.008)

→ For all other fluids (greater than zero (positive))

Exception :- Quantum fluids (H_2, He, Ne) which do not conform to CST unless some effective critical parameters are introduced.

Subject Chapter 5 Date 2/12/2021 No.

ethane $w = 0.099$

Butane $w = 0.199$

hexan $w = 0.299$

نلاحظ كلما زادت ذرات الكربون زادت w ، لأن الشكل يكون بعيد عن ال spherical shape

The Critical Point :-

⇒ The inflection point on the phase diagram where the liquid & vapor phases can not be distinguished from each other because their properties are the same is called critical point.

⇒ The critical point is the largest (highest) pressure & highest Temperature at which a pure chemical species can exist in vapor - liquid equilibrium.

⇒ The critical condition is used to determine the parameters of some equations of state.

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_{T_c} = \left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_{T_c} = 0$$

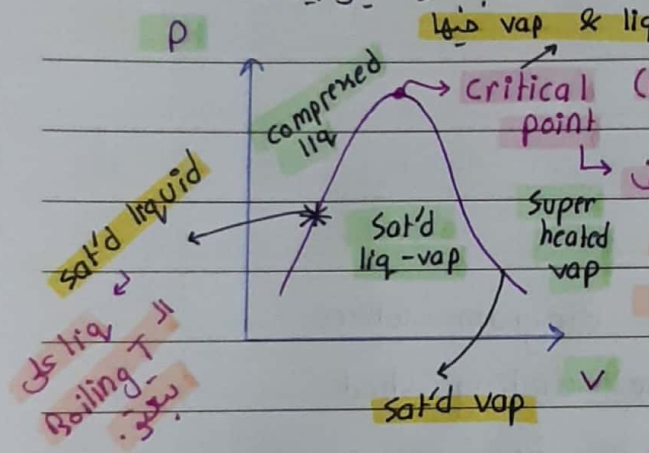
PV & TV phase Diagrams :- أوسع من ال PT

T constant → P constant

⇒ liquids have steep isotherms, on a PV diagram, since liquid volume changes little with large changes in pressure.

⇒ vapors have smoothly varying isotherms due to the changes of vapor volume upon changes on pressure.

آخر نقطة بنقدر نميز بين ال vap & liq فيها



(maximum point)

نقطة انعطاف (inflection point)

$f''(x) = 0$

$f'(x) = 0$

من هدول الكيرفات بقدر أعرف شو ال phase الموجودة وشو نسبها على عكس PT ما بقدر بالزبط أعرف أديش عندي vap أو liq على sat'd curve

Critical point versus Triple points :-

⇒ Critical Point :-

1 - lies at the endpoint of the phase equ. curve.

2 - Critical temp is higher than the reference, standard T.

3 - Critical pressure is generally higher than reference P.

4 - Only liq & gas phase converge at equilibrium.

5 - Degree of freedom = 1.

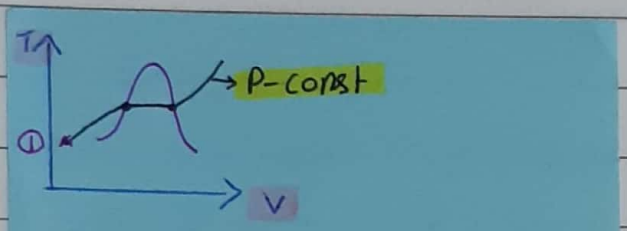
Subject Chapter 5 Date 2/12/2021 No.

⇒ Triple point :-

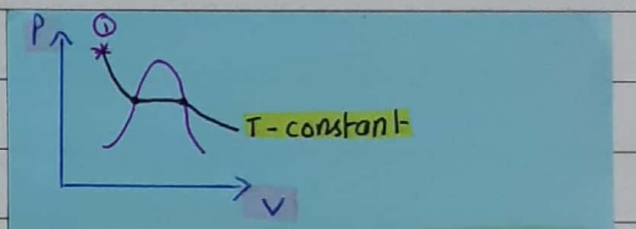
1- The point where the three equilibrium curves meet.
2- Temp at triple point usually lower than reference T.
3- Triple point pressure generally lower than referecnce P.
4- All three phase : gas, liquid & solid coexist in equilibrium.
5- Degree of freedom = 0 (invariant)

↳ $F = 2 + C - \pi$

$2 + 1 - 3 = 0$



بكون بمنطقة الـ liq ببلش أزيد الحرارة وراح يزيد الحجم لغاية ما نوصل للنقطة على الكيرف بصير عنا sat'd liq عند هاي النقطة تثبت الحرارة والحجم يزيد راح نلاحظ السائل راح يقل ويتحول لـ vap لغاية ما نوصل sat'd vap بصير كل vap superheated واذا زدت T أكثر بصير عندي vap



بكون بمنطقة الـ liq ببلش أقلل الضغط والحجم يزيد كمان نوصل للـ curve بصير عنا sat'd liq عند هاي النقطة يثبت الضغط والحجم بزيد وبنلاحظ انو كمية السائل راح تقل لأنو جزء منها تحول vap لغاية ما نوصل لـ sat'd vap هون كلها vap واذا قللت الضغط أكثر بصير superheated vap.

Quality :- (النوعية)

Quality (X) :- The ratio of the mass of vapor to the total mass of the mixture. أديش نسبة ال vapor من mix بيحتوي (liq + vap)

$$X = \frac{m_{vap}}{m_{total}} = \frac{m_{vap}}{m_{liq} + m_{vap}} = \frac{m_g}{m_f + m_g}$$

m_{total} → mass of mix

m_f → liquid, m_g → vapor

قصدنا بـ mix انو خليط من 2phase مش أكثر من comp.

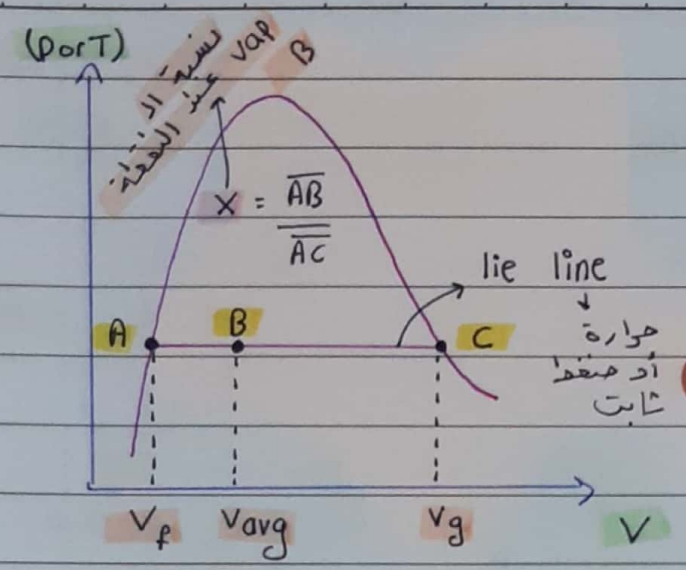
⇒ Quality is between (0 & 1) :-

0 → sat. liquid

1 → sat. vapor

⇒ The properties of the saturated liquid are the same whether it exists alone or in a mixture with saturated vapor.

Subject Chapter 5 Date 5/12/2021 No.



لو بدي أعرف ال phase لـ B شو ممكن يكون؟!
بلاحظ انو B أقرب لـ A يعني أقرب لل liq بالتالي نسبة ال liq عندها أكثر من ال vap
لو $\overline{AC} = 5$
$\overline{AB} = 2$ $BC = 3$
$\boxed{3/5}$ → نسبة ال liq عند النقطة B (النسبة الأكبر لل liq)

$B \rightarrow X$
$(0 \rightarrow 1)$
بين الصفر والواحد
لأنو عندي mix

→ $m_T = 1\,kg$
$m_v + m_L = 1\,kg$
$m_v = X$, $m_L = (1 - X)$

→ $X = \frac{m_v}{m_T}$ → $X = m_v$ (kg)

→ volume :-

$V_m = V_v + V_L$
mix

$= X V_v + (1 - X) V_L$ → $V_m = X V_v + V_L - X V_L$

specific volume → $\frac{\cancel{kg} \times m^3}{\cancel{kg}} \rightarrow m^3$

$V_m - V_L = X (V_v - V_L)$

$X = \frac{V_m - V_L}{(V_v - V_L)}$ → $(\overline{AB})$ → المسافة يلي تعبر عن كمية ال vapor
$(V_v - V_L) \rightarrow \overline{AC}$ ← المسافة الكلية

← مهمة، لأنو كثير من الأحيان بكون عندي خواص ال sat'd (vap liq) وال mix وبدي X

← أو اذا عندي ال quality بقدر أحسب الخواص.

بالكيرف يلي قبل
اذا كانت :-
$x(-) \rightarrow$ supcooled liq
$(x)(0 \rightarrow 1) \rightarrow$ mix
$x(+) > 1 \rightarrow$ super heated

اذا كانت :-
$x = 0 \rightarrow$ sat'd liq
على ال line
$x = 1 \rightarrow$ sat'd vap
على ال line

⇒ Quality can be calculated from any thermodynamics property θ by knowing the state point :-

$$x = \frac{\theta - \theta_f}{\theta_g - \theta_f} = \frac{\theta - \theta_f}{\theta_{fg}}$$

θ → total, θ_f → liquid

$\theta_{fg} \rightarrow$ (liq & vap)
(vap − liq)

θ → v, u, h, s
لـ أي خاصية

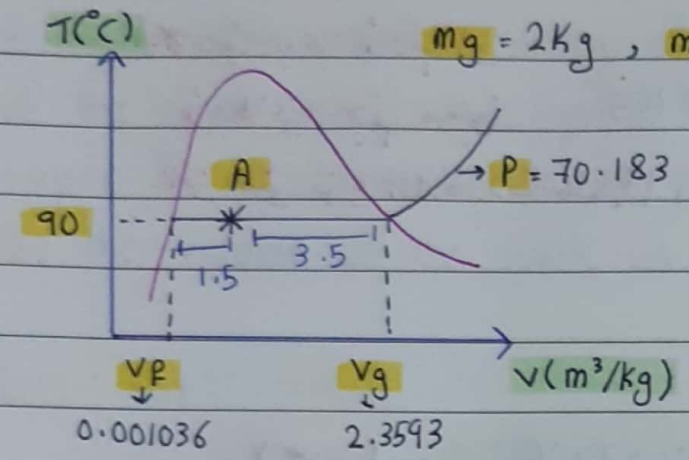
$$\theta_m = \theta_f + x(\theta_{fg})$$

⇒ Knowing quality enables us to find the properties of a mixture using the formula :-

$$\theta = x\theta_g + (1-x)\theta_f = \theta_f + x\theta_{fg}$$

Subject Chapter 5 Date 5/12/2021 No.

Example :-



$m_g = 2\,Kg$, $m_f = 8\,Kg$

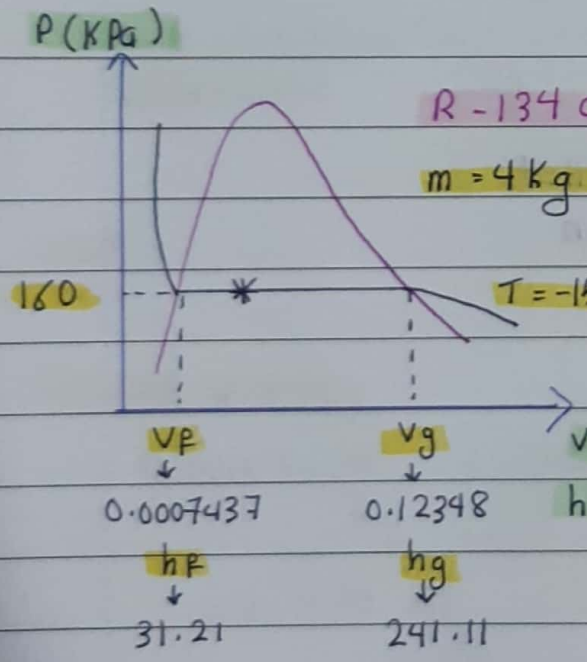
→ $P = 70.183\ KPa$

quality at point A $= \frac{1.5}{5} = 0.3$

منطقة أقرب النقطة

أقرب للـ liq نسبة الـ liq

0.7



R-134 a → مادة تبريد (Table A-11) → sat'd 134 a

m = 4 Kg

1,1,1,2 - Tetrafluoroethane

T = -15.60 °C

CFC → بتسبب ثقب الأوزون

↓

HFC-134 a → بتسبب احتباس حراري

↓

أكثر

Subject Chapter 5 Date 5/12/2021 No.

From table (A-11) :-

P	T	V_f	V_g
160	-15.60	0.0007435	0.12355

*كيف بدي أحكم لو أعطاني حجم معين انو اشو نوع المادة (حالتها)؟!

$U = 5 * 10^{-4}\ m^3/kg$

$$X = \frac{V_m - V_f}{V_g - V_f} = \frac{0.0005 - 0.0007435}{0.12355 - 0.0007435} = (-ve)$$

↓ supcoold liquid

↳ أو مباشرة بشوف الحجم أقل من V لل sat'd liq إذا supcoold

$U = 0.15\ m^3/kg$

$$X = \frac{0.15 - 0.0007435}{0.12355 - 0.0007435} = (+ve)$$

↓ superheated vapor

$U = 0.01$, $U = 0.04$

↳ هاي الحيتة

↓ mix of liq & vap

أقرب لل vap بالتالي نسبة ال vap فيها أكثر من 0.01

Subject Chapter 5 Date 5/12/2021 No.

Example 3-4 :-

A rigid tank contains 10 kg of water at 90°C. If 8 kg of the water is in the liquid form & the rest is in the vapor form, determine (a) the pressure in the tank & (b) the volume of the tank ?!

10 kg water → 8 kg liq, 2 kg vap → $x = 0.2$

(a) sat'd table

$T = 90°C \rightarrow P = 70.183$ kPa

(b) $V = ?!$ (total volume)

$V = V_f + V_g = m_f v_f + m_g v_g$

$= 8\,(0.001036)\ m^3/kg - 2\,(2.3593)\ m^3/kg$

من الجداول

$= 4.73\ m^3$

OR

$V = V_f + x V_{fg}$

$= 0.001036\ \frac{m^3}{kg} + (0.2)(2.3593 - 0.001036)\ m^3/kg$

$= 0.473\ m^3/kg$

$V = m \times v = 10 \times 0.473 = 4.73\ m^3$

Subject Chapter 5 Date 5/12/2021 No.

Example (3-5):-

An 80 L vessel contains 4 kg of R-134a at a pressure of 160 KPa. Determine (a) the temperature, (b) the quality, (c) the enthalpy of refrigerant, (d) the volume occupied by the vapor phase?

(a) sat'd table (R-134a)

$P = 160\ KPa \rightarrow T = -15.60\ °C$

(b) $X = \frac{\boxed{V} - V_L}{V_g - V_L} = \frac{0.02 - 0.0007435}{0.12355 - 0.0007435} = 0.157$

$V = \frac{V}{m}$

$V = \frac{80 * 10^{-3}}{4} = 0.02\ m^3/kg$

(c) $h = h_f + x h_{fg}$

$= 31.8\ \frac{kJ}{kg} + (0.157)(209.96)\ kJ/kg = 64.1\ kJ/kg$

(d) $V_g = m_g v_g = 0.628\ kg * (0.12355)\ m^3/kg = 0.0776\ m^3$

$X = \frac{m_g}{m_t} \rightarrow m_g = X m_t = 0.157 * 4 = 0.628$

Subject : Chapter 5 7/12/2021

Reference state & Reference values :-

⇒ The values of u, h & s can't be measured directly, & they are calculated from measurable properties using the relations between properties.

⇒ However, those relations give the changes in properties, not the values of properties at specified states.

⇒ Therefore, we need to choose a convenient reference state & assign a value of zero for a convenient property or properties at that state.

The reference state for :-

⇒ water is the sat'd liq at triple point (0.01°C & 0.6117 KPa)
↳ u_f & s_f = 0 → table (A-4) → table (A-5)

⇒ R-134 a is sat'd liq at -40°C → table (A-11)
↳ h_f & s_f = 0

⇒ Some properties may have negative values as a result of the reference state chosen.

⇒ Some times different tables list different values for some properties at the same state as a result of using a different reference state. اذا غيرت المرجع بتتغير القيم بس الفرق يكون نفسه

⇒ However In thermodynamics we are concerned with the changes in properties, & the reference state chosen is of no consequence in calculations.

table (A -4)

$U = 0 \quad S = 0$

↓

اما ال U بتكون zero أو ال h بتكون zero مابقدر أصفر التتش مع بعض

ليش؟!

$h = U + PV$

$U = 0 \qquad h = 0$

$h \to (+) \qquad U \to (-)$

لما U تكون سالبة هذا يعني أنها أقل من ال reference

Example :-

(The use of steam tables to determine properties)

Determine the missing properties & the phase descriptions in the following table for water ?!

(a)

T (°C)	P (KPa)	u (KJ/kg)	x	phase
120.21 °C	200	$u = u_f + x u_{fg}$	0.6	mixture
		$= 1719.26$ KJ/kg	$\frac{60}{100}$	

عملنا interpolation

من table A-4

بقرأ الحرارة مباشرة

رقم بين 0 → 1

بدي أجيب u & uf من ug interpolation

العريضة

الأسهل نروح على table (A-5) وما بنحتاج لـ interpolation

Subject: Chapter 5 7/12/2021

(b)

T (°C)	P (KPa)	u (KJ/kg)	x	phase
125	232.23	1600	0.535	mix
يروح على ال sat'd Temp (Table A-4)		بمسك هاي القيمة وبشوف موقعها نسبة ل u_g & u_f	$x = \frac{u - u_L}{u_g - u_L}$	لأنو u اجت بالنص

$$x = \frac{1600 - 524.83}{2534.3 - 524.83}$$

(c)

T (°C)	P (KPa)	u (KJ/kg)	x	phase
395.2	1000	2950	بتركو فاضي	superheated
بس أروح على ال table (A-6) بشوف حيقه u وين موجودة وبعمل interpolation عشان أوجد الحرارة بين (350 - 400)°C	يروح على ال sat'd pressure (table A-5) عشان أشوف ال u	بلاحظ انو u أكبر من ال u لل vapor		يعني بيعمل أطلع الخواص من ال sat'd table يروح على table (A-6) 1MPa = 1000KPa

(d)

T (°C)	P (KPa)	u (KJ/Kg)	x	phase
75	500	$u \approx u_f$ at 75°C = 313.99	بتركو فاضي	subcoold liq
يروح على أي جدول ما راح يغرق				لو رحنا على Table (A-4) راح نلاحظ انو الضغط أعلى من ال sat'd Table (A-5) الحرارة أقل من ال sat'd

Subject : Chapter 5 7 / 12 / 2021

(e)

T(°C)	P(KPa)	u(KJ/kg)	x	Phase
172.94	850	U=Uf	0.0	sat'd liq
مباشرة من		= 731.00		
table (A-5)				

Subject : Chapter 6 9 /12 /2021

Volumetric equations of state :-

=> A mathematical formula that relates the pressure (P), temperature (T), & specific volume (v) of a substance is called an equation of state (EOS).

$$f(P, v, T) = 0$$

$$v = v(T, P)$$

لو واحد من ال 3 متغيرات Function في التانيين.

=> EOS
- ideal gas
- virial
- cubic
  - Vdw
  - RK
  - SRK
  - PR
- multiparameter
  - BWR
  - MBWR
- Molecular
  - PHC
  - SAFT

Subject : Chapter 6 9/12/2021

Ideal gas (IG) EOS :-

=> The easiest yet the least accurate. → أبسط معادلة لكنها أقل معادلة من حيث الدقة لحساب الكميات

=> apply to gas phase only.

Two main assumptions :-

1- Molecular size is zero

2- No moledar forces

ideal gas
↓
high Temp
low pressure.

$$Pv = RT \rightarrow Z = \frac{Pv}{RT} = 1$$

Z → compressibility factor

RT → universal gas constant 8.314 J/mol.K

لما تكون الحرارة عالية جدا الجزيئات بالنسبة للوعاء كثير صغيرة بنعتبر نعتبرها 0 ولأن الجزيئات بتكون بعيدة كثير عن بعض بالتالي ما في molecular force

Virial EOS :- (يعني قوة اللابتبا)

لتحسين لمعادلة الـ ideal gas باعتبار انو عندي force بين الجزيئات

=> A series expansion around the IG limit.

1- Pressure form :-

$$Z = 1 + B'P + C'P^2 + \dots \rightarrow B' = B/RT$$

1 → بتبع الـ ideal gas

وهكذا

$$C' = C/RT$$

2- Volume form :-

second virial coefficient

$$Z = 1 + \frac{B}{V} + \frac{C}{V^2} + \dots$$

first virial coefficient

third virial coefficient وهكذا

$\hookrightarrow D/V^3 , E/V^4 \dots$ وهكذا

=> More accurate than the IG EOS. → أدق من معادلة

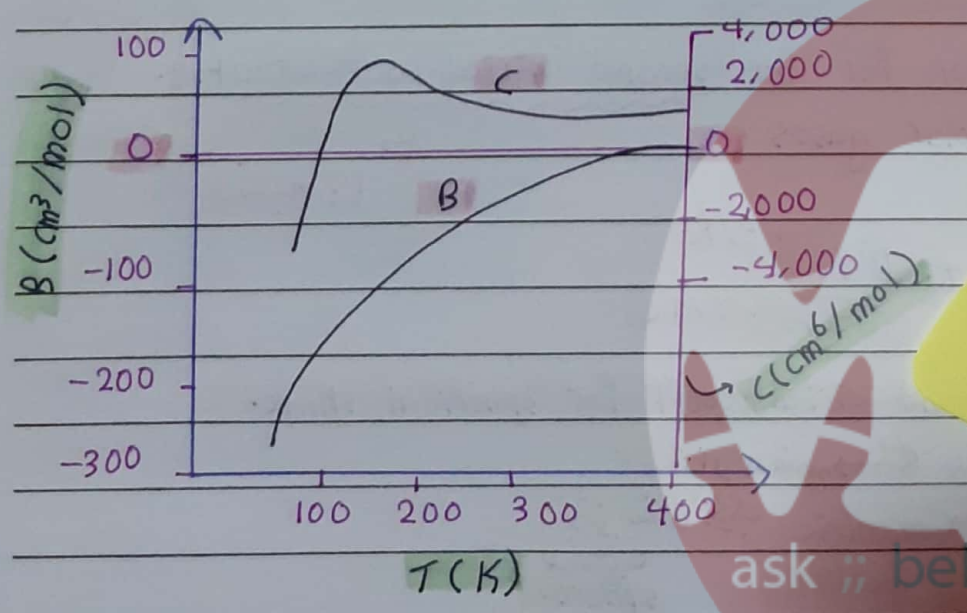
=> Applies to gas phase only. ال ideal gas لكنها معقدة أكثر.

Virial coefficients :- The virial coefficients are function of temperature only. They are related to molecular forces from statistical mechanics.

B → related to two body interactions. → بين كل جزيئين

C → related to three body interactions & so on. → بين كل 3 جزيئات

Effect of T on virial coefficients :-



B(-ve) Z < 1 (attractive forces)

B(+ve) Z > 1 (Repulsive forces)

B = 0 Z = 1 attractive = Repulsive

Subject : Chapter 6 9 / 12 / 2021

بنلاحظ لما نطلع لفوق
شوي (B) صغيرة B
بتقترب من ال zero وهذا
يعني Z=1 attractive = repulsive
وهذا لا يعني انه
ideal

كل ال ideal gas
Z=1 بس مش
كل Z=1 بتكون ideal
ممكن ideal وممكن لا

Z
↓
dimension
less

تحت الصفر حتى B سالبة
$Z = 1 + \frac{B}{V}$ → (-) ، (+)
Z → أقل من واحد
فوق الصفر لو طلعت أكثر B موجبة
$Z = 1 + \frac{B}{V}$ → (+) ، (+)
Z → أكبر من واحد

Boyle's temp :-
B=0 , Z=1
attractive = repulsive
B (cm^3/mol) C (cm^6/mol^2)
D (cm^9/mol^3) ...
وهكذا

Pitzer's Correlation for the second virial coefficient :-

=> Applies to non-polar gases.

↳ كيف نحسبه ؟!

$$Z = 1 + \frac{BP}{RT} = 1 + \frac{\hat{B} P_r}{T_r}$$

P_r → P/Pc
T_r → T/Tc

$$\hat{B} = \frac{BP_c}{RT_c} = B^0 + \omega B^1$$

B^0 → second virial coeff for spherical shape.
B^1 → مقدار التصحيح
ω → acentric factor لأنو شكل الكوكب مابكون sphere.
$\hat{B}$ → reduced second virial coeff.

Subject : Chapter 6 9/12/2021

$B^0 = 0.083 - \frac{0.422}{T_r^{1.6}}$ $B^1 = 0.139 - \frac{0.172}{T_r^{4.2}}$

↳ بنلاحظ انو B & B' function's of Temp

$Z = Z^0 + \omega Z^1$

$Z^0 = 1 + B^0 \frac{P_r}{T_r}$ $Z^1 = B^1 \frac{P_r}{T_r}$

بنلاحظ عمان كل ما بعدنا النقاط بتبعد عن الخطوط بس لما نقرب بتصير كتير قريبة ، للسهولة بنقدر نشتغل virial EOS وراح تكون دقيقة

virial EOS → دقيقة لغاية $\frac{1}{2}\rho_c$

في curve بالسلايدات بيحتوي على خطوط ونقاط

← الخطوط :- compressibility factor المحسوب من virial EOS

← النقاط :- Z المحسوب من lee/kesler correlation

Generalized Compressibility Factor chart :-

⇒ The compressibility factor Z can be thought of as the ratio of the volume of the nonideal (real) gas to that of an ideal gas at the same condition.

الحجم الفعلي للغازات عندي

$Z = \frac{(PV)}{(RT)} = \frac{V_{nonideal}}{V_{ideal\ gas}}$

$P_{ideal} = (RT)$

$P_r = ZRT$

Z

- ideal gas → $Z = 1$
- non-ideal (real)
  - $Z < 1$ → attractive
  - $Z = 1$ → attractive = repulsive
  - $Z > 1$ → Repulsive

Subject : Chapter 6 9/12/2021

$Z < 1 \rightarrow$ attractive

← العلاقة عكسية بين الضغط و الحجم ، يعني زيادة الضغط بتنزل الحجم بشكل أكبر من زيادة الضغط لأنو العلاقة بين P & V غير خطية ، لو كانت خطية كان ما راح يصير تغير .

لو ضاعفت الضغط الحجم راح يقل لهيقة أعلى من الضغط

$Z = \frac{PV}{RT} \rightarrow (2P) \cdot V$

لازم ينزل تحت الضغط عشان حاصل الضرب يكون أقل من واحد

بالتالي السلوك الطبيعي انو الجزيئات بتبعد عن بعض (Repulsive) ، على مسافات حقيرة وضغط عالي الحجم بصير غير قابل للانضغاط بهاي الحالة Repulsive

$Z > 1$

ضغوطات $\rightarrow Z < 1$ نسبيًا قليلة .

=> أحيانًا الزيادة في الضغط لا تؤدي لنقصان كبير في الحجم ، لو ضغطت system مهما زدت الضغط راح ألاحظ انو الجزيئات راح تقرب

← زيادة الضغط لا يقابلها نقصان كبير بالحجم

$Z = \frac{PV}{RT}$ → حاصل ضرب $PV > 1$

Subject : Chapter 6 9/12/2021

Corresponding states principle (CSP) :-

⇒ The Z factor for all gases is approximately the same at the same reduced pressure (P_r) & temperatur (T_r).

$$Z = Z(T_r, P_r)$$

⇒ This is the two parameter CSP.

⇒ The chart is for the majority of hydrocarbon gases with $Z_c \approx 0.27$.

بالـ chart يلي
بالسلايدات بكتبلي مجرد
ما أعرف Tr و Pr وبدخل
بالنفط عن اعلاة الـ Z للمواد
لازم تكون مثل بعض ، مباشرة
بقاطع Pr مع Tr
وبقرأ
Z

Van der Waal's (vdW) EOS :-

⇒ Developed in 1873.

⇒ vdW relaxed the assumptions of the ideal gas :-

1- Molecules do have a volume.

2- Molecules do have intermolecular forces that are manifested as a pressure exerted on the container wall.

⇒ The first EOS to apply for both the vapor & liquid phases.

Subject : Chapter 6 9 / 12 / 2021

$$P = \frac{RT}{v-(b)} - \frac{a}{v^2}$$

a → energy parameter → attractive.

$\frac{RT}{v-(b)}$ → Repulsive.

بصحح
حجم الجزيئات
حجم الجزيئات على
infinit presure.

(v - b)
↓
يمثل الحجم المتاح
للجزيء عشان يتحرك داخل
الوعاء يعني v يمثل الحجم الكلي
للوعاء ، b يمثل الحيز يلي بشغلو
الجزيء.

لما الجزيئات تخبط
بجدار الوعاء راح
يزيد الضغط
وهذا يخسر ليش الإشارة
سالبة

Subject : Chapter 6 9 / 12 / 2021

$$P = \frac{RT}{v-(b)} - \frac{a}{v^2}$$

a → energy parameter → attractive.

(b) → Repulsive.

بصحح حجم الجزيئات

حجم الجزيئات على infinit pressure.

(v - b)
↓
يمثل الحجم المتاح للجزيء عشان يتحرك داخل الوعاء يعني v يمثل الحجم الكلي للوعاء ، b يمثل الحيز يلي بشغلو الجزيء.

لما الجزيئات تحبط بجدار الوعاء راح يزيد الضغط وهذا يخسر ليش الإشارة سالبة

vdW EOS Parameters :-

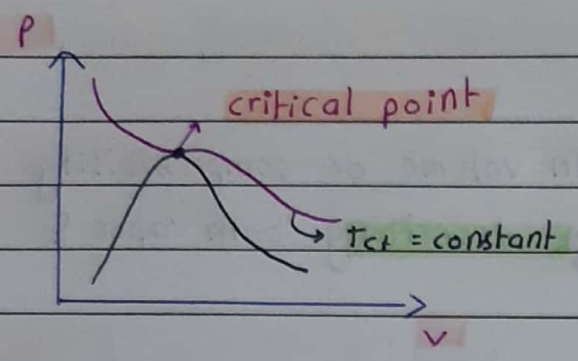
⇒ vdW EOS has two parameters :-

1- A volume correction called covolume (b)

2- A pressure correction called energy parameter (a)

⇒ substance specific.

Subject : Chapter 6 14 / 12 / 2021



→ critical point :-
↓
inflection point
↓
اعتمد عليها vdw عشان
يوجد (a,b)

النقطة يلي عندها
$f'(x) = 0$
$f''(x)$

⇒ obtained from the conditions at critical point :-

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_{T=T_c} = \left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_{T=T_c} = 0$$

ما بتستعمل معادلة vdw !!
لأنها مش دقيقة مقارنة
بالقيم يلي راح تطلع بالمختبر راح
يكون عندي error عالية
لانو بفرض
a & b
constant

$$a = \frac{27}{64}\frac{(RT_c)^2}{P_c} \qquad b = \frac{1}{8}\frac{(RT_c)}{P_c}$$

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$$

$$\frac{\partial P}{\partial V} = \frac{-RT}{(V-b)^2} + \frac{2a\cancel{V}}{\cancel{V^4}\,V^3} = 0$$

هيك صار عندي
معادلتين بمجهولين (a&b)
بحلهم وبتطلع المعادلتين يلي فوق

$$\frac{\partial^2 P}{\partial V^2} = \frac{\cancel{(V-b)^2}(0) + 2RT\,\cancel{(V-b)}}{\cancel{(V-b)^4}\ (V-b)^3} - \frac{2 * 3aV^2}{V^6} = 0$$

$$= \frac{2RT}{(V-b)^3} - \frac{6a}{V^4} = 0$$

Subject: Chapter 6 14 / 12 / 2021

Cubic EOS :- → هدول أفضل من vdW

⇒ vdW is the first cubic EOS (in volume or compressibility factor) successful in qualitatively describing both vapor & liquid phases.

⇒ Yet, it is not accurate.

⇒ Various modifications :-

1- 1949 Redlick - Kwong (RK) EOS : energy parameter, a, is function of T.

2- 1972 Soave - RK (SRK).

3- 1976 Peng - Robinson (PR).

Redlick - Kwong (RK)

$\frac{RT}{(V-b)}$ → repulsive

$$P = \frac{RT}{(V-b)} - \frac{a/\sqrt{T}}{V(V+b)}$$

$$a = 0.42748 \frac{(RT_c)^2 \sqrt{T_c}}{P_c} \qquad b = 0.08664 \frac{RT_c}{P_c}$$

Subject: Chapter 6 14 /12 /2021

Soave - Redlick - Kwong (SPK)

عشان أشتغل بهاي
المعادلات بتاج w & T_c & P_c

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a(T)}{v(v+b)}$$

$$a(T) = 0.42748 \frac{(RT_c)^2}{P_c} \alpha(T) \qquad b = 0.08664 \frac{RT_c}{P_c}$$

$$\sqrt{\alpha(T)} = 1 + K\left(1 - \sqrt{\frac{T}{T_c}}\right)$$

$$K = 0.480 + 1.57w - 0.176w^2$$

w → acentric factor

يعني شكل اد
molecule بيلعب دور

Peng - Robinson (PR)

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a(T)}{v(v+b)+b(v-b)}$$

$$a(T) = 0.45724 \frac{(RT_c)^2}{P_c} \alpha(T) \qquad b = 0.07779 \frac{RT_c}{P_c}$$

$$\sqrt{\alpha(T)} = 1 + K\left(1 - \sqrt{\frac{T}{T_c}}\right)$$

$$K = 0.37464 + 1.5422w - 0.26992w^2$$

***

$T, V \rightarrow P$ ⇝ الأسهل

$T, P \rightarrow V$ ⇝ الأعقد

$V, P \rightarrow T$ لأنو V متكررة
يعني راح أحتاج
trial & error

Subject : Chapter 6 14 / 12 / 2021

$$P = \frac{RTV^2}{V^2(V-b)} - \frac{a(V-b)}{V^2(V-b)}$$

$$\Downarrow$$

$$PV^2(V-b) = RTV^2 - aV + ab$$

$$V^3 - \frac{V^2}{P}(Pb + RT) + \frac{aV}{P} - \frac{ab}{P} = 0$$

→ بنلاقي عشان أوجد V ، بحتاج trial & error

Cubic EOS Coefficients :-

$$Z^3 + \alpha Z^2 + \beta Z + \gamma = 0$$

	vdW	SRK	PR
α	$-1-B$	-1	$-1+B$
β	A	$A-B-B^2$	$A-2B-3B^2$
γ	$-AB$	$-AB$	$-AB+B^2+B^3$
Z_c	0.3750	0.3333	0.3074

$A = \frac{aP}{(RT)^2}$, $B = \frac{bP}{RT}$

Reduced energy parameter

Reduced covolume

initial Guess for solution :-

→ vapor : ideal gas ($Z = 1$)

→ liquid : Reduced covolume ($Z = B$)

A → unit less

a → $\frac{(\text{Pressure})(\text{volume})^2}{(\text{mol})^2}$

B → unit less

b → m^3/mol

Subject : Chapter 6 14 / 12 / 2021

Benedict - Webb - Rubin (BWR) EOS :-

original (BWR)

$$P = \frac{RT}{V} + \left(B_0RT - A_0 - \frac{C_0}{T^2}\right)\frac{1}{V^2} + \frac{bRT - a}{V^3} + \frac{a\alpha}{V^6} + \frac{c}{V^3T^2} * \left(1 + \frac{\gamma}{V^2}\right)e^{-\gamma/V^2}$$

من أشهر المعادلات
لكنها معقدة وفيها
الثوابت مش معروفة لكل
المواد

Modified Benedict - Webb - Rubin (MBWR) EOS :-

Modified BWR (MBWR)

$$P = \sum_{n=1}^{9} \frac{a_n}{V^n} + e^{-\gamma/V^2} \sum_{n=10}^{17} \frac{a_n}{(2n-17)} \quad , \gamma = 1/\rho_c^2$$

$$P = \sum_{n=1}^{9} a_n \rho^n + e^{-\gamma\rho^2} \sum_{n=10}^{17} a_n \rho^{2n-17}$$

هدول المعادلات
ما بنتعامل معهم
كتير

Example :-

Predict the pressure of nitrogen gas at $T = 175K$ & $v = 0.00375$ m^3/Kg on the basis of (a) ideal gas equation of state (b) van der Waals equation of state (c) Beattie - Bridgeman equation of state (d) Benedict - Webb - Rubin equation of state. Compare the values obtained to the experimentally determined value of 10000 kPa ?!

(a) $Pv = RT$

$$P = \frac{RT}{v} = \frac{(0.2968\ kPa \cdot m^3/kg \cdot K)(175K)}{0.00375\ m^3/Kg}$$

$$= 13851\ kPa$$

$$error = \left| \frac{10000 - 13851}{10000} \right| \times 100\% = 38.5\%$$

↳ ال error كبيرة

(b)

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2} = 9471\ kPa$$

$a = 0.175\ m^6 \cdot kPa/Kg^2$ → حسبناهم من المعادلات

$b = 0.00138\ m^3/Kg$

$error = 5.3\%$

Subject : Chapter 6 16 , 12 , 2021

(c)

$P = 10110$ KPa

$A = 102.29$

$B = 0.05378$

$C = 4.2 \times 10^4$

error = 1.1 %

(d)

$P = 10009$ KPa

$a = 2.54$

$b = 0.002328$

$c = 7.379 \times 10^4$

$\alpha = 1.272 \times 10^{-4}$

$A_o = 106.73$

$B_o = 0.04074$

$C_o = 8.164 \times 10^5$

$\gamma = 0.0053$

error = 0.09 %

↳ more accurate

Subject : Chapter 7 19 / 12 / 2021

mixing → خلط
splitting → فصل
↓
بدخل pipe واحد
وبطلع عندي 2 pipes
أو أكثر ، ال mix
بالعكس

heat exchangers :-
مبادلات حرارية ، اذا بدي
أسخن بتسخن واذا بدي
أبرد بتبرد
اذا بدي أغير
phase change
vaporizar → مبخر
condenser → مكثف

Throttling valves :-
↓ خنق
↓ محبس أو صمام
↓
اما بنسكر أو بنفتح
عشان نتحكم بالضغط

Turbines, compressors,
fan & pumps.

liquefaction :- التسييل
تسييل الغازات

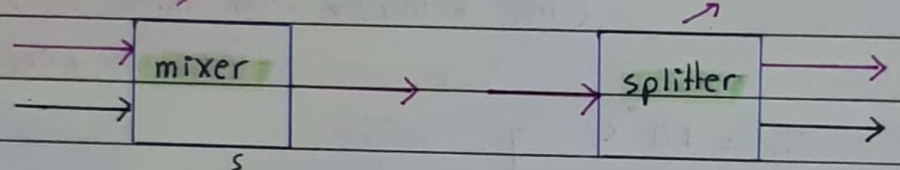
Subject : Chapter 7 19 / 12 / 2021

Mixers & splitters :-

mixer :- the section where a mixing process, between different streams.

splitter :- the section at which a splitting process, for a single stream.

ال flow يندمج ↗ ال flow يتفرع ↗



قد تكون الحرارة وال composition لكل stream داخل مختلفة ، بس بطلع عنا stream واحد بحرارة و compos. معين.

الحرارة وال composition ما بتتغير بس يلي بتغير هو ال flowrate لأنو بصير عنا تفرع

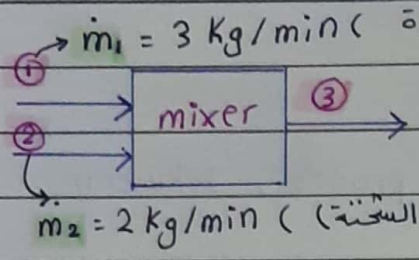
First law of thermodynamic :-

$$(\Delta U + \cancel{\Delta KE} + \Delta PE)_{sys} = \cancel{\dot{Q}} - \cancel{W} + \sum m_i (h_i + \cancel{PE_i} + \cancel{KE_i})$$

- $\cancel{\Delta KE}$ ↓ steady state
- $\cancel{\dot{Q}}$ ↓ ال area صغيرة بالتالي ال heat transfer قليل ، بقدر أفرض انو $Q = 0$
- $\cancel{W}$ ↳ ما عندي work ولا شكل لا
- $\cancel{PE_i}$ ↓ ما صار تغير بالموقع
- $\cancel{KE_i}$ ↳ تغيرها قليل مقارنة بـ h

$\therefore \sum m_i h_i = 0$

Subject : Chapter 7 19 / 12 / 2021



$\sum m_i h_i = 0$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_3 h_3 = 0$$

$$h_3 = \frac{\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2}{\dot{m}_3} = \frac{\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2}{(\dot{m}_1 + \dot{m}_2)}$$

→ from mass Balance $\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$

$\dot{m}_1 = 3$ kg/min $\quad T_1 = 10\,^\circ C$

$\dot{m}_2 = 2$ kg/min $\quad T_2 = 60\,^\circ C$

] منخلية مي ساخنة وباردة

$h_2 = C_p (T_2 - T_R)$

$h_1 = C_p (T_1 - T_R)$

$h_3 = C_p (T_3 - T_R)$ → Reference

$$\cancel{C_p} (T_3 - T_R)(\dot{m}_1 + \dot{m}_2) = \dot{m}_1 (\cancel{C_p} (T_1 - T_R) + \dot{m}_2 \cancel{C_p} (T_2 - T_R)$$

$$(\dot{m}_1 + \dot{m}_2) T_3 - \cancel{(\dot{m}_1 + \dot{m}_2) T_R} = \dot{m}_1 T_1 - \cancel{\dot{m}_1 T_R} + \dot{m}_2 T_2 - \cancel{\dot{m}_2 T_R}$$

$$(\dot{m}_1 + \dot{m}_2) T_3 = \dot{m}_1 T_1 + \dot{m}_2 T_2$$

$$T_3 = \frac{\dot{m}_1 T_1 + \dot{m}_2 T_2}{(\dot{m}_1 + \dot{m}_2)} = \frac{(3)(10) + (2)(60)}{5} = 30\,^\circ C$$

weighted average

بين الحارتين وأقرب للباردة لأنو ال flow rate إلها أكبر

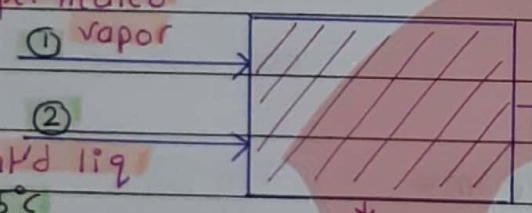
Subject: Chapter 7 19 / 12 / 2021

$T_3 = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{10 + 60}{2} = 35°C$ → في حال كانت الكتل نفسها بتكون T_3 average

كلما زاد ال Flow Rate لواحد من ال streams الحرارة بتنسحب باتجاهه (ال flow rate الأكبر بسحب الحرارة الطالعة باتجاهه)

هاد الحكي بينطبق على ال sensible heat يعني لما يكون عندي phase change

1bar, 300°C, 1kg/s
super heated vapor



sat'd liq
25°C
$\dot{m} = ?!$
الكمية بدي حتاجها لأوصل لـ sat'd vap

"D-superheater"
هاي ال unit أهميتها انو بدخل عنا superheated وبطلع sat'd vapor عن طريق أخلط ال superheated مع liq

1bar = 0.1 MPa
1bar = 100 KPa

$h_1 = 3074.5$ KJ/kg
table (A-6)

$h_2 = 104.83$ KJ/kg
table (A-4)

$h_3 = 2675.0$ KJ/kg
table (A-5)

Subject : Chapter 7 19/12/2021

mass balance :-

$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$ → ما بقدر أحلها كلها لأنو عندي مجهولين

$\dot{m}_2$ ؟؟

energy balance :-

$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$ → بحتاج نعرف الـ h وبعدين بنحل المعادلتين.

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

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{m}_1 (h_3 - h_1)}{(h_2 - h_3)} = \frac{1 (2675 - 3074.5)}{(104.83 - 2675)} = 0.155 \text{ kg/s}$$

انا بحاجة أدخل 0.155 kg من الماء على stream super heated حتى أطلع 1.155 kg من الـ sat'd vap

قدرت أبخر مي بدون ما أدخل أي KJ من عندي ، تكوين البخار مكلف جدًا بالصناعة.

steams

- HP → high pressure → > 40 bar → يستعمل لـ power generation ينتج كهرباء
- MP → medium pressure → 5 يستخدم process fluid
- LP → low pressure → <5 bar → يستخدم للتسخين.

Subject : Chapter 7 21 / 12 / 2021

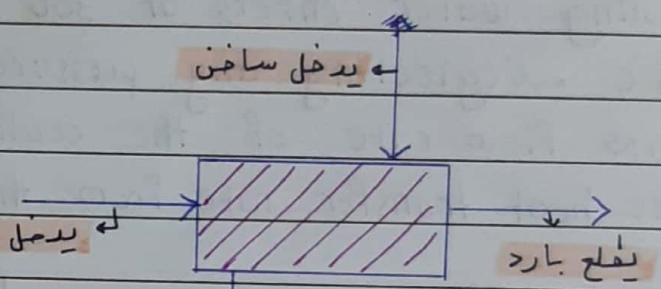
heat exchangers (HX) :- → ما بصير اختلاط بين الحامي والبارد

⇒ heat exchangers are devices where two moving fluid streams exchange heat without mixing.

⇒ heat exchanged may be :-

1- sensible heat.

2- phase change heat.



التبادل الحراري يحصل على السطح

يطلع ساخن.

عنا 4 streams

shell ← واحد بدخل وبطلع من

tube ← وواحد بدخل وبطلع من

$$\cancel{(\Delta U + \Delta KE + \Delta PE)}_{sys} = Q - \cancel{W} + \sum m_i (h_i + \cancel{PE} + \cancel{KE})$$

steady state

ما عنا ولا شكل work

بدنا نفرج على جهة وحدة يا ال shell لحال أو ال tube لحال

$$Q + \sum m_i h_i = 0$$

$$Q + \dot{m}(h_{in} - h_{out}) = 0$$

$$\therefore Q = \dot{m}(h_{out} - h_{in}) = \Delta H$$ ⇝ Balance on one side

$\therefore \Delta H = 0$ ⇝ over all heat exchanger → لأنو يلي بكسبو البارد هو نفسو يلي بخسرو الساخن

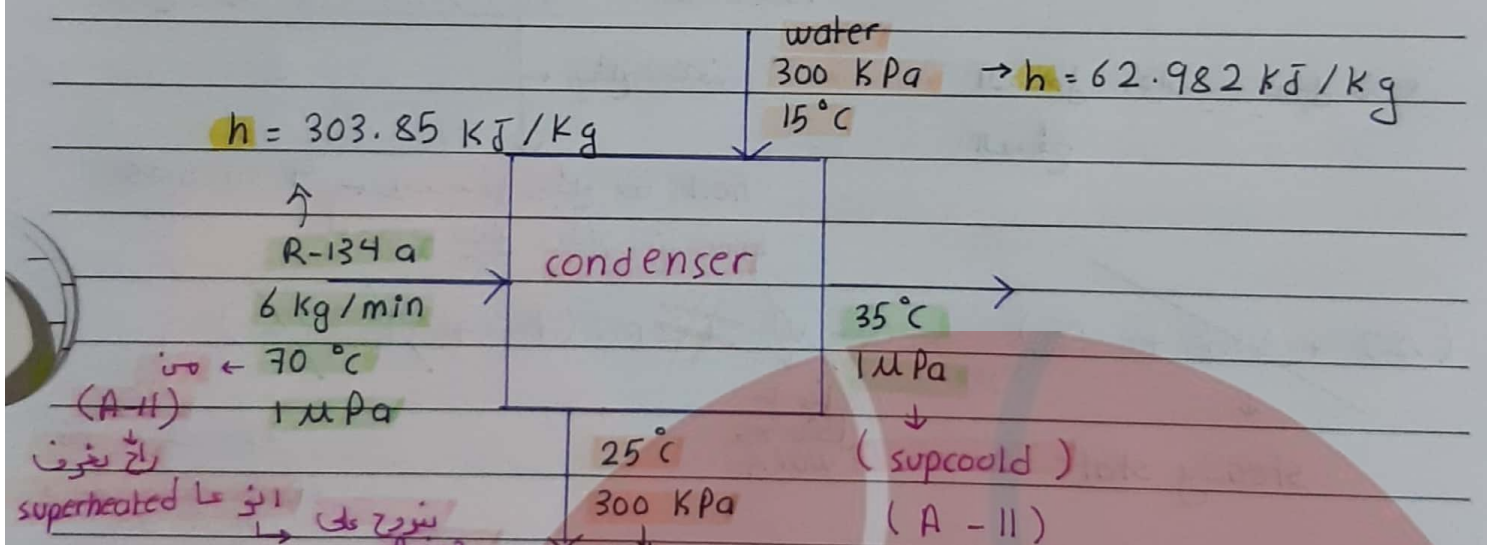
Balance on HX

An idealized HX is assumed to be isobaric on each side pressure drop is set to zero. ($P_{in} = P_{out}$)

$\Delta P = 0$

Example :-

R-134a is to be cooled by water in a condenser. The refrigerant enters the condenser with a mass flow rate of 6 kg/min at 1 MPa & 70°C and leaves at 35°C. The cooling water enters at 300 kPa & 15°C and leaves at 25°C. Neglecting any pressure drops, determine (a) the mass flow rate of the cooling water required and (b) the heat transfer rate from the refrigerant to water.



energy balance :-

(a) Q_{gaind} (H_2O) = Q_{lost} $(R-134a)$

$$\dot{m}\,\Delta h = \dot{m}\,\Delta h$$

$$\dot{m}\,(62.982 - 104.83) = (6)(100.87 - 303.85)$$

$$\dot{m} = 29.1 \text{ kg/min}$$

لـ اي مشرت

latent heat of vaporization

sensible heat بالا خافة لـ

Subject : Chapter 7 21 / 12 / 2021

(b)

$Q = \dot{m}(h_2 - h_1)$

$= 29.1\ (104.83 - 62 - 982)$

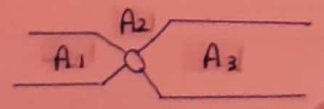
$= 1218\ KJ/min$

موجبة بس لـ R-134a راح تكون سالبة لأنو الحرارة انأخذت منو

Throttling Processes :-

⇒ Throttling valves are any kind of flow-restricting devices that causes appreciable pressure drop in the fluid stream.

أحيانًا احنا بنحتاج انو ننزل ضغط الـ stream



$A_2 > A_1 > A_3$

السرعة أكبر شي

لما ضغوت المساحة راح تزيد السرعة عشان (SAV) تظل ثابتة واذا زادت السرعة بتزيد KE بالتالي يقل الضغط

الفكرة عشان أقلل الضغط هي اني اقلل الـ area وتقليل الـ area يتم عن طريق :-

1- valve.
2- porous plug.
3- capillary tube.

لما أحرك الـ valve برفع وبنزل جوا مسار الفلويد بالتالي بقلل الـ area أو بزيدها.

الـ porous مثل الاسفنجة تقلل الـ area

الأكثر استعمال والأفضل هي الـ valve عشان التحكم بالـ area أفضل بزيد أو بقلل واذا الصمام خرب بقدر أغيروا لأنو ثابت مكانو.

Subject : Chapter 7 21 / 12 / 2021

⇒ Pressure drop (expansion) is usually accompanied by drop in the temperature.

تنزيل الضغط عادة يرافقه
نزول بالحرارة خاصة لما بدي
أسيل الغازات (أكثف الغازات)

→ ideal gas is an exception since its temperature will remain the same. → (h-constant) since $h = h(T)$

⇒ if a saturated liquid is throttled to a lower pressure, some of the liquid vaporizes or flashes, producing a mixture of saturated liquid & saturated vapor at the lower pressure.

بقدر أبخر liq بدون ما استخدم
طاقة عن طريق إني أنزل ضغطه
جزء منو راح يتحول لـ vapor

→ Throttling of "wet" steam to sufficiently low pressure may cause the liquid to evaporate, or the vapor to become superheated.

Subject: Chapter 7 23 / 12 / 2021

Analysis of Throttling processes :-

$$(\Delta U + \Delta KE + \Delta PE)_{sys} = Q - W + \sum \dot{m}(h_i + KE + PE)$$

steady state — area معنوية — rate of heat transfer بحيث zero — ماعندي ولا شكل لل work — تحليل في منطقة الخنق

$\therefore \sum \dot{m}_i h_i = 0$

$\dot{m}(h_{in} - h_{out}) = 0$ $h_{in} = h_{out}$

* expansion occurs at constant enthalpy (isenthalpic)

Example :-

1- steam at 1000 kPa & 300°C is throttled to 101.325 kPa (atmospheric pressure

① $P = 1000$ kPa
$T = 300$ °C
لو رحنا على أي جدول راح نلاحظ انو عنا superheated

so → table (A-6)

$h = 3051.6$ kJ/kg → $H_{in} = H_{out} = 3051.6$ kJ/kg

② $P = 101.325$ kPa → بدي اعرف ال phase بروح على جدول (A-5) وبشوف h وين موجودة راح تطلع super heated
$T = ?$
$h = 3051.6$ kJ/kg

table (A-6) → interpolation

$T = 288.6$ °C

2- Throttling of wet steam to sufficiently low pressure causes the liquid to evaporate & the ~~pressure~~ vapor to become superheated. Thus if wet steam at 1000 KPa (T_{sat} = 179.88°C) with quality of 0.96 is trottled to 101.325 KPa ?

wet steam
↳ يعني غنا
mix → sat'd (liq & vap)

① P = 1000 KPa
$T_{(sat)}$ = 179.88°C
] sat'd Pressure Table (A-6)

mix

$$H_1 = (0.04)(762.51) + (0.96)(2777.1)$$

$$H_1 = H_2 = 2696.5 \text{ kJ/kg}$$

② P = 101.325 KPa →
T = ?
H = 2696.5 kJ/kg

بنروح على (A-5) وبنشوف
وين h راح تطلع
superheated

table (A-6) → interpolation
T = 110.3 °C

3- if a saturated liquid is throttled to a lower pressure, some of the liquid vaporizes or flashes, producing a mixture of saturated liq & saturated vapor at low pressure. Thus if saturated liquid water at (1000 KPa) T_{sat} = 179.88°C is flashed to (101.325) KPa T_{sat} = 100°C ?

Subject : Chapter 7 23 / 12 / 2021

① $P = 1000$ kPa
$T = 179.88\,^{\circ}C$] sat'd table (A - 5)

$H_1 = H_2 = 762.51$ kJ/kg

لا بنوخذ H لل liq

② $P = 101.325$ kPa
$T = 100\,^{\circ}C$
$H = 762.51$ kJ/kg
] → لو رحنا على table (A - 5) راح نلاحظ انو H بتطلع بالنص بالتالي عنا mix

$$X = \frac{h - h_f}{h_{fg}} = \frac{762.51 - 419.06}{2256.5} = 0.152$$

هاي القيمة بتدل انو نسبة ال liq أكبر وهاد الحكي منطقي لأنو H أقرب لـ H_L .

Example :-

Refrigerant - 134 a enters the capillary tube of a refrigerator as saturated liquid at 0.8 MPa & throttled to a pressure of 0.12 MPa. Determine X of refrigerant at final state and the T drop during a process ?!

① $P = 0.8$ MPa $= 800$ kPa
sat'd liq
] → table (A - 12)

$T = 31.31\,^{\circ}C$

$h_L = 95.48$ kJ/kg → $H_1 = H_2 = 95.48$ kJ/kg

② $P = 0.12\ MPa = 120\ kPa$] table (A-12)

mix

$T = -22.32\ ^\circ C$

$$x = \frac{h - h_f}{h_{fg}} = \frac{95.48 - 22.47}{214.52} = 0.34$$

Temp drop $= \Delta T = T_2 - T_1 = -22.32 - 31.31 = -53.63\ ^\circ C$

Joule - Thomson coefficient μ :-

⇒ Throttling a real gas from conditions of moderate temperature and pressure usually results in a temperature decrease. Under what conditions would an increase in temperature be expected ?!

→ The sign of the temperature change is determined by the sign of the derivative.

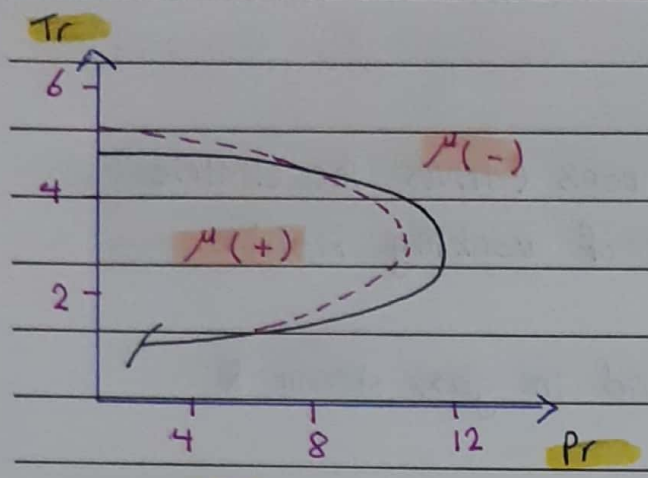
$$\mu = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H = -\left(\frac{\partial T}{\partial H}\right)_P \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P^{-1} \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T$$

$$= \frac{RT^2}{C_p P} \left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P$$

أديش الحرارة بتنزل مع تنزل P على constant H

مشتقة ال compressibility factor بالنسبة لـ T عند constant P

Subject : Chapter 7 23 / 12 / 2021



μ(+)
↓
كلما ما كان عندي drop د P بكون عندي drop د T

μ(-) كلما قل P drop بتزيد الحرارة.

μ(-)
نحصل على الغازات المتحرفة
إما (P↓, T↑) أو (P↑, T↓)
مهم في تسييل الغازات يلي صعب تسييلها مثل الهواء الغازات الطبيعية
O_2 , HC , H_2

Fluid Movers :-

Fluid movers → الأشياء يلي بتمشي الفلويد

- liquid
  - extracted work → Turbines (بناخذ شغل)
  - supplied work → Pumps (بتعطي شغل)
- gas
  - extracted work → turbines
  - supplied work
    - Fans (أقل ضغط ممكن)
    - Blowers (وسط)
    - compressor (أعلى ضغط)

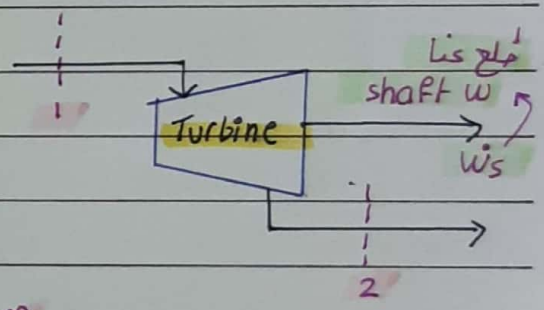
Subject : Chapter 7 23/12/2021

Turbines (Expanders) :-

⇒ turbine is a device to produce work (drives the electric generator) by reducing the pressure of working fluid.

→ The turbine is most commonly found in gas, steam & hydroelectric power plants.

inlet stream is called driving fluid.
outlet stream is called exhaust.



طلع عنا

Analysis of Turbines

$$\cancel{(\Delta U + \Delta PE + \Delta KE)_{sys}} = \cancel{Q} - \overset{(+)\ \text{done by system}}{W} + \dot{m}\sum h_i + \cancel{KE} + \cancel{PE}$$

steady state — معرفش حرارتها — تغيرها قليل مقارنة بال changes of enthalpy — in & out على نفس الارتفاع

$$\therefore \dot{W}_s = -\dot{m}\,(h_{out} - h_{in})$$

→ isentropic processes means that they are reversible adiabatic ($S_{out} = S_{in}$)

Subject : Chapter 7 23 /12 /2021

Analysis of turbines (2) :-

⇒ The isentropic shaft work (W_s) is maximum that can be obtained from an adiabatic turbine.

$$\dot{W}_s \text{ (isentropic)} = \Delta h_s$$

→ Actual work produced by turbine (W) is less than the isentropic (W_s) work.

⇒ turbine efficiency (Range 0.7 - 0.8)

↳ تقريبًا 0.75

$$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{W}_s \text{ (isentropic)}} = \frac{\Delta h}{\Delta h_s}$$

التوربينات الواقعية الكفاءة إلها بتكون أقل من ~~الشغل~~ ال work for isentropic

Subject : Chapter 7 23 /12 /2021

Analysis of turbines (2) :-

⇒ The isentropic shaft work (W_s) is maximum that can be obtained from an adiabatic turbine.

$$\dot{W}_s \text{ (isentropic)} = \Delta h_s$$

→ Actual work produced by turbine (W) is less than the isentropic (W_s) work.

⇒ turbine efficiency (Range 0.7 - 0.8)

↳ تقريبًا 0.75

$$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{W}_s \text{ (isentropic)}} = \frac{\Delta h}{\Delta h_s}$$

$\dot{W}$ → actual work

$\dot{W}_s$ (isentropic) ↳ ideal work

التوربينات الواقعية الكفاءة إلها بتكون أقل من ~~الشغل~~ ال work for isentropic

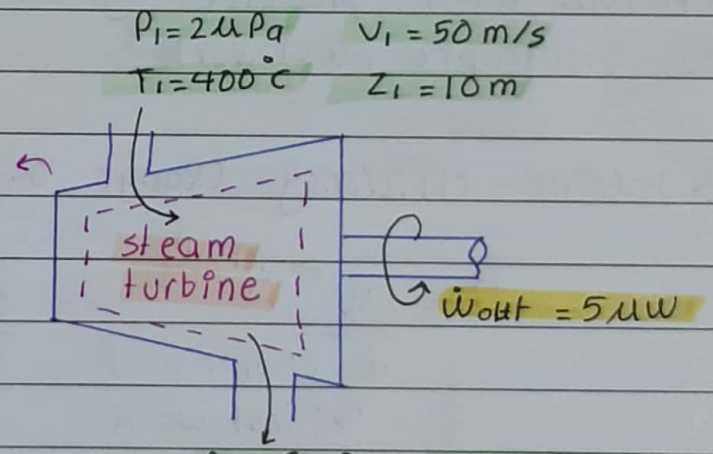
▸ Subject : Chapter 7 26 / 12 / 2021

The power output of an adiabatic steam is 5 MW, and the inlet and exit conditions of steam are as shown 2!.

a- Compare the magnitudes of Δh, Δke, Δpe :-
b- Determine the work done per unit mass of the steam flowing through the turbine :-
c- Calculate the mass flow rate of the steam :-

*steady flow process :-
$\Delta m_{cv} = 0$
$\Delta E_{cv} = 0$

medium pressure steam



Inlet stream :-
$P = 2\,MPa$ $T = 400°C$
↓
في الغالب ال
ال gas turbine
superheated إلها بكون feed

Table (A-6) → $P = 2\,MPa$ (212.38 °C)
↳ sat'd T
لـ الحرارة يلي عنا (400 °C) أعلى من ال
sat'd إذا راح يكون superheated

400 °C → $h_1 = 3248.4$ KJ/Kg

Subject : Chapter 7 26 / 12 / 2021

outlet stream :-

$P = 15\ kPa \qquad x = 90\%$

↳ عنا quality ، مباشرة بعرف انو saturated

Table (A-5) → $P = 15\ kPa$ → $h_L = 225.94\ kJ/kg$; $h_g = 2598.3\ kJ/kg$

$h_2 = h_f + x_2 h_{fg}$

$= 225.94 + (0.9)(2372.3) = 2361.01\ kJ/kg$

(a)

1- Δh ?!

$\Delta h = h_2 - h_1 = 2361.01 - 3248.4 = -887.39\ kJ/kg$

2- Δke ?!

$$\Delta ke = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = \frac{(180)^2 - (50)^2}{2} \times \left(\frac{1\ kJ/kg}{1000\ m^2/s^2}\right) = 14.95\ kJ/kg$$

3- Δpe ?!

$$\Delta pe = g(Z_2 - Z_1) = (9.81)(6-10)\left(\frac{1\ kJ/kg}{1000\ m^2/s^2}\right) = -0.04\ kJ/kg$$

(b)

$$W = -\left((h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(Z_2 - Z_1)\right) = -(\Delta h + \Delta ke + \Delta pe)$$

$= -(-887.39 + 14.95 + (-0.04)) = 872.48\ kJ/kg$

specific work

▸ Subject : Chapter 7 26/12/2021

(c)

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_{out}}{w_{out}} = \frac{5000\ kJ/s}{872.48\ kJ/kg} = 5.73\ kg/s$$

Subject : Chapter 7 28/12/2021

Compressors :-

→ The compressore is a device to increase the pressure of a gas stream.

inlet stream → suction.
outlet stream → discharge.

compression ratio :- The ratio between the pressures on the discharge and suction.

→ To achieve high compression ratios, compressors are operated in a multistage operation with inter cooling.

→ Typical compression ratios are in order of 3 for a single stage. (3 – 9)

↓ الضغط لي طالع

أضعاف الضغط لي داخل (3→9)

Analysis of compressors :-

Q & PE & KE → negligible
$W < 0$ (negative) → imparted upon the system.

$$\dot{W}_s = -\dot{m}\,(h_{out} - h_{in})$$

→ The isentropic shaft work (W_s) is the minimum that can be supplied to an adiabatic compressor.

$$\dot{W}_s\,(\text{isentropic}) = \Delta h_s$$

Subject: Chapter 7 28/12/2021

An idealized compressor is assumed to be isentropic entropy at the inlet & outlet is the same.

Analysis of compressors (2) :-

→ Actual compressors require work (W) greater than isentropic (W_s)

compressor efficiency (0.7 - 0.8)

$$\eta = \frac{\dot{W}_s \text{ (isentropic)}}{\dot{W}} = \frac{\Delta h_s}{\Delta h}$$

Compression of ideal gases :-

⇒ Assume that the gas to be compressed is an ideal gas with constant heat capacity. Also, assume that the compression is reversibly adiabatic (isentropic)

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

isentropic

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{R/C_p}$$

يلي طالع

يلي طالعة

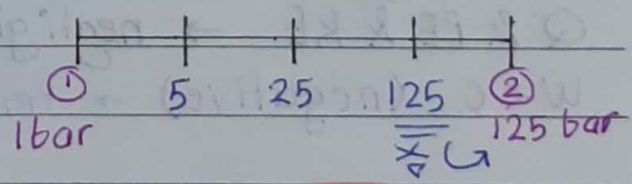
يلي داخلة

يلي داخل

→ compression ratio

1bar → 125 bar

ratio = 125 bar



← لنفرض بدي الـ Ratio تكون 5 بكل stage بالتالي راح يكون عندي 3 stage

* ملاحظة لو كان آخر اشي 200 راح يكون عندي 3 وشوي بس بعتبرهم 4 ← التقريب لأقرب أعلى عدد صحيح

Subject : Chapter 7 28 / 12 / 2021

Example :

If methan (assumed to be in its ideal gas state) is compressed adiabatically from 20°C & 140 KPa to 560 KPa, estimate the work requirement & the discharge temperature of the methane. efficiency is 0.75. Solve this problem assuming constant heat capacity for methane then solve using a temperature dependent heat capacity ?!

$P_2/P_1 = 4$ $\eta = 0.75$

ideal gas → $\frac{5}{2} R = 20.785$ J/mol.K

$T_2 = T_1 \left(P_2/P_1\right)^{R/Cp} = 293.15 \left(\frac{560}{140}\right)^{8.314/19.89}$

هاد تجريبي

$= 523.3$ K

أحسب Cp من الـ appendix A-2

$\dot{W}_s$ (isentropic) $= -19.89 (523.3 - 293.15) = -4577.7$ J/mol

↳ $-Cp(\Delta T)$

كلما زاد الضغط بزيد الشغل

$\Delta S = 20.785 \ln\left(\frac{523.3}{293.15}\right) - 8.314 \ln 4$

$= 9.84$ J/mol.K

↳ لازم دايما موجبة لأن ΔS (S) تزيد بأي process.

Subject: Chapter 7 28 / 12 / 2021

For the temperature-dependent heat capacity :-

$$\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} = 0$$

$$= (a + bT + cT^2 + dT^3) \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} = 0$$

$$\dot{W}_s \text{ (isentropic)} = \int_{T_1}^{T_2} C_p \, dT = \int_{T_1}^{T_2} (a + bT + cT^2 + dT^3) \, dT$$

$$= \left(aT + \frac{1}{2} bT^2 + \frac{1}{3} cT^3 + \frac{1}{4} dT^4 \right) \Big]_{T_1}^{T_2} = -3652.1 \ J/mol$$

by trial & error

$T = 389.09 \ K$

The actual work is :-

$$\dot{W} = \frac{\dot{W}_s \text{ (isentropic)}}{\eta} = \frac{-3652.1}{0.75} = -4869.5 \ J/mol$$

$$\dot{W} = \Delta h = \int_{T_1}^{T_2} C_p \, dT = \left(aT + \frac{1}{2} bT^2 + \frac{1}{3} cT^3 + \frac{1}{4} dT^4 \right) \Big]_{T_1}^{T_1} = -4869.5 \ J/mol$$

This equation is implicit in temperature & a trial & error solution is required.

solving yields = $T = 418.41 \ K$

Subject: Chapter 7 28 / 12 / 2021

Example :-

Saturated - vapor steam at 100 kPa ($T = 99.63°C$) is compressed adiabatically to 300 kPa. If the compressor efficiency is 0.75, what is the work required & what are the properties of the discharge stream ?!

Table (A-5) $P = 100\ kPa$ → $H_1 = 2675.4\ kJ/kg$
→ $S_1 = 7.3598\ kJ/kg$

$S_1 = S_2'$ (isentropic) $= 7.3598\ kJ/kg$, $P = 300\ kPa$

$H_2' = 2888.8\ kJ/kg$

↳ interpolation in the tables for superheated steam at 300 kPa

في الغالب لي ما بطلع من ال compressors بكون superheated

$\Delta H = H_2' - H_1 = 2888.8 - 2675.4$
(isentropic) $= 213.4\ kJ/kg$

$\Delta H = \frac{(\Delta H)_{(isentropic)}}{\eta} = \frac{213.4}{0.75} = 284.5\ kJ/kg = W_s$

$H_2 = H_1 + \Delta H = 2675.4 + 284.5 = 2959.9\ kJ/kg$

بروح على ال superheated steam table

مربوجد T & S

$T_2 = 246.1°C$ $S_2 = 7.5019\ kJ/kg.K$

↳ زادت شوي عن S_1

Subject : Chapter 7 28 / 12 / 2021

Fans & Blowers :-

→ The fan or a blower are devices used to slightly increase the pressure of a gas stream, and mainly to mobilize it.

→ Same as compressors, with lower compression ratios.

Compression Ratio
- → Fans (مراوح) → up to 1.11
- → Blowers → 1.11 to 1.2 ⇝ نافخات
- → compressor → >1.2 (يزيد الضغط (الضاغطة))

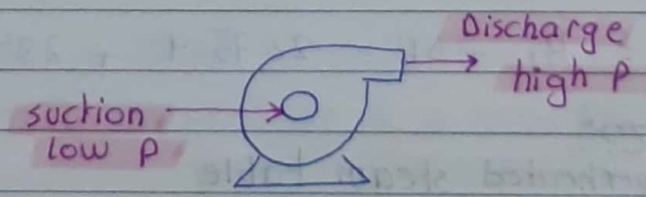
يضخ كمية كبيرة
الضغط بسيطا على
↳ أمرك كميات كبيرة
من الهواء

Pumps :-

→ The pump is a device used to increase the pressure of a liquid stream. ↳ تستعمل المضخات لل liquid

* The pump is a counterpart of a compressor for liquids.

inlet stream → suction.
outlet stream → discharge.



$W > 0$

→ An idealized pump is assumed to be isentropic, entropy at inlet is the same as at outlet.

Subject : Chapter 7 28 / 12 / 2021

Analysis of Pumps :-

Q , PE , KE → negligible

$\dot{W}_s = (\Delta h)_s = v(P_2 - P_1)$

isentropic — specific volume

يساوي بين ال in وال out

Example :-

Water at 45°C & 10 KPa enters an adiabatic pump and is discharge at a pressure of 8600 KPa. Assume the pump efficiency to be 0.75. Calculate the work of the pump ?!

$\dot{W}_s$ (isentropic) $= (\Delta H)_s = v(P_2 - P_1) = (1010)(8600 - 10)$

$= 8.676 \times 10^6 \ KPa \cdot cm^3 \cdot kg^{-1}$

$= 8.676 \ KJ/kg$

$1 KJ = 10^6 \ KPa \cdot cm^3$

$\Delta H = \frac{(\Delta H)_s}{\eta} = \frac{8.676}{0.75} = 11.57 \ KJ/Kg = W_s$

⇒ The Dissi line pumps about 100 million cubic meter of water per year from dissi area near Al Aqaba to Amman, the capital city, of Jordan. Amman is about 1000 meters above sea level & the distance may be taken as 300 km. Determine the power requirement to pump this amount of water & compare it to the total electricity production of Jordan.

Subject : Chapter 7 28 / 12 / 2021

liquifaction :-

One way to liquefy a gas is to cool it below it's boiling point temperature at the desired pressure.

→ would require refrigeration equipment capable of producing very low temperatures. Therefore, such a direct liquefaction process is not generally used.

What is more commonly used :-

1- start with a gas at low pressure.
2- Compress it to high pressure (which increases its Temperature since work has been done on it).
3- Cool this high temperature gas at constant high pressure.
4- Expand it to low pressure & low temperature using a Joule - Thomson expansion, which produces a mixture of liquid & vapor.
5- The vapor & liquid are then separated in a flash drum (an insulated, constant pressure container).

$$\text{efficancy} = \frac{\text{liq flowrate obtained (kg/h)}}{\text{Power consumption in compression (kJ/h)}}$$

Subject : Chapter 7 28 / 12 / 2021

1- A simple liquefaction process without recycle :-

compressor → cooler → Throttling valve → separator (flash drum) → نفصل vap & liq

single or multistage

بين آخر cooler وال flash drum → ينقل الضغط والحرارة

2- The more efficient linde liquefaction process :-

compressor → cooler → heat exchanger → Throttling valve → flash drum

single or mulistage

Example :-

It is desired to produce liquefied natural gas (LNG), which we consider to be pure methane, from that gas at 1 bar & 280 K (conditions at point 1). Leaving the cooler, methane is at 100 bar & 210 K (point 3). The flash drum is adiabatic & operates at 1 bar, and compressor can be assumed to operate reversibly & adiabatically. However, because of the large pressure change, a three stage compressor with intercooling is used. The first stage compresses the gas from 1 bar to 5 bar, the second stage from 5 bar to 25 bar, and the third stage 25 bar to 100 bar. Between stages the gas is isobarically used (cooled) to 280 K ?!

Subject : Chapter 7 30 / 12 / 2021

(a) work required (compressor) :-

نستعمل للحل
Ph diagram

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

$\dot{W} = \dot{m}(\dot{H}_{out} - \dot{H}_{in})$ $\dot{S}_{in} = \dot{S}_{out}$

First stage :-

H_{in} (T = 280 K , P = 1 bar) = 940 kJ/kg

S_{in} = 7.2 kJ/(kg.K)

$\dot{H}_{out}$ (S = 7.2 kJ/(kg.K) , P = 5 bar) = 1195 kJ/kg

T_{out} = 388 K

$\dot{W}$ = (1195 - 940) = 225 kJ/kg

second stage :-

H_{in} (T = 280 K , P = 5 bar) = 938 kJ/kg

S_{in} = 6.35 kJ/(kg.K)

$\dot{H}_{out}$ (S = 6.35 kJ/(kg.K) , P = 25 bar) = 1180 kJ/kg

T_{out} = 386 K

$\dot{W}$ = (1180 - 938) = 242 kJ/kg

Subject: Chapter 7 30 / 12 / 2021

Third stage :-

$\dot{H}_{in}$ ($T = 280\,K$, $P = 25\,bar$) = 915 kJ/kg

S_{in} = 5.5 kJ/(kg·K)

$\dot{H}_{out}$ ($S = 5.5$ kJ/(kg·K) , $P = 100\,bar$) = 1140 kJ/kg

$T_{out} = 383\,K$

$\dot{W}$ = 1140 - 915 = 225 kJ/kg

$\dot{W}$(total) = 255 + 242 + 225 = 722 kJ/kg.

(b) Fractions of vapor & liquid :-

$\hat{H}$ = 493 kJ/kg ($P = 100\,bar$, 210 K)

← الـ enthalpy للعينات
يلي طلع من الـ cooler

$H_{in} = H_{out}$

$\hat{H} = (1-w)\,\hat{H}$(sat'd vap, 1bar) + $w(\hat{H})$(sat'd liq, 1bar)

$$493\ kJ/kg = \underbrace{(1-w)}_{0.174} \times (0.71)\ kJ/kg + \underbrace{w}_{0.826}(0.582)\ kJ/kg$$

Subject: Chapter 8 2 / 1 / 2022

Second low of thermodynamics :-

Prelude to second law :-

⇒ The first law of thermodynamics is concerned with the quality of energy & its transformations.

⇒ The first law does not impose any constraints on the direction of a process.

بقدر من خلال ال first law أعرف انو صار تحول للطاقة بس ما بقدر أعرف إذا فيه صناع أو لا وما بقدر أعرف ال eff وما بقدر أعرف الاتجاه

الاتجاه دايمًا بكون باتجاه زيادة ال entropy

لما انتقل من حرارة عالية لقليلة ال entropy بتزيد

* Experimental observation: processes occur in a certain direction & not in the reverse direction.

Hot tea will cool down in open air.

Natural flows occurs from a high pressure to a low pressure area.

Subject: Chapter 8 2 / 1 / 2022

Satisfying the first law alone is a necessary but not a sufficient condition that a process will occur.

ال first law ضروري يتحقق بس مو كافي
لحالو عشان يصير ال process لازم يتحقق ال
first & second.

Process occur in a certain direction, and not in the reverse direction.

Quantity versus quality of energy :-

A process will not occur unless it satisfies both the first and second laws of thermodynamics.

The second law of thermodynamics :- (أهميته)

1 - May be used to identify the direction of processes.
أحدد اتجاه ال process

2 - Asserts that energy has quality as well as quantity. Provides the means to determine the quality as well as the degree of degradation of energy during a process.
تقييم جودة مصادر الطاقة.

3 - Is also used to determine the theoretical limits for the performance of engineering systems as well as predicting the degree of completion of chemical reactions.
يفيد أستخدم لمقدار الكفاءة لي ممكن أتعامل معها لل process لي بتعامل معها.

Subject : Chapter 8 2 / 1 / 2022

Heat & work transformations :-

⇒ Heat & work can be converted into each other since both are energy in transit.

⇒ Their transformations are governed by the second law of thermodynamics.

energy in transit :-

1- work :-

convertible to other forms of energy at 100% efficiency.

Joule's experiment. بقدر أحوله لأنواع ثانية من ال energy

الشغل يتحول 100% ← heat

2- heat :-

All attempts to convert 100% of heat to work, mechanical or electrical energy have failed. مستحيل أحول heat لـ work بكفاءة 100%

heat always flows from the hotter to the cooler body.

Mathematical statement of the second law :-

⇒ every process proceeds in such a direction that :-

1- the total energy (entropy change) universe associated with it is positive.

2- the limiting value of zero being attained only by a reversible process.

Subject : Chapter 8 2/1/2022

⇒ No process is possible for which the entropy decreases (violation of second law)

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

> 0 → Irreversible

$= 0$ → reversible

زيادة الـ entropy تظهر على شكل نقصان بالطاقة

لو عنا :
ΔS (10 , 5 , 1)
↓
الأفضل هي الـ 1 لأنها أقرب للصفر
أقل entropy تقدر أحصله هو أفضل اشي .

Subject: Chapter 8 4 / 1 / 2022

Heat reservoirs, sources & sinks :-

Control of the high & low temperature sources is achieved using heat reservoirs.

Heat reservoirs are hypothetical (imaginary) bodies capable of absorbing or rejecting an infinite quantity of heat without any temperature change.

Heat sources :- Reservoirs that supply energy in the form of heat. ↳ ΔS → مهملة

Heat sinks :- Reservoirs that absorb energy in the form of heat. ↳ ΔS → مهملة

بدي أخلي الـ surrounding كبير كبير عشان الـ system ما يأثر عليه.

في بالتالي التركيز الأساسي على ΔS لل system بتعي

Heat engines :- المحركات الحرارية

Heat engines :- device or machine that produces work from heat in a cyclic process.

↳ معدات بنعتبر نوخذ فيها heat ونحولها لـ work

1 - They receive heat from a high - temperature source (solar energy, oil furnace, nuclear reactor, etc)

2- They convert part of this heat to work (usually in the form of rotating shaft).

3- They reject the remaining waste heat to a low temperature sink (the atmosphere , rivers , etc).

4- They operate on a cycle.

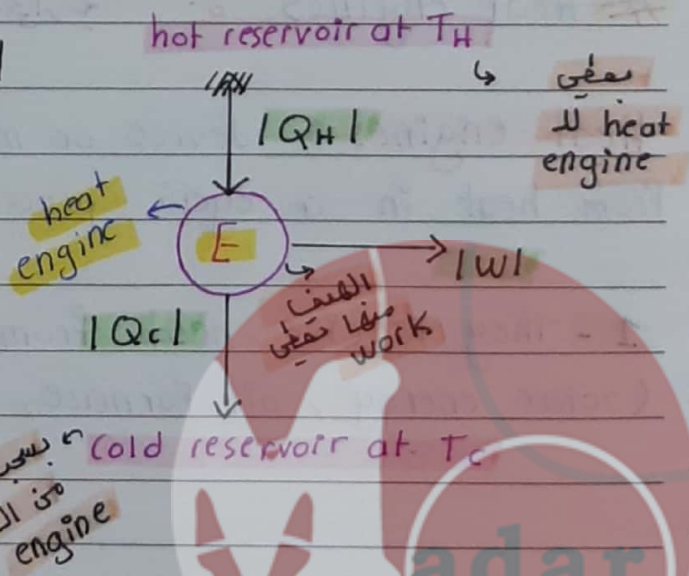
Heat engines & other cyclic devices usually involve a fluid to and from which heat is transferred while undergoing a cycle. This fluid is called the working fluid.

Heat engine schematic :-

Three steps are involved in any heat engine :-

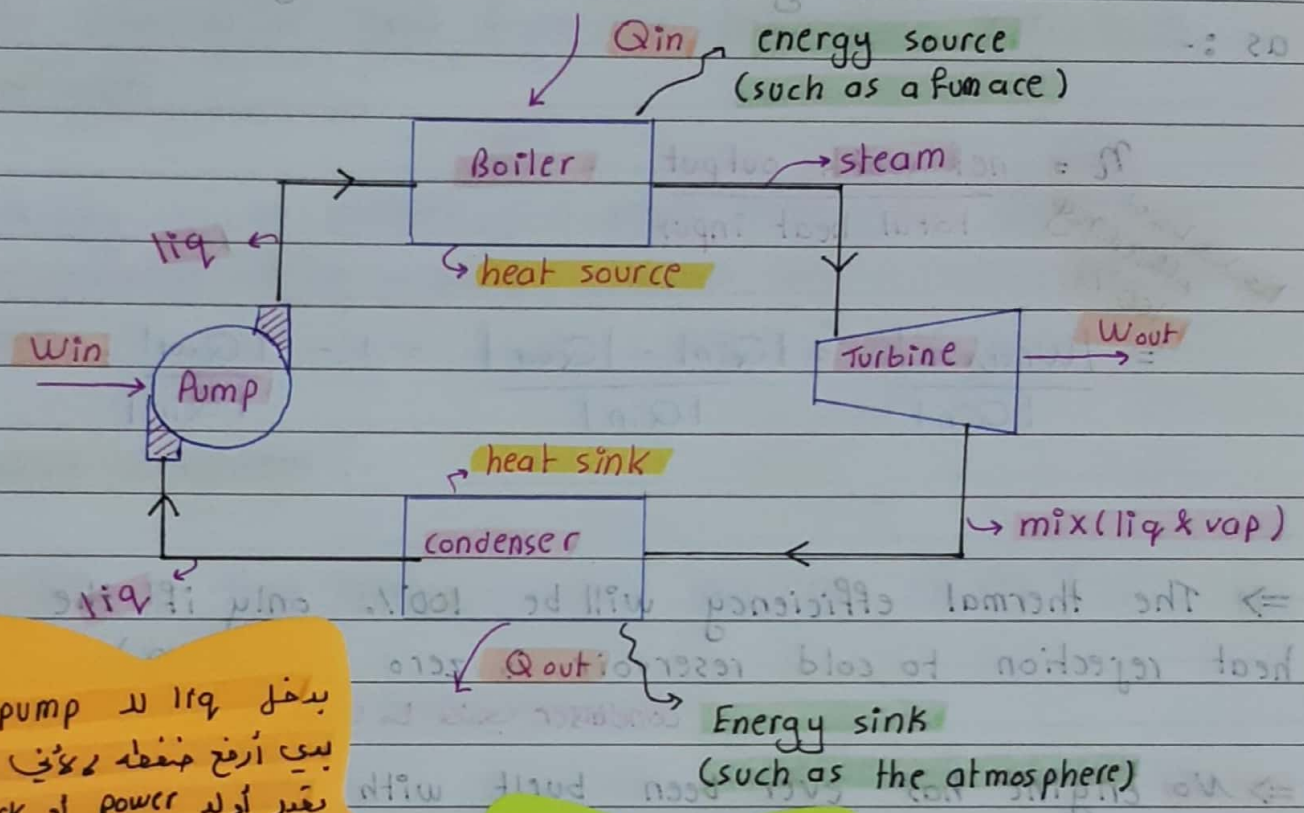
1- Absorption of heat ($|Q_H|$) into the system at high T.
2- Production of work ($|W|$).
3- Rejection of heat ($|Q_c|$) to the surroundings at a lower T.

$$|W| = |Q_H| - |Q_c|$$



Subject : Chapter 8 4 / 1 / 2022

A steam power plant :-



بدخل liq لل pump
بعي أرفع ضغطه ، لأني
بقدر أولد power أو work
أكبر كلما كان ضغط ال steam
يلي داخل للتوربين أعلى ، هاد
ال liq يلي ضغطو عالي بدخل لل
Boiler

بعد ما يدخل لل Boiler
بطلع steam ضغطه
عالي جاهز يحرك التوربين
مع ال generator يلي حولين التوربين
راح تتولد الكهرباء

pump بدخل work لل
لحتى أرفع الضغط ، بس
باخذ ال work من
التوربين ، شغل المضخة أقل
من ١٪ من شغل التوربين.

$W_{net} = W_{out} - W_{in}$
شغل التوربين
شغل المضخة
$= Q_{in} - Q_{out}$
يلي دخلت للسخان
يلي طلعت من المكثف

Subject : Chapter 8 4 / 1 / 2021

Thermal efficiency :-

The thermal efficiency (η) of the heat engine is defined as :-

$$\eta = \frac{\text{net work output}}{\text{total heat input}}$$

ما في عنا efficiency 100%

$$= \frac{|W_{net,out}|}{|Q_{in}|} = \frac{|Q_{in}| - |Q_{out}|}{|Q_{in}|} = 1 - \frac{|Q_{out}|}{|Q_{in}|}$$

⇒ The thermal efficiency will be 100% only if the heat rejection to cold reservoir is zero ($|Q_c| = 0$).

يعني ما عندي condenser

⇒ No engine has ever been built with $|Q_c| = 0$ (Basis for Kelvin - Planck statement.

Statements of the second law :-

Kelvin (1824 - 1907) & Plank (1858 - 1947) :-

It is not possible to construct a device operating in a cycle such that it's only effect (in universe) is to convert heat absorbed by a system completely into work done by the system.

مش كل الـ heat يلي بـ Boiler راح صحيحها في الـ تعطي على شكل work

إذا أخذنا heat أحولها لـ work (100%)

Subject : Chapter 8 4 / 1 / 2022

Rudolf Clausius (1822 - 1888) :-

No cyclic process can be constructed which consists solely in the transfer of heat from one temperature level to a higher one.

⇒ entropy can be created, but never destroyed, the entropy in the universe must remain constant or increase, but never decrease.

لـ ال entropy غير محفوظ لأنو
دايمًا بزيد

Combined statement :-

First law :- There is no perpetual machine of the first kind.

second law :- There is no perpetual machine of the second kind.

Refrigerators & heat pumps :-

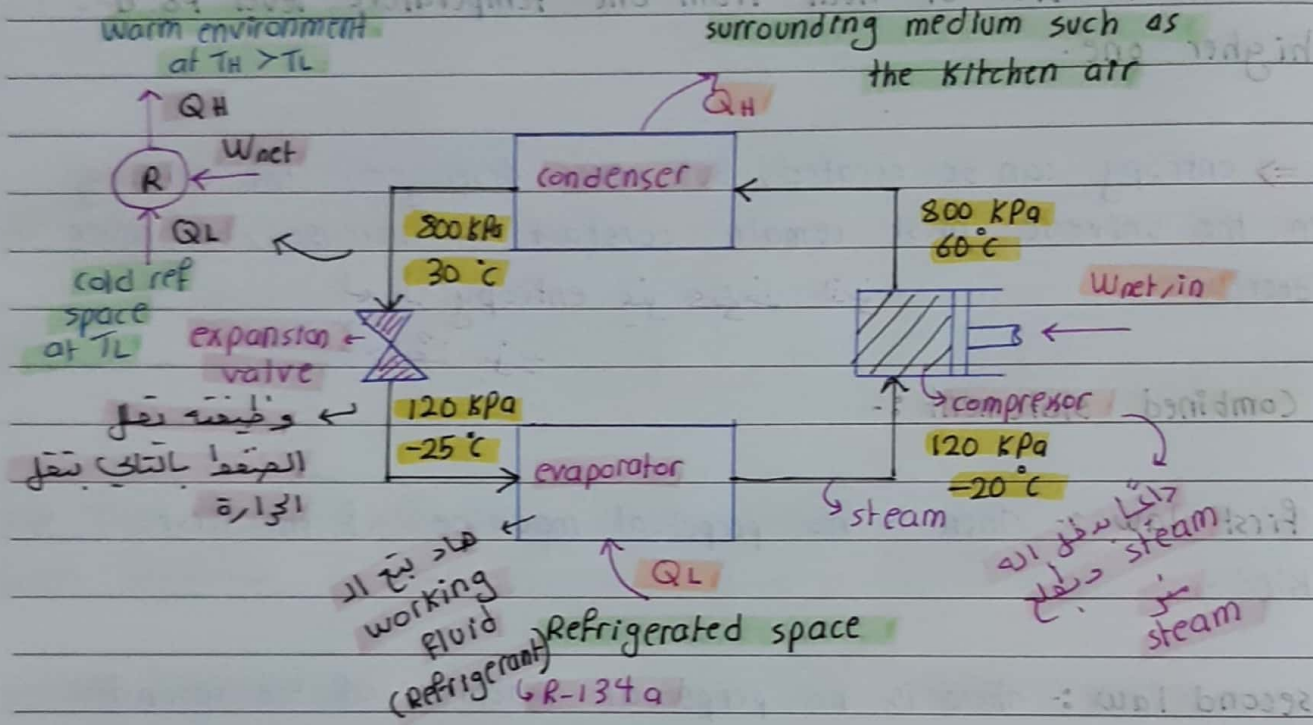
⇒ the transfer of heat from low to high temperature requires special devices called refrigerators.

⇒ Refrigerators, like heat engines, are cyclic devices.

⇒ The working fluid used in the refrigeration cycle is called a refrigerant.

Subject: Chapter 8 4 / 1 / 2022

⇒ The most frequently used refrigeration cycle is the vapor-compression refrigeration cycle.



Coefficient of Performance :-

⇒ The efficiency of a refrigerator is expressed in terms of the coefficient of performance (COP).

⇒ The objective of refrigerator is to remove heat (Q_L) from the refrigerated space.

$$COP_R = \frac{\text{desired out}}{\text{required in}} = \frac{Q_L}{W_{net,in}} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1}$$

معامل ثلاجة $(0 \to \infty)$

Subject: Chapter 8 4 / 1 / 2022

Heat Pumps :-

=> A device that transfers heat from a low T medium to a high T medium.

=> The objective of a heat pump is to supply heat Q_H into the warmer space.

=> The work supplied to a heat pump is used to extract energy from the cold outdoors & carry it into the warm indoors.

$$COP_{HP} = \frac{\text{Desired out}}{\text{required in}} = \frac{Q_H}{W_{net,in}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - Q_L/Q_H} \geq 1$$

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

=> most heat pumps in operation today have a seasonally averaged COP of 2 to 3.

=> Most existing heat pumps use the cold outside air as the heat source in winter (air source HP).

=> In cold climates their efficiency drops considerably when temp are below the freezing point.

Subject: Chapter 8 4 / 1 / 2022

⇒ In such cases, geothermal (ground-source) HP that use the ground as the heat source can be used, (American university of Madaba uses this for heating.

⇒ such heat pumps are more expensive to install, but they are also more efficient.

⇒ Air conditioners are basically refrigerators whose refrigerated space is a room or a building instead of the food compartment.

⇒ The COP of a refrigerator decreases with decreasing refrigeration temperature.

⇒ Therefor, it is not economical to refrigerate to a lower temperature than needed.

⇒ when installed backward, an air conditioner functions as a heat pump.

Subject: Chapter 8 6/1/2021

Carnot's engine :- → engine أكفأ ممكن أوصلها

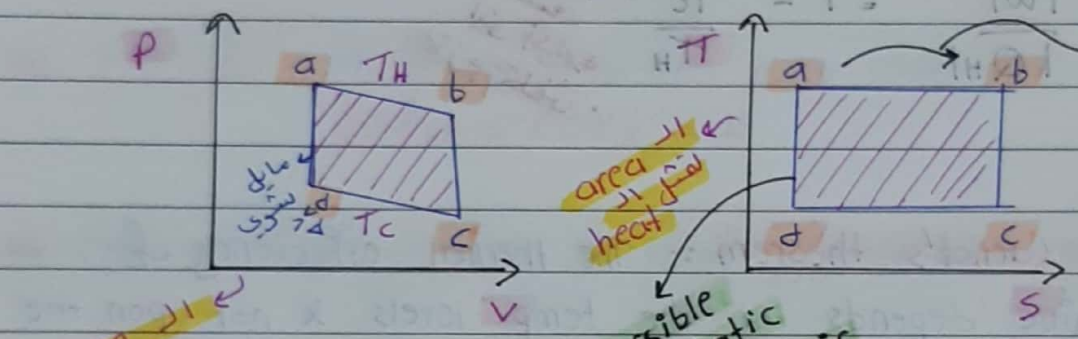
The carnot engine is composed of four steps :-

1- Reversible isothermal expansion. (a → b)

2- Reversible adiabatic expansion. (b → c)

3- Reversible isothermal compression. (c → d)

4- Reversible adiabatic compression to the initial state. (d → a)



مشيت من (a→b) باتجاه زيادة الـ entropy
↓
لما أزيد الحجم الجزيئات بتبعد بالتالي العشوائية بتزيد.

Reversible adiabatic
↓
isentropic

مشيت من (b→c) باتجاه نقصان الحرارة لأنو المتغير بحالة الـ expansion ونقصان الضغط مرافقة نقصان بالحرارة

Steps in the carnot engine :-

Path (step)	work done on the fluid	Heat added to the fluid
1- $(P_a, V_a, T_H) \rightarrow (P_b, V_b, T_H)$	$-\int_{V_a}^{V_b} P\,dV$	Q_1
2- $(P_b, V_b, T_H) \rightarrow (P_c, V_c, T_c)$	$-\int_{V_b}^{V_c} P\,dV$	0 → adiabatic
3- $(P_c, V_c, T_c) \rightarrow (P_d, V_d, T_c)$	$-\int_{V_c}^{V_d} P\,dV$	Q_2
4- $(P_d, V_d, T_c) \rightarrow (P_a, V_a, T_H)$	$-\int_{V_d}^{V_a} P\,dV$	0

Carnot's theorem :- For two given heat reservoirs, no engine can have a thermal efficiency higher than that of a carnot engine.

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

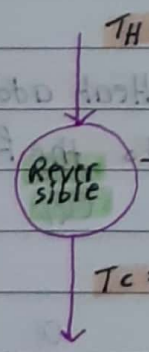
$$\eta = \frac{|W|}{|Q_H|} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

نسبة انتو الحرارة لازم تكون أقل.

Corollary to Carnot's theorem :- The thermal efficiency of a carnot engine depends on the temp levels & not upon the working substance of engine.

ال eff تعتمد على الحرارة فقط لا تعتمد على طبيعة المادة يلي بعملها بال cycle.

Reversible, Irreversible & Impossible Heat engines :-



$$\eta = 1 - \frac{300}{1000} = 70\%$$

أكبر كفاءة

يعني لو حطيت
غير معكوس ← $\eta = 80\%$
معكوس ← η 45%

Subject : Chapter 8 6 / 1 / 2022

Carnot Refrigerator :-

$$COP_R = \frac{\text{Desired out}}{\text{required in}} = \frac{|Q_c|}{|W|} = \frac{1}{|Q_H|/|Q_c| - 1} = \frac{1}{T_H/T_c - 1}$$

=> COP_R can have values greater than zero.

=> COP for refrigerator & a heat pump relationship.

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

=> COP_{HP} always have a value greater than unity.

=> Most air conditioners or heat pumps have energy efficiency Rating ($EER = 3.412 \times COP_R$) between (8 - 12) (COP_R between 2.3 - 3.5).

Refrigerators :-

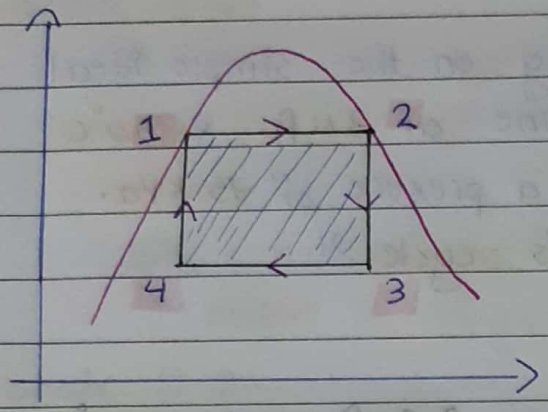
Type	COP_R
Cutting Preparation rooms.	2.5 - 3.0
Meat, deli, dairy & produce.	2.3 - 2.6
Frozen food.	1.2 - 1.5
Ice cream units.	1.0 - 1.2

← أكثر مادة بدها تبريد

← ماكينات كحلي كل مادة مختلفة.

بشكل جيد عشان COP_R

Subject : Chapter 10 9 / 1 / 2021



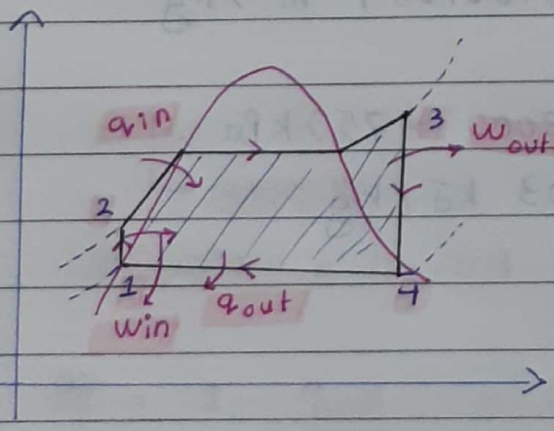
1 → 2 ⇝ Boiler
sat'd liq — sat'd vap

2 → 3 ⇝ turbine
sat'd vap — mix

Carnot's cycle
أعلى كفاءة

3 → 4 ⇝ condenser
mix — (mix)
بكون liq مع vap
لـ بفترض يلي يطلع من الـ condenser
بكون sat'd liq عشان يدخل على الـ pump

4 → 1 ⇝ Pump
mix — sat'd liq
دخلنا mix للمضخة بعدين رفعنا الضغط وحولناه لـ liq وهاد الكلي ما بزبط



2 → 3 ⇝ Boilar
subcool liq — superheated vap

① بسخن الـ subcool لـ sat'd liq .
② بسخن الـ sat'd liq لـ sat'd vap .
③ بسخن الـ sat'd vap لـ superheated .

Rankin cycle

3 → 4 ⇝ turbine
superheated — mix
لـ بس بكون قريب من الـ sat'd vap

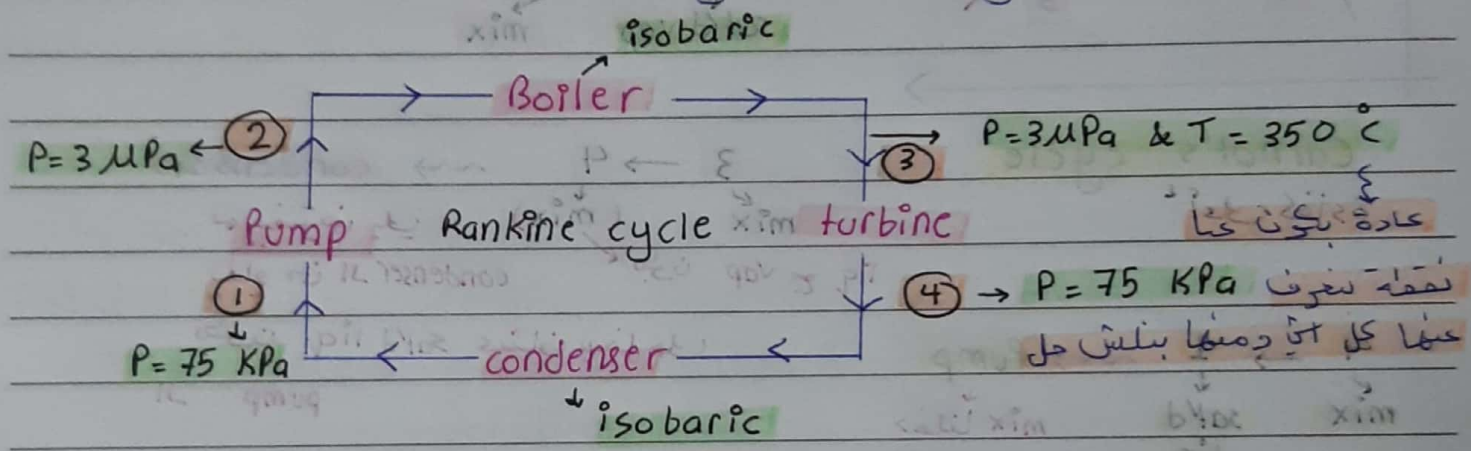
الـ condenser ← راح يحول لـ supcoold بعدين لـ sat'd liq

4 → 1 → 2 ⇝ condenser
mix — sat'd liq — supcoold

Subject: Chapter 10 9 / 1 / 2022

Example :-

Consider a steam power plant operating on the simple ideal Rankine cycle. Steam enters the turbine at 3 MPa & 350 °C & it is condensed in the condenser at a pressure of 75 kPa. Determine the thermal efficiency of this cycle ?!



State 1 :-

$P_1 = 75$ kPa ⇝ table (A-5) → $h_1 = 384.44$ kJ/kg

sat'd liq $\quad v = 0.001037$ m³/kg

$$W_{pump} = v(P_2 - P_1) = 0.001037\,(3000 - 75)\text{ kPa}$$
$$= 3.03 \text{ kJ/kg}$$

state 2 :-

$P_2 = 3$ MPa ⇝ نقدر أحسب الـ enthalpy

$s_2 = s_1$

$$h_2 = h_1 + W_{pump}$$
$$= 384.44 + 3.03 = 387.47 \text{ kJ/kg}$$

لـ الـ steam
لي طالع من الكثفة
بـ subcooled
بحاجة عشان هيك جدول
بحسبها على
أنها ضغط

Subject: Chapter 10 9 / 1 / 2021

state 3 :-

$P_3 = 3\,MPa$ ⇝ table → $h_3 = 3116.1$ kJ/kg

$T_3 = 350\,°C$ A-6 $s_3 = 6.7450$ kJ/kg·K

$q_{in} = h_3 - h_2 = 3116.1 - 387.47 = 2728.6$ kJ/kg

↳ boiler

state 4 :-

$P_4 = 75\,kPa$ ⇝ mix → بلحق أوف

$s_3 = s_4$ h4 عشان أحسب ال

بالتالي بدنا نحسب ال q_{out} ،

quality

$$x_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_{fg}} = \frac{6.7450 - 1.2132}{6.2426} = 0.8861$$

$$h_4 = h_f + x_4 h_{fg} = 384.44 + 0.8861(2278.0)$$
$$= 2403.0 \text{ kJ/kg}$$

$q_{out} = h_4 - h_1 = 2403 - 384.44 = 2018.6$ kJ/kg

↳ condenser

$W_{turbine} = h_3 - h_4 = 3116.1 - 2403 = 713.1$ kJ/kg

$$\eta_{Rankin} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{2018.6}{2728.6} = 0.260 \rightarrow 26\%$$

$W_{net} = W_{out} - W_{in} = 713.1 - 3.03 = 710.1$ kJ/kg

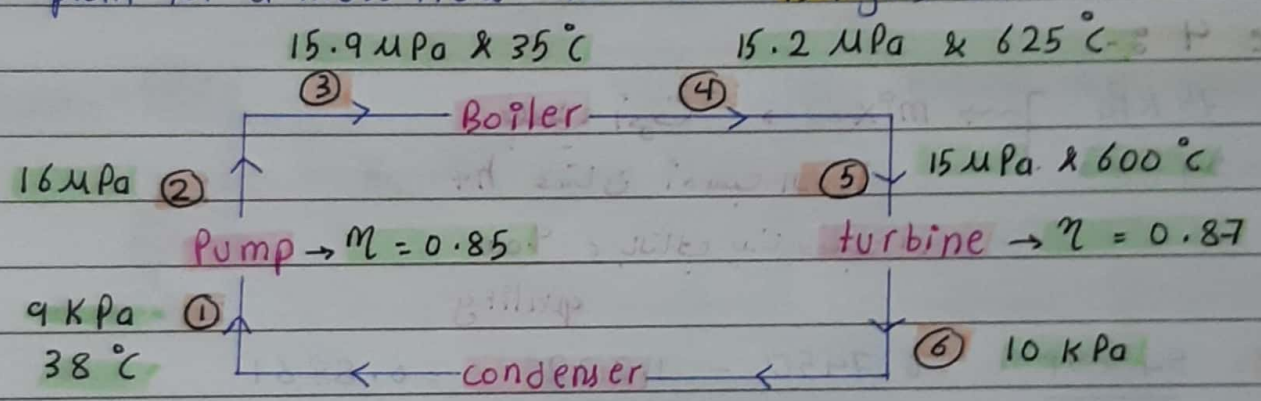
sat'd at 75 kPa

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = 1 - \frac{(91.76 + 273)}{(350 + 273)} = 0.415$$

يلي طلعت من ال boiler

Example :-

A steam power plant operates on the cycle. if the isentropic efficiency of the turbine is 87 % & the isentropic efficiency of the pump is 85 %, determine (a) the thermal efficiency of the cycle (b) the net power output of the plant for a mass flow rate of 15 kg/s ?



(a)

state 1 :-

$P = 9\ KPa$ ⇝ table A-5 → $v_1 = 0.001009\ m^3/kg$

$T = 38°C$

$$W_{pump\ in} = \frac{v(P_2 - P_1)}{\eta_p} = 0.001009\,(16000 - 9)\ /\ 0.85$$
$$= 19.0\ kJ/kg$$

state 5 :-

$P = 15\ MPa$ ⇝ table A-6 → $h_5 = 3583.1\ kJ/kg$

$T = 600°C$ $\quad s_5 = 6.6796\ kJ/kg \cdot K$

Subject: Chapter 10 9 / 1 / 2022

state 6 :-

$P = 10$ kPa
$s_5 = s_6$] → mix

$$x_6 = \frac{s_6 - s_f}{s_{fg}} = \frac{6.6796 - 0.6492}{7.4996} = 0.804$$

$$h_6 = h_f + x\, h_{fg} = 191.81 + 0.804(2392.1)$$
$$= 2115.3 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{Turbine} = \eta (h_5 - h_6) = 0.87(3583.1 - 2115.3)$$
$$= 1277.0 \text{ kJ/kg}$$

state 4 :-

$P = 15.2$ MPa
$T = 625°C$
⇝ table A-6 → $h_4 = 3647.6$ kJ/kg

state 3 :-

$P = 15.9$ MPa
$T = 35°C$
⇝ table A-7 → $h_3 = 160.1$ kJ/kg

$$q_{in} = h_4 - h_3 = 3647.6 - 160.1 = 3487.5 \text{ kJ/kg}$$

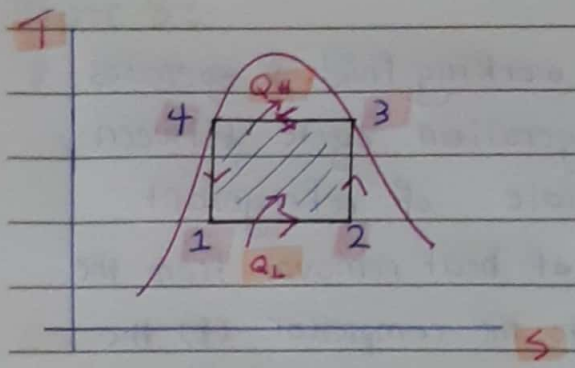
$$w_{net} = W_{Turbine} - W_{pump} = 1277.0 - 19 = 1258 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = \frac{w_{net}}{q_{in}} = \frac{1258}{3487.5} = 0.361 \rightarrow 36.1\%$$

(b)

$W_{net} = \dot{m} w_{net} = 15 (1258) = 18.9 \ MW$

Subject: Chapter 11 11 / 1 / 2022



Reversed carnot cycle

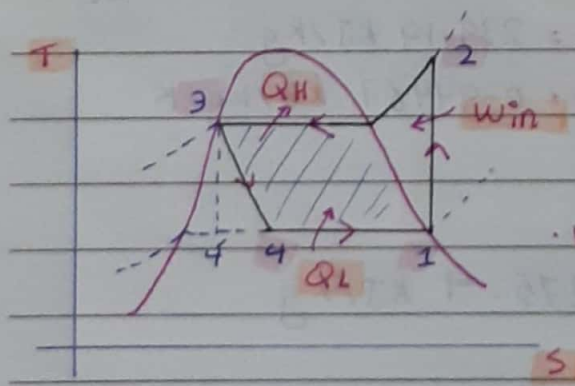
1 → 2 ⇝ evaporator
1: mix, 2: mix

2 → 3 ⇝ compressor
2: mix, 3: sat'd vap

المفروض انو
لي يدخل لل compressor
يكون sat'd vap لهيك ما بقدر نشتغل على ال
carnot cycle.

3 → 4 ⇝ condenser
3: sat'd vap, 4: sat'd liq

4 → 1 ⇝ turbine
4: sat'd liq, 1: mix



Vapor compression Refrigeration cycle

1 → 2 ⇝ compressor
1: sat'd vap, 2: super heated

يدخل له sat'd v
وبطلعله superheated
ويكون isentropic عشان هيك طلعنا خط مستقيم لفوق.

2 → 3 ⇝ condenser
2: super heated, 3: sat'd liq

بحول ال super heated لـ sat'd v
بعدين لـ sat'd liq
عشان ال condense ← isobaric

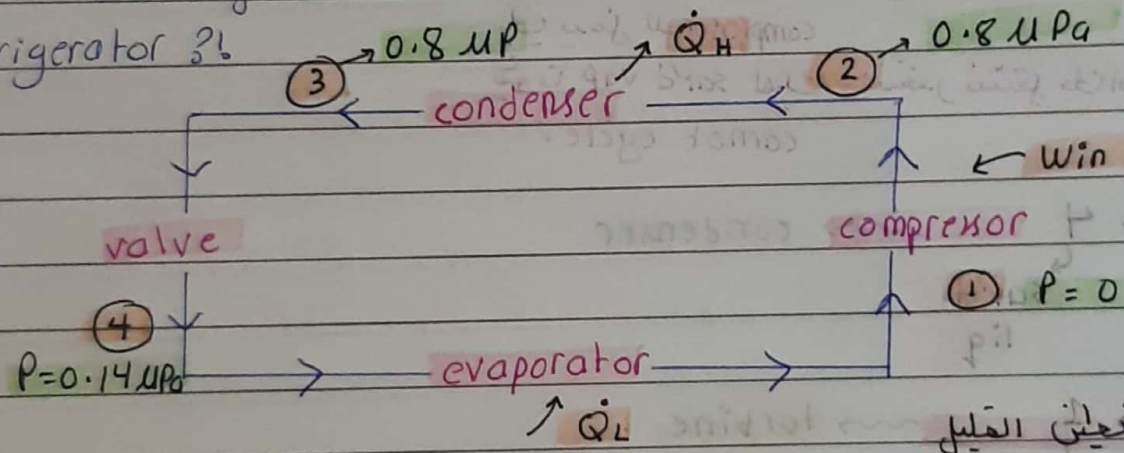
3 → 4 ⇝ valve
3: sat'd liq, 4: mix

بصير خط مائل
لأنه isoenthalpic
وطاقته بعادل الصفر

4 → 1 ⇝ evaporator
4: mix, 1: sat'd vap

#Example :-

A refrigerator uses R-134a as the working fluid & operates on an ideal vapor-compression refrigeration cycle between 0.14 & 0.8 MPa. If the mass flow rate of refrigerant is 0.05 kg/s, determine (a) the rate of heat removal from the refrigerated space & the power input to the compressor (b) the rate of heat rejection to the environment & (c) the COP of the refrigerator ?!



معطيني منخفض القليل
هو يلي داخل للـ evaporator والعالي
هو يلي داخل للـ condenser

state 1 :-

$P_1 = 0.14$ MPa (140 kPa) ⇝ table A-12 → $h_1 = 239.19$ kJ/kg

sat'd vap $s_1 = 0.94467$ kJ/kg.K

state 2 :-

$P_2 = 0.8$ MPa ⇝ table A-13 → $h_2 = 275.4$ kJ/kg

$s_2 = s_1 = 0.94467$

$$\dot{W}_{in} = \dot{m}(h_2 - h_1) = 0.05\,(275.40 - 239.19)$$
$$= 1.81 \text{ kW}$$

state 3:-

$P = 0.8\ MPa$ ⇝ table → $h_3 = 95.48\ kJ/kg$

sat'd liq A-12

$h_3 = h_4 = 95.48\ kJ/kg$

↳ valve (isenthalpic)

(a)

$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_4) = 0.05(239.19 - 95.48)$

$= 7.19\ kW$

$W_{in} = \dot{m}(h_2 - h_1) = 0.05(275.4 - 239.19)$

$= 1.81\ kW$

(b)

$\dot{Q}_H = \dot{m}(h_2 - h_3) = 0.05(275.40 - 95.48)$

$= 9.00\ kW$

↳ or ⇝ $\dot{Q}_L + \dot{W}_{in} = \dot{Q}_H$

(c)

$COP_R = \dfrac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{in}} = \dfrac{7.19}{1.81} = 3.97$