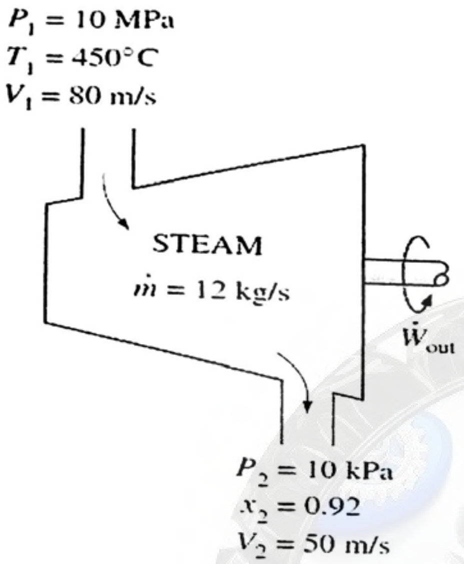
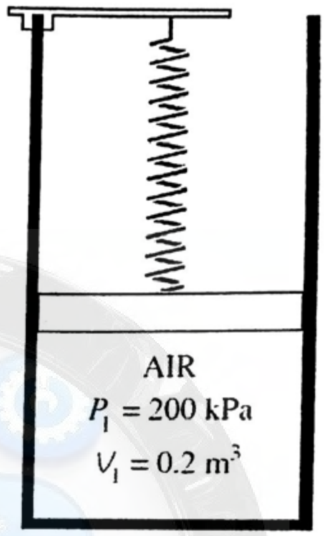
العلي المصريا
واصل

The Pioneer In
Thermodynamics For Engineer





Course Name : Thermodynamics An Engineering Approach 7th Edition

Written and prepare : **Eng. Raid Al-Hammouri**

Tel : **0788195339**

Other works of the author : Mechanics Of Materials 5th Edition

"Actions speak louder than words"

يطلب من مكتبة J.U.S.T

مع تحيات رائد الحموري

Thermodynamics

Chapter 1: Introduction and basic Concepts

Thermodynamics

Thermo كلمة يونانية
"heat" تعني حرارة

dynamics
"power" تعني

* باختصار شديد فإن هذا العلم يُعنى بتحويل الحرارة إلى شغل
Convert heat into power

* أحد أهم القوانين في هذا العلم هو قانون حفظ الطاقة

"Conservation of energy principle":

energy can change from one to another but the total amount of energy remanis constant,
energy can't be created or destroyed.

"First Law of thermodynamics" is an expression of the conservation of energy principle
القانون الأول للثيرموداينامك هو صورة من صور قانون حفظ الطاقة

"Second Law of thermodynamics"

ينص على أن للطاقة قيمة وكمية والعمليات الحقيقية (الواقعية)
تقلل من قيمة الطاقة مقارنة مع العمليات النظرية المثالية

وسيأتي التفصيل لاحقاً

هناك طريقتان لدراسة نظام معين

1. Microscopic Point of view
(statistical thermodynamics)
وهو ما يحتاج إلى مجاهر الكترونية لملاحظة التغير بسلوك جزيئات المادة لنظام معين.

2. Macrosopic
(classical T.D)
وهو ما يلاحظ بالعين المجردة مثلاً إذا أردت أن تعرف التغير بالضغط لنظام تقيسه بال Pressure gage وتأخذ القراءة مباشرة

* الكميات الفيزيائية لها وحدات "Units" وتقسم إلى قسمين :

1. primary or fundamental dimensions وحدات أساسية مثل
(mass, Length, time)
2. Secondary or derived dimensions وحدات ثانوية أو مشتقة مثل
(velocity, energy)

* There is two sets of units in common use :-

1. English system (USCS)

2. International System (SI)

Unite	SI	USCS
mass	kg	lbm
Length	m	ft
time	s	s

* In "SI", the force unit is the newton "N"
newton: force required to accelerate a mass of 1 kg at rate of $1\ m/s^2$

* In English system, the force unit is pound-force "lbf"

"lbf": the force required to accelerate a mass of 32.174 lbm at a rate of $1\ ft/s^2$

$F = ma$: $1\ N = 1\ kg.m/s^2$

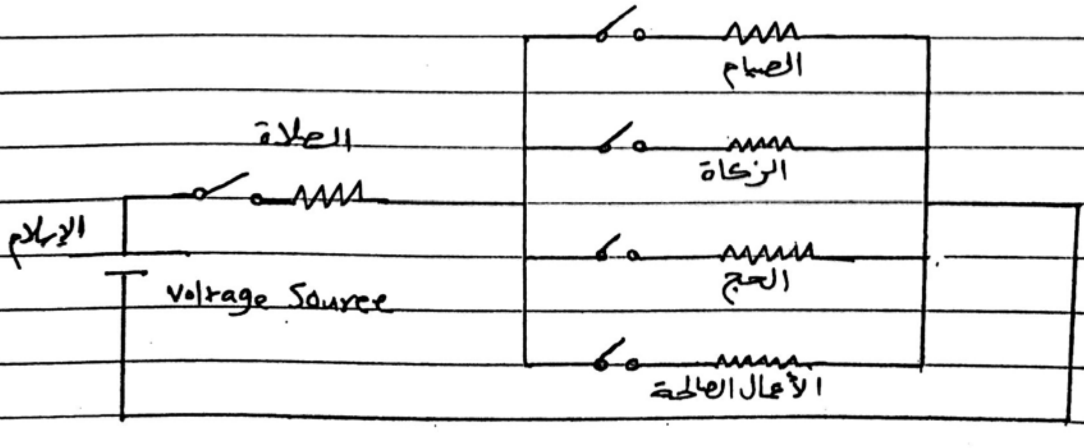
$$1\ lbf = 32.174\ lbm.ft/s^2$$

In English system: $F = \frac{ma}{g_c}$, $lb_f = \frac{lbm.ft/s^2}{\frac{lbm.ft}{lbf.s^2}}$

Unity conversion ratio ← → Factor
$g_c = 32.174\ lbm.ft/lbf.s^2$

Example 1-3 : Using Unity conversion ratio to show that 1 lbm weighs 1 lbf on earth?

Sol. $W = mg = \frac{1\ \cancel{lbm} * 32.174\ \cancel{ft/s^2}}{32.174\ \cancel{lbm.ft}/lbf.\cancel{s^2}} = 1\ lbf$



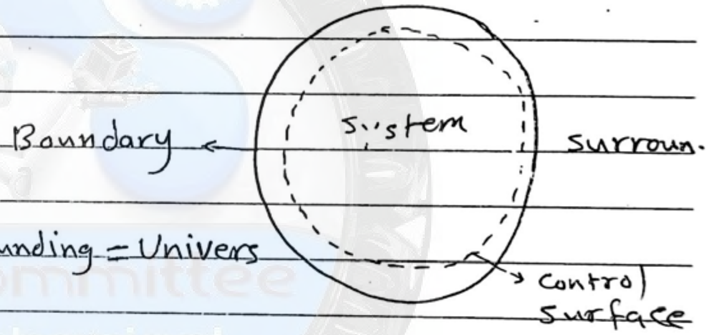
* What do we mean by system?

- a quantity of matter or a region in space chosen for study.

* Ther region or mass outside the system is called the Surrounding

* The real or imaginary Surface that separates the System from it's surroundings is called boundary

fixed ← → movable



System + Surrounding = Univers

* System Types

1. Closed system (control mass system):
   - No mass exchange

2. Open system (control Volume System):

3. Isolated System:
   - No mass exchange
   - No energy exchange

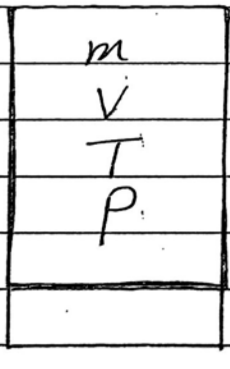
* Properties of a system

1. Intensive properties:
   are those that are independent of the mass of sys.
   such as temperature, pressure, and density

2. Extensive properties:
   are those whose values depend on the size of sys.
   Such as total mass, total volume, and total momentum

* to determine whether a property is intensive or extensive divide the system into two equal parts with an imaginary partition.

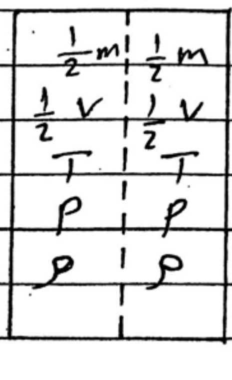
* سأفترض أنه لدينا نظام يحتوي على 1 كغم من غاز O_2 بخصائص معينة
وطلب مني تصنيف هذه الخصائص إلى intensive or extensive



1

* سأقوم بتنصيف هذا النظام إلى نظامين متساويين
بحاجز وهمي وأسأل نفسي السؤال التالي

- هل كتلة O_2 في النظام الواحد من خطوة 2
هي نفس كتلة O_2 في النظام الأصلي ؟
الجواب لا لأن كتلة O_2 توزعت على النظامين بالتساوي
وكذلك الحجم ← extensive



2

- هل درجة الحرارة في النظام الواحد من خطوة 2 هي
نفس درجة حرارة النظام الأصلي ؟
نعم وكذلك الضغط والكثافة intensive

* Specific properties:
Extensive properties per Unit mass

example: specific volume $v = \frac{V}{m}$
specific energy $e = \frac{E}{m}$

* أي خاصية extensive تقسم على الكتلة تصبح specific property

Thermodynamics Properties

Intensive	Extensive
يعني خواص لا تتوزع أو لا تجمع جمع جبري	خواص تتوزع ، تجمع جمع جبري
$T, P, \rho, v, e(k.e, P.e, u)$	m, V, energy$(K.E, P.E, U)$

* لاحظ أن :
Energy "E" → Extensive property
specific energy "e" → Intensive property

Example: Calculate the total density in the figure shown?

m_1	m_2
V_1	V_2
ρ_1	ρ_2

Solution: $\rho_{total} = \frac{m_{total}}{V_{total}}$

$m_{total} = m_1 + m_2$, $V_{total} = V_1 + V_2$

$\rho_{total} = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2} \neq \rho_1 + \rho_2$

* Specific Volume: $v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$ (m^3/kg)

$$\bar{v} = \frac{V}{n} \quad (m^3/Kmol)$$

* Specific gravity or relative density :

- the ratio of the density of substance to the density of water "H_2O" at specified temperature.

$SG_{O_2} = \frac{\rho_{O_2}}{\rho_{H_2O}}$, specific gravity of O_2

* Specific weight : the weight of unit volume of substanc

$$\gamma = \rho g \quad (N/m^3)$$

* State and Equilibrium:

state: حالة النظام ، عندما لا تتغير الخصائص لنظام معين ونستطيع قياسها أو حسابها فإن هذه تسمى حالة النظام وإذا تغيرت خاصية واحدة فإنه سوف ينتج حالة جديدة للنظام

equilibrium: حالة من الاتزان للنظام وتكون عندما لا تتغير الخصائص للنظام مع الوقت وإذا كان النظام متزن ديناميكياً فإن هذا بالضرورة يعني اتزانه حرارياً وميكانيكيا والخ وكيميائياً

* State postulate:
the state of a simple compressible system is completely specified by two independent, intensive prop.

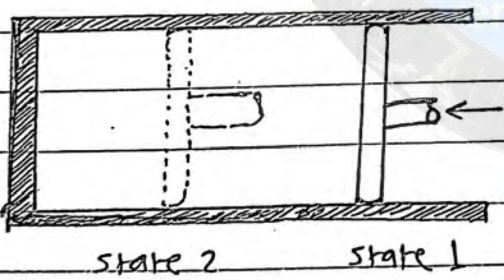
* Processes and Cycles:

process: any change that a system undergoes from one equilibrium state to another

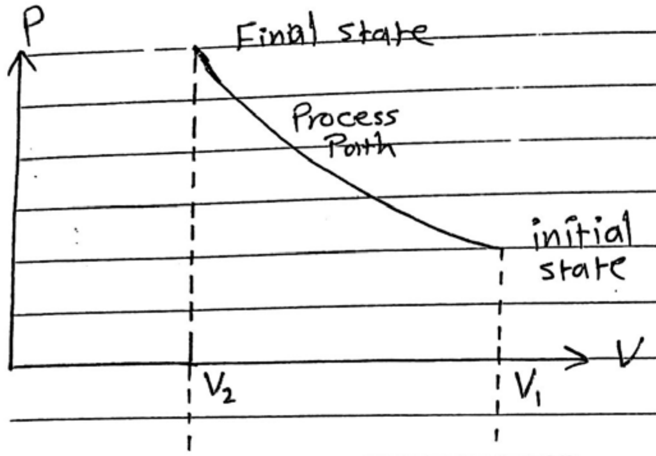
Path: a series of states through which a system passes during a process.

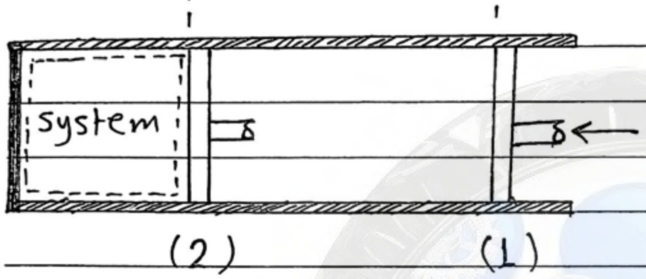
Equilibrium process: حالة مثالية لا توجد في الطبيعة

Quasi - Equilibrium process: الشبيهة بالمتزن
وتكون العملية بطيئة جداً
لاحظ النظام التالي:



نريد أن نصل من حالة 1 إلى حالة 2
بعملية ضغط بطيئة جداً مروراً بعدد
لانهائي من المراحل ففي هذه الحالة
يكون equilibrium process
أما بعدد كبير جداً من المراحل فيكون quasi-equilibrium
أما إذا أردنا أن نصل من حالة 1 إلى حالة 2
بخطوة واحدة فيكون non-equilibrium state





- هذا الجهاز يُسمى :

piston-cylinder device

* cycle: when the system returns to it's initial State at the end of the Process
in other word, the initial and final states are identical.

* Types of processes:

1. Isobaric process: Pressure = Constant
2. Isochoric (Isometric) process: specific Volume = Const.
3. Isothermal process: temperature = Constant
4. Adiabatic process: No heat transfer Q = Zero
5. Steady-flow process: No change with time.

* Zeroth Law of thermodynamics :

states that, if two bodies are in thermal equilibrium with a third body they are also in thermal equilibrium with each other.

or

two bodies are in thermal equilibruim if both have the same temperature reading even if they are not in contact.

IF $\boxed{A}\boxed{B}$ in thermal equil. and $\boxed{A}\boxed{C}$ in thermal equil.
, then $\boxed{C}\boxed{B}$ in thermal equil. too.

* Temperature Scales :

* الحرارة كمية طاقة أقل قيمة لها = صفر

	SI	USCS
ordinary temp. scale المقياس النسبي للحرارة	Celsius scale	Fahrenheit scale
abslout temp. scale المقياس المطلق للحرارة	Kelvin scale	Rankine scale

*Note: $\Delta T(K) = \Delta T(°C)$

$$\Delta T(R) = \Delta T(°F)$$

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

* Pressure

Pressure: a normal force exerted by a fluid per Unit area

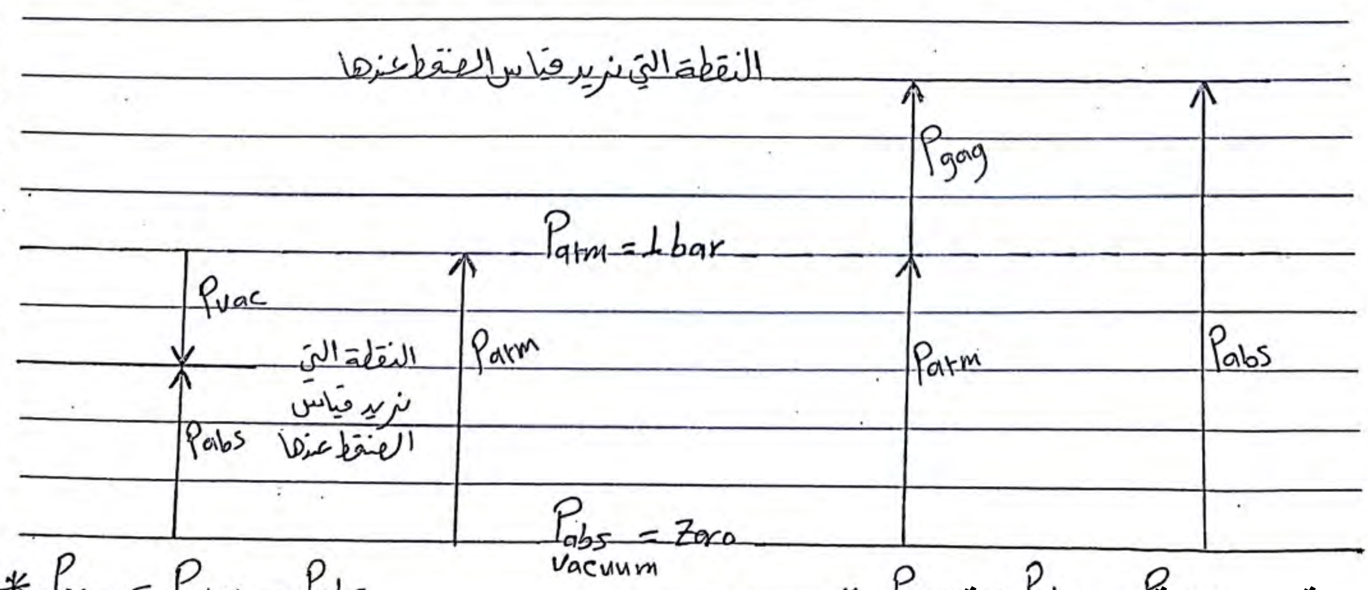
- Pascal: a unit of newtons per square meter

$1\ Pa = 1\ N/m^2$

* Some Units of pressure commonly Used in practice:

1. bar — $1\ bar = 10^5\ Pa = 100\ kPa$
2. standard atmosphere — $1\ atm = 101.325\ kPa = 1.01325\ bar$
3. kilogram-force per squar Centimeter — $1\ kgf/cm^2 = 0.98\ bar = 0.96\ atm$

* absolute Pressure: the actual pressure at given position
* gage pressure: the difference between the absolute pressure and the local atmospheric pressure
* Vacuum pressure: the pressure below atmospheric pressure



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

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

* الرسم السابق يُوضح بعض المفاهيم في حالتين:

١. إذا كانت النقطة التي نريد حساب الضغط عندها فوق الضغط الجوي "Patm"
فإن الضغط الزائد على الضغط الجوي يُسمى الضغط المعياري "Pgag"
ونستخدم المعادلة
$P_{gage} = P_{abs} - P_{atm}$

٢. إذا كانت النقطة التي نريد حساب الضغط عندها تحت الضغط الجوي "Patm"
فإن الضغط من هذه النقطة الى الضغط الجوي يُسمى "Pvacuum"
ونستخدم المعادلة
$P_{vac} = P_{atm} - P_{abs}$

بعبارة أخرى:

if $P_{abs} > P_{atm} \longrightarrow P_{gage} = P_{abs} - P_{atm}$

الضغط عند نقطة معينة   الضغط الجوي

if $P_{abs} < P_{atm} \longrightarrow P_{vac} = P_{atm} - P_{abs}$

إذا نسيت تذكّر بيت الشعر الآتي:

وضعنا في الضغطِ واحد بارٍ   ما دونه Vacuum وما فوقه معياري

ا بار = الضغط الجوي P_{atm}

Example: A vacuum gage connected to a chamber reads 5.8 psi at a location where the atmospheric pressure is 14.5 psi, Determine the absolute pressure in the chamber?

solution: $P_{abs} = 5.8\ psi$
$P_{atm} = 14.5\ psi$

$P_{abs} < P_{atm} \longrightarrow 5.8 < 14.5$

*

$P_{vac} = P_{atm} - P_{abs}$
$= 14.5 - 5.8 = 8.7\ psi$

استخدمنا هذه المعادلة بعد أن تأكدنا من الشرط.

Chapter 2: Energy, Energy Transfer, and General Energy Analysis

E = thermal + mechanical + kinetic + potential + electric + magnetic + chemical + nuclear

$E \downarrow$ total energy "Joles"

$\uparrow$ Forms of energy

$e = \frac{E}{m}$ (kJ/kg) specific energy

Internal energy "U": the microscopic form of energy are those related to the molecular structure of a system and the degree of the molecular activity.

Kinetic energy "KE": the energy that the system possesses as a result of it's motion relative to some reference frame.

$$KE = m\frac{V^2}{2}, \quad ke = \frac{V^2}{2} \text{ "kJ/kg"}$$

Potential energy "PE": the energy that a system possesses as result of it's elevation in gravitational field.

$$PE = mgz \text{ "kJ"}$$

$$pe = gz \text{ "kJ/kg"}$$

$E = U + KE + PE = U + m\frac{V^2}{2} + mgz$ "kJ"

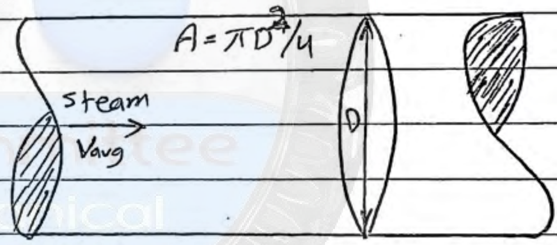
$e = u + ke + pe = u + \frac{V^2}{2} + gz$ "kJ/kg"

mass flow rate "$\dot{m}$": the amount of mass flowing through a cross section per unit time.

Volume flow rate "$\dot{V}$": the volume of fluid flowing through a cross section per unit time.

$\dot{m} = \rho \dot{V} = \rho A V_{avg}$ "kg/s"

$\dot{m} = \frac{\overset{\text{السرعة}}{V} \cdot A}{v_{\text{spacific volume}}}$ "kg/s"



$\dot{E} = \dot{m}e$ "kJ/s" = "kW"

$E = me$ "kJ"

Energy Transfer By Heat

Heat: is the form of energy transfered between two systems by temperature difference

Q "kJ" $\qquad q = \frac{Q}{m}$ "kJ/kg"

Heat is transferred by three mechanisms:

1. Conduction التوصيل
2. Convection الحمل
3. Radiation الإشعاع

Energy Transfer By Work

work "W": is the energy transfer associated with a force acting through a distance

W "kJ" $\quad w = \frac{W}{m} =$ "kJ/kg" $\quad \dot{W}$ "kJ/s" = "kW"

Power

*Note:

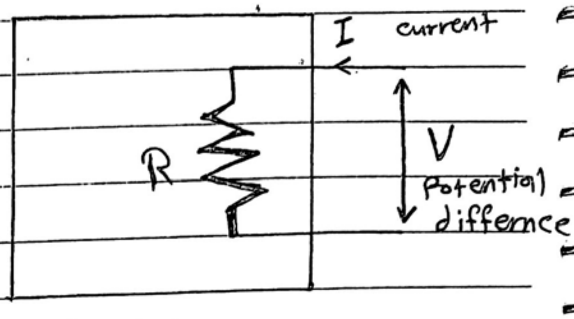
Path function: the function that are looking for how a system reaches to certain state and have inexect differentials designated by the symbol "δ". such as heat, work

point function: the function that only interested in initial and final state and have exact differentials designated by the symbol "d".
like change in volume

Electrical work

$\dot{W}_e = VI = I^2R = V^2/R$ "watt"

$W_e = VI\Delta t$ "J"



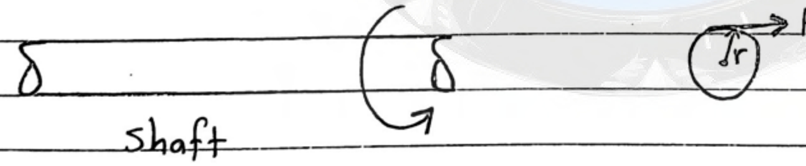
system

Mechanical Forms of work

- $w = Fs$, $w = \int_1^2 F\,ds$

- shaft work :

T "torque" $= Fr \rightarrow F = \frac{T}{r}$: r : arm of force



the force acts through a distance, s

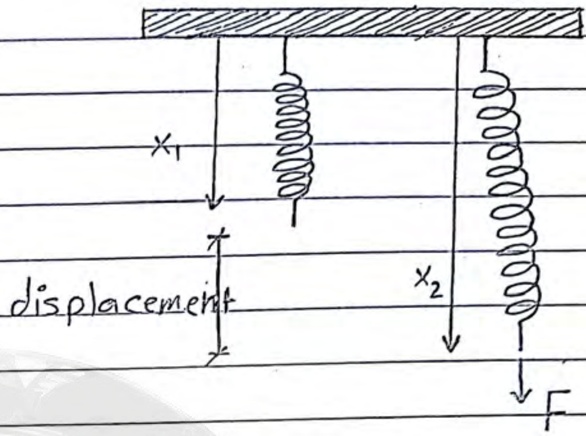
$s = (2\pi r)n$, n: # of turns r: radius

$W_{sh} = Fs = \frac{T}{\cancel{r}} 2\pi \cancel{r} n = 2\pi n T$ "kJ"

$\dot{W}_{sh} = 2\pi \dot{n} T$ "kW" $\dot{n}$ "rpm"

Spring work: شغل النابض

$$W_{spring} = \int_{x_1}^{x_2} F \cdot dx$$



$F = kx$ "kN"

$$W_{spring} = \int_{x_1}^{x_2} kx \cdot dx$$

$$W_{spring} = \frac{1}{2} k (x_2^2 - x_1^2) \quad \text{"kJ"}$$

The First Law of thermodynamics

1^{st} Law states that: energy can be neither created nor destroyed during a process it can only change forms.

* Energy Balance:

[total energy entering the system] − [total energy leaving the system] = change in the total energy of the system

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{sys.}$$

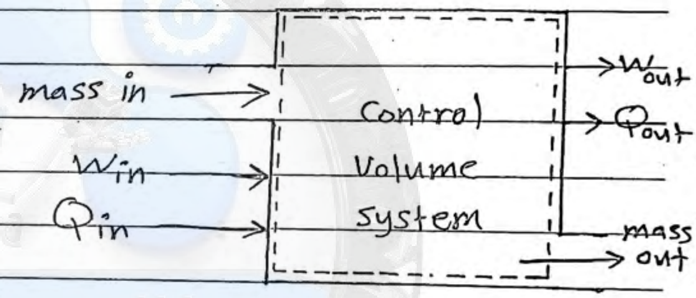
* تنتقل الطاقة من وإلى النظام بثلاث طرق وهي :

1. Heat transfer "Q" — بالحرارة

2. Work transfer "W" — بالشغل بأنواعه

3. Mass flow "m" — دخول أو خروج مادة من النظام تحمل معها طاقة

* افترض أن لدينا النظام الآتي وسنطبق عليه قانون حفظ الطاقة

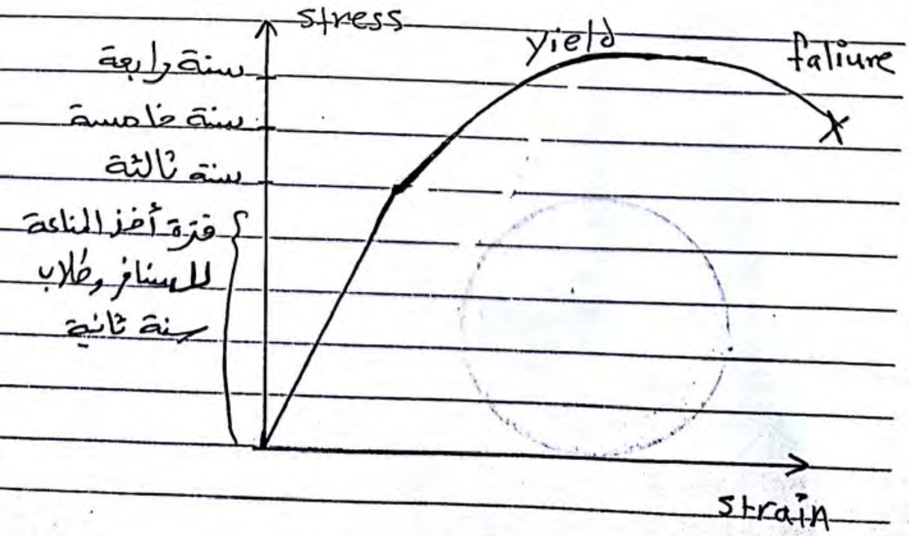


$$E_{in} - E_{out} = E_2 - E_1$$

$$\left[Q_{in} + W_{in} + E_{mass,in}\right] - \left[Q_{out} + W_{out} + E_{mass,out}\right] = E_2 - E_1 \quad \text{"KJ"}$$

$$\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \dot{E}_{mass,in} - \dot{Q}_{out} - \dot{W}_{out} - \dot{E}_{mass,out} = \frac{dE}{dt} \quad \text{"Kw"}$$

Stress strain daig for engineering students.



Chapter 3: Properties of pure substances

المادة النقية: هي المادة التي لها تركيب كيميائي ثابت وليس بالضرورة أن تكون مكونة من عنصر واحد مثل الأكسجين فقد تكون مكونة من مجموعة عناصر ومتجانسة كالهواء مثلاً أو الماء

ملاحظة: تغير حالة المادة (صلب، سائل، غاز) لا تعني أن المادة أصبحت غير نقية فقد يكون لدينا وعاء فيه ثلج وماء وبخار ماء ونعتبر أن المادة نقية لأن تركيبها الكيميائي ما زال نفسه

* phase of a pure substance: أطوار المادة النقية

1. Solid 2. Liquid 3. gas

Compressed Liquid and Saturated Liquid

* افترض أن لدينا "piston-cylinder" وهو جهاز مكوّن من اسطوانة ومكبس فوقها يضغط عليها كما في الشكل - ويوجد فيه كمية من الماء بدرجة حرارة الغرفة والضغط داخل الجهاز أكبر من الضغط الجوي وذلك بسبب وزن المكبس إضافة إلى الضغط الجوي ومعرّض لمصدر حرارة ولكننا نعتبر أن الضغط داخل الجهاز تقريباً يساوي الضغط الجوي.

فكلما ارتفعت درجة حرارة الماء في الداخل سيتمدد ويزداد حجمه وما دام الماء لم يصل إلى درجة الغليان فإنه يُسمى Compressed Liquid

الآن افترض أن الـ piston لا يتحرك "fixed" وعرّضنا الماء لدرجة حرارة أقل من 100°C فإن الماء يُسمى Subcooled Liquid

* الخلاصة مما سبق أنّ السائل إذا لم يصل إلى درجة غليانه فإنه يُسمى
Compressed Liquid ← بسبب الضغط
Subcooled Liquid ← بسبب درجة الحرارة

* إذا وصل السائل إلى درجة الغليان فإنه يُسمى Saturated Liquid

* سؤال: على أي درجة حرارة يصل الماء إلى الغليان؟

هذا السؤال ناقص، لأن الماء يغلي على درجة ١٠٠ مئوي وضغط جوي وقد يغلي على درجة أكبر من ١٠٠ مئوي في ضغط أكبر من الضغط الجوي والعكس أيضاً.

Saturated Vapor and Superheated Vapor

Saturated Vapor: a vapor that is about to condense

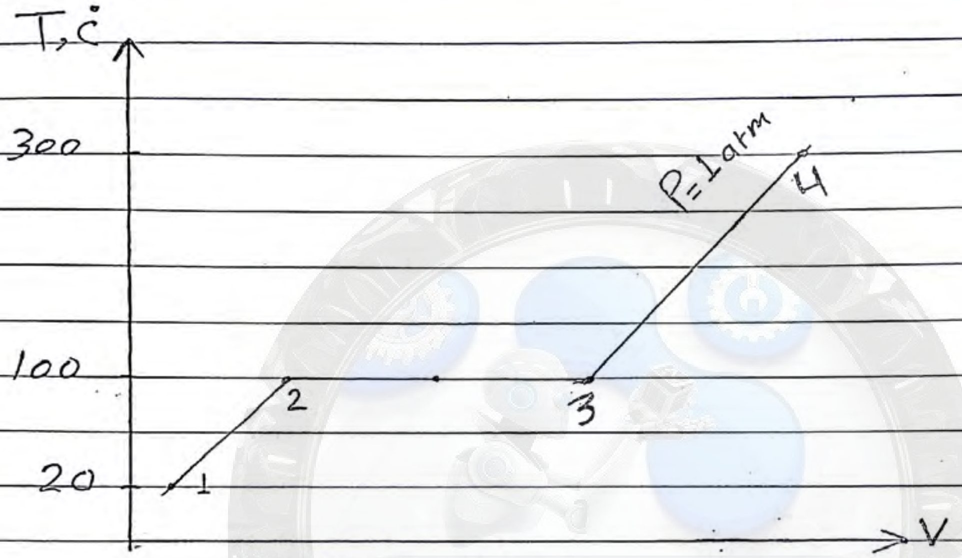
Superheated Vapor: a vapor that is not about to condense

Saturation Temperature and Saturation Pressure

Saturation temp. "T_{sat}": the temperature at which Liquid starts boiling when the pressure is fixed for pure substance.

Saturation pressure "P_{sat}": the pressure at which a pure substance change phase

لقد قمنا بوضع كمية من الماء النقي في جهاز piston-clyinder
وقمنا بتسخين الماء من درجة حرارة 20°C إلى 300°C
تحت ضغط ثابت ومقداره = مقدار الضغط الجوي 1 bar
وقمنا بمراقبة التغيرات ورسمنا الرسم البياني التالي



T-V diagram

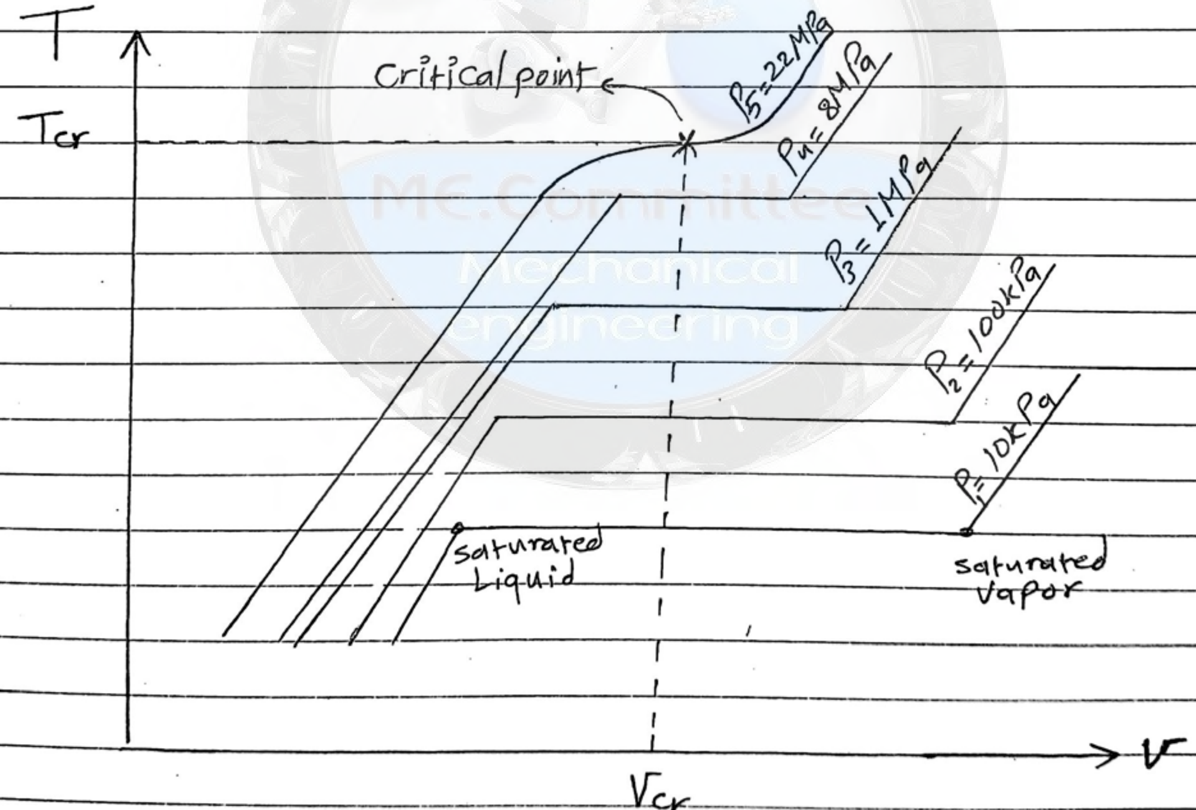
* درجة الحرارة عند النقطة (2) هي : Tsat for H_2O at 1atm
* الخط من 1 2 هو : Compressed Liquid = subcooled Liquid
* النقطة 2 تمثل : Saturated Liquid
* الخط من 2-3 يمثل : saturated liquid-vapor mixture
* النقطة 3 تمثل : Saturated vapor
* الخط من 3-4 يمثل : Superheated Vapor

Property diagrams for phase – change Processes

1. T–V diagram 2. P–V diagram 3. P–T diagram
العلاقة بين الضغط والحرارة   العلاقة بين الضغط والحجم   العلاقة بين الحرارة والحجم

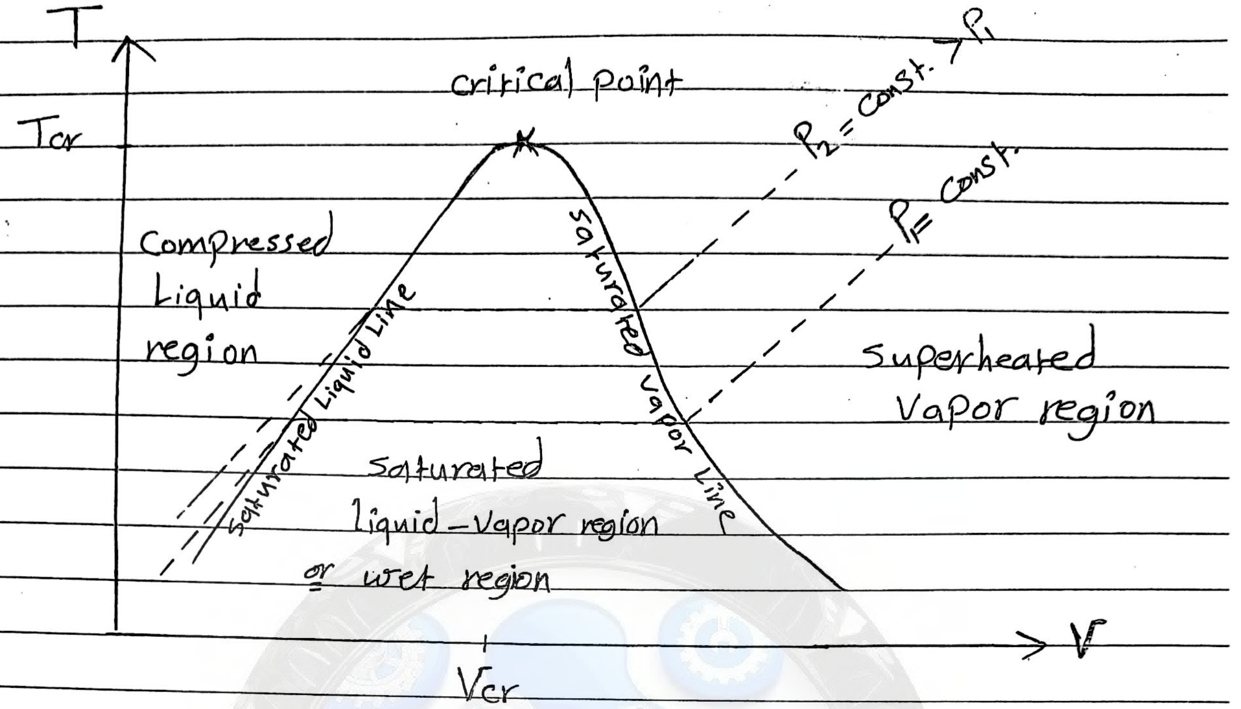
1. T–V diagram

سنضع ماء في جهاز piston - cylinder بدرجة حرارة الغرفة وسنسخن هذا الماء حتى يصبح بخار ولكن كل مرة سنغير الضغط وسنحصل على الرسم البياني التالي :



Critical point : is the point at which the saturated Liquid and saturated Vapor are identical.

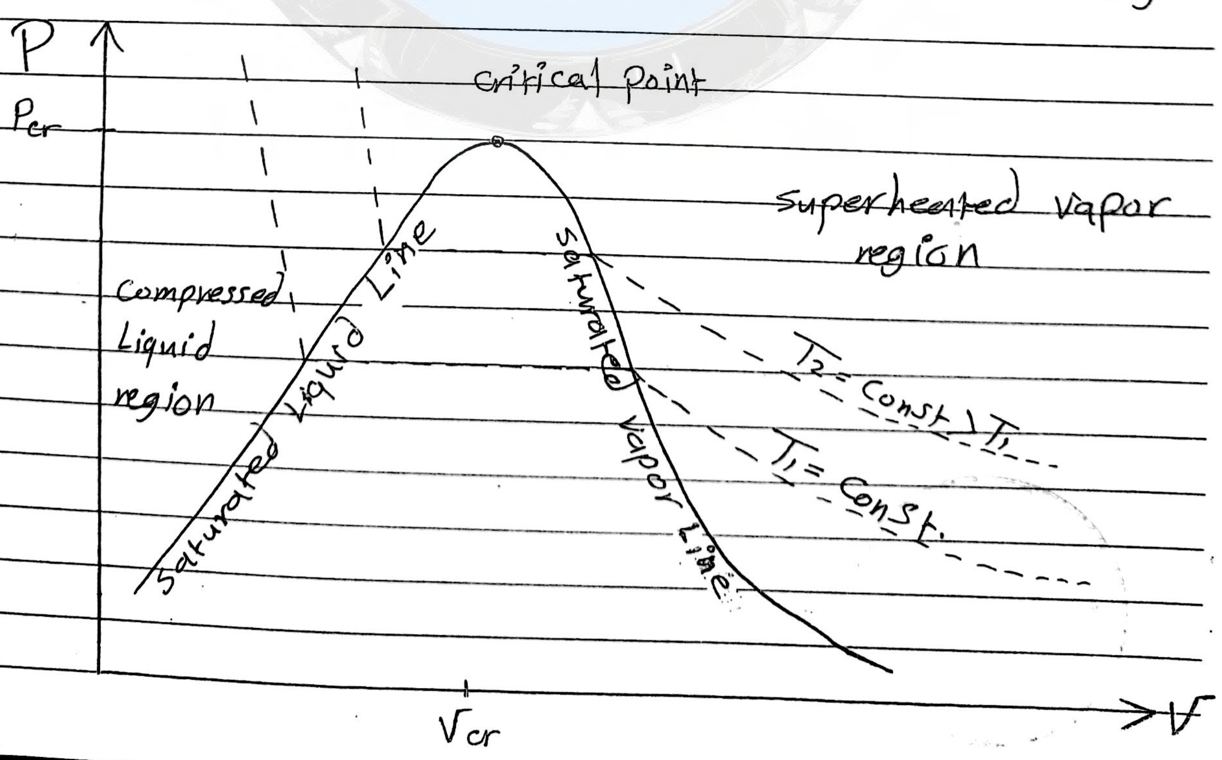
T_{cr} : critical temperature
P_{cr} : critical pressure
V_{cr} : critical specific volume



* لاحظ أن خطوط الضغط تُشكل قبة "Dome"

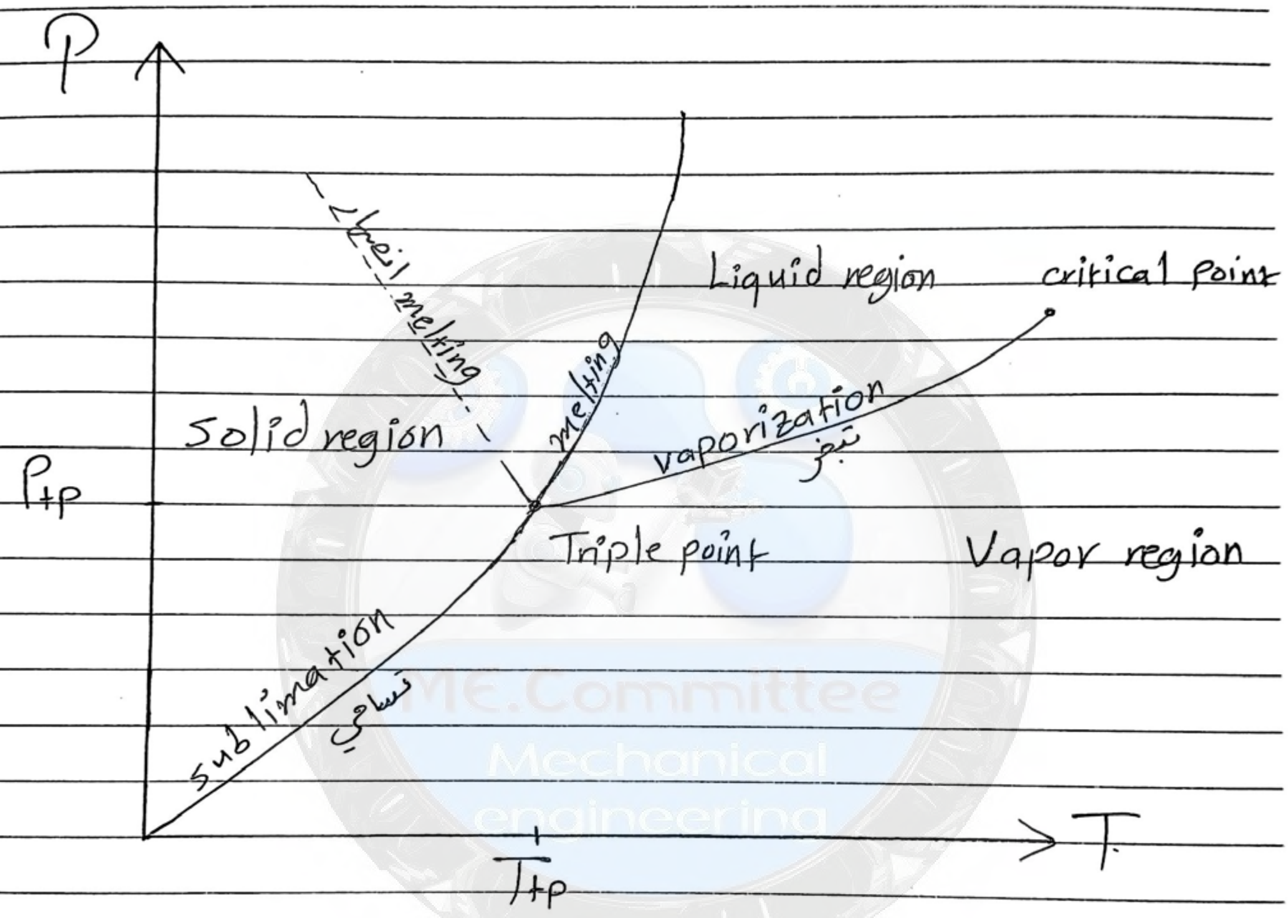
2. P-V diagram

- The general shape of P-V diagram of pure substance is look like the T-V diagram, but T = const. in P-V diag.



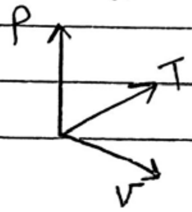
3. P-T diagram

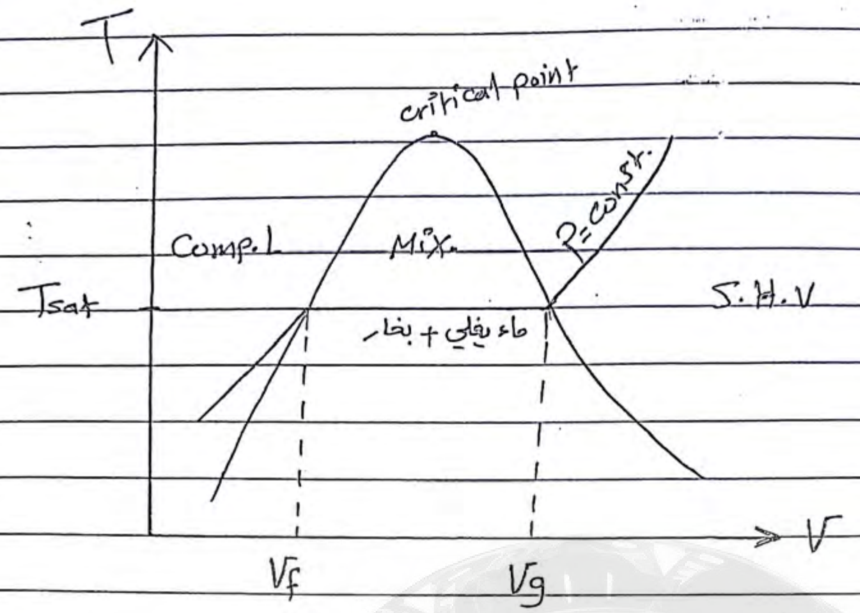
This diagram often called the "phase diagram"



<u>triple point</u>: is the temperature and pressure at which the three phases (gas, liquid, and solid) of that substance coexist in «تواجدي» thermodynamic equilibrium.

<u>ملاحظة</u>: عندما نجمع T-V, P-V, P-T على رسم بياني واحد ينتج ما يسمى "the P-V-T surface"





V_f : specific volume of saturated liquid

V_g : specific volume of saturated vapor

V_{fg} : difference between V_g and V_f ($V_{fg} = V_g - V_f$)

X : Quality , is the ratio of the mass of vapor to the total mass of mixture.

$$X = \frac{\text{mass of vapor}}{\text{mass of mix.}} = \frac{m_{vapor}}{m_{total}}$$

$$0 \leq X \leq 1$$

0 → أقل قيمة لها عند Saturated Liquid لأنه كتلة البخار = صفر

1 → saturated vapor أكبر قيمة لها عند لأن جميع كتلة المزيج تكون بخار

* الـ Quality غير معرّفة إلا تحت القبة "Dome"
ولا تكون معرفة في منطقة S.H.V أو منطقة Comp.L

* سنشتق الآن معادلة مهمة جداً لكثرة استخدامها في هذه المادة :

$V_{total} = V_{liquid} + V_{vapor}$ و V : volume , v : specific volume

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

الآن سنكتب المعادلة الأولى بدلالة v

$m_t v_t = m_{liq} v_f + m_{vap} v_g$

اقسم المعادلة على m_t

$v_t = \frac{m_{liq}}{m_t} v_f + \frac{m_{vap}}{m_t} v_g$

$v_t = \frac{m_t - m_{vap}}{m_t} v_f + \frac{m_{vap}}{m_t} v_g$ $\leftarrow m_{liq} = m_t - m_{vap}$

$v_t = 1 - \frac{m_{vap}}{m_t} v_f + \frac{m_{vap}}{m_t} v_g$ $\leftarrow x = \frac{m_{vap}}{m_t}$

$v_t = (1 - x) v_f + x v_g$

$v_t = v_f - x v_f + x v_g$

$v_t = v_f + x(v_g - v_f)$ $\leftarrow v_{fg} = v_g - v_f$

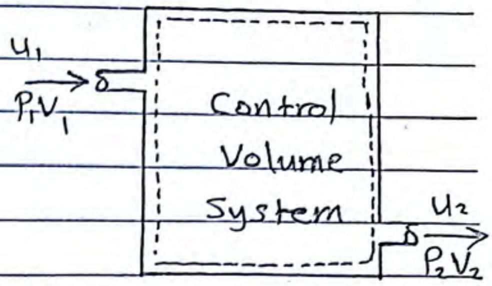
$$v = v_f + x v_{fg}$$ $v_f < v < v_g$

وبنفس الطريقة تقريباً يمكن اشتقاق التالي :

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

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

Enthalpy "H"



H : enthalpy "kJ"

$h = \frac{H}{m}$: specific entalpy "kJ/kg"

* ببساطة هي كمية الطاقة الحرارية التي يحملها المائع في حالة ضخ
وهي عبارة عن مجموع الطاقة الحرارية الداخلية + PV

$$H = U + PV \quad \text{"kJ"}$$

$$h = u + Pv \quad \text{"kJ/kg"}$$

Entropy "S"

S : entropy "kJ/k"

s : specific entropy "kJ/kg.k"

* هذه الخاصية تتعلق بـ 2nd Law of thermodynamics
والذي سندرسه في chapter 7 بالتفصيل.

ريمٌ على القاعِ بين البانِ والعلمِ — أحلَّ سفكَ دمي في الأشهرِ الحرمِ
رمى القضاءُ بعيني جؤذرٍ أسداً — يا ساكنَ القاعِ أدركْ ساكنَ الأجمِ
لما رنا حدثتني النفسُ قائلةً — يا ويحَ جنبكَ بالسهمِ المصيبِ رُمي
جحدتُها وكتمتُ السهمَ في كبدي — جُرحُ الأحبةِ عندي غيرُ ذي ألمِ

* يوجد في آخر الكتاب "APPENDIX" يحتوي على جداول سنستخدمها في الحل وقد أرفقتُ مع هذا الملخص الجداول لتسهيل الرجوع إليها

وفي هذا ال chapter سنهتم بشكل كبير بهذه الجداول :

Table A-4 : saturated water temperature table

Table A-5 : Saturated water Pressure table

Table A-6 : Superheated water

Table A-7 : Compressed Liquid water

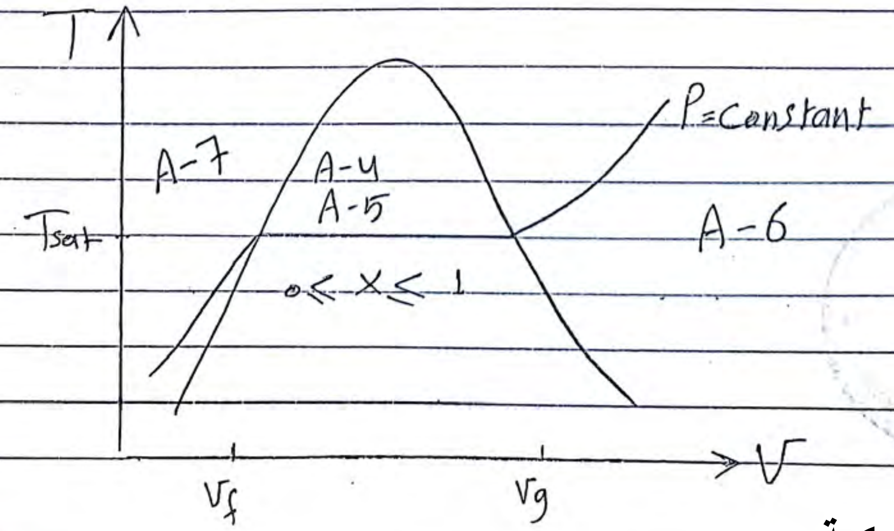
* هذه الجداول خاصة بالماء وكل منها له استخدام وبيّن سنوضحه لاحقاً

Table A-11 : saturated refrigerant-134a temp. table

Table A-12 : saturated refrigerant-134a Pressure table

Table A-13 : Superheated refrigerant-134a

* الجداول السابقة خاصة بسائل التبريد 134a



* أهم شيء في هذه المادة هو معرفة كيف تستخدم الجداول بشكل صحيح "عشان هيك ركز معي شوي".

* تُعطى مادة معينة ومعلومات كافية عنها وتُطلب منك قراءة أو إيجاد خصائص أخرى عنها ولذلك اتبع ما يلي:

1. حدد نوع المادة (ماء أو سائل تبريد)؟
2. لازم تدخل الجداول بخاصيتين غير معتمدات على بعض "2-independent prop"

أولاً: الماء ، يجب أن تعرف أن A-4, A-5 ← تستخدم إذا كان الماء خليط من بخار وماء وغلي "تحت القبة"
والفرق أن A-4 ← إذا كان معي T
A-5 ← إذا كان معي P

A-6 ← نستخدمه إذا كان الماء S.H.V
A-7 ← نستخدمه إذا كان الماء compressed.l

* هناك حالات مشهورة للأسئلة حاولت جمعها في الآتي فيما يخص الماء:

1. إذا أعطاك (V & Pressure) "طبعاً الجداول لا يوجد فيها إلا specific volume"

- اذهب إلى جدول A-5 عند الضغط المعلوم في السؤال وتأكد من قيمة V

أ. أن تكون $V < V_f$ فيجب أن تذهب إلى جدول A-7
ب. أن تكون $V > V_g$ فيجب أن تذهب إلى جدول A-6
ج. أن تكون $V_f < V < V_g$:

- تقرأ درجة الحرارة Tsat وتكون هذه هي درجة الحرارة المطلوبة
- تجد quility من هذه المعادلة $V = V_f + (X * V_{fg})$

- تجد الـ internal energy "u" بـ $u = u_f + X u_{fg}$

- تجد enthalpy "h" بـ $h = h_f + X h_{fg}$

٢. إذا أعطاك (v f temp.) :

اذهب إلى جدول A-4 وعند درجة الحرارة المعطاه تأكد من قيمة v المعطاه

أ. إذا كانت $v < v_f$ فيجب أن تذهب إلى جدول A-7

ب. إذا كانت $v > v_g$ فيجب أن تذهب إلى جدول A-6

ج. إذا كانت $v_f < v < v_g$ فإمكانك :

- قراءة الضغط من الجدول مباشرة P_{sat}
- تجد الـ quility من المعادلة

$$\underset{\text{من الجدول}}{v} = \underset{\text{من الجدول}}{v_f} + X \, \underset{\text{معطيات}}{v_{fg}}$$

- تجد u f h من معادلاتيهما

٣. إذا أعطاك (P f T) : لك الخيار أن تذهب إلى A-4 أو A-5

إذا ذهبت إلى A-4	إذا ذهبت إلى A-5
عند درجة الحرارة المعطاه، إذا :	عند الضغط المعطى، إذا :
$P < P_{sat}$ ← إذهب إلى جدول A-6	$T > T_{sat}$ ← إذهب إلى جدول A-6
$P > P_{sat}$ ← إذهب إلى جدول A-7	$T < T_{sat}$ ← إذهب إلى جدول A-7

× قد لا تجد الأرقام المعطاه في السؤال هي نفسها في الجدول فيجب عليك عندئذٍ أن تعمل interpolation وفكرته بسيطة جداً وهي كالتالي

T	P
45	10
مجهول ← X	12 ← هذه القيمة ليست في الجداول وإنما تم إعطاؤها في السؤال
53	15

$$\frac{53-45}{15-10} = \frac{X-45}{12-10}$$

↓

معادلة خطية بمجهول

Examples:

* Find the "T" for a water at 200 kPa and $v = 0.5\ m^3/kg$?

نذهب إلى جدول A-5 ونتأكد من v $\quad 0.001061 < 0.5 < 0.88578$

$T = T_{sat} = 120.21\ C°$

* Find "P" for H_2O with 200 c & $0.5\ m^3/kg$?

اذهب إلى جدول A-4 عند درجة حرارة 200c ونتأكد من قيمة v

$0.5 > v_g = 0.12721$

اذن نستنتج أن الماء في حالة S.H.V ونذهب إلى جدول A-6

ونبحث عن قيمة حجم قريب من $0.5\ m^3/kg$ بجانب 200 c فنجد التالي

يجب أن نحل "interpolation"

P	v
0.4	0.534343
P	0.5
0.5	0.42503

$$\frac{P - 0.4}{0.5 - 0.534343} = \frac{0.5 - 0.4}{0.42503 - 0.534343}$$

$P = 0.43142\ MPa$

* Find v for water with 200 kPa & 200 c?

نذهب إلى جدول A-5 عند ضغط 200kPa فنجد أن درجة الحرارة 120.21 c

$200 > 120.21$ فنذهب إلى جدول A-6 عند ضغط 0.2 MPa

ودرجة حرارة 200 c ونقرأ الحجم

$v = 1.08049\ m^3/kg$

* Find "P" for H_2O at 150 °C & 2 m³/kg ?

نذهب الى جدول A-4 عند درجة حرارة 150°C ونتأكد من قيمة الحجم المعطى

$V > V_g \rightarrow 2\ m^3/kg > 0.39248\ m^3/kg$

اذن الماء في حالة S.H.V ونذهب إلى جدول A-6 ونبحث بجانب كل درجة حرارة تساوي 150°C عن حجم قريب من 2 m³/kg فنجد

ونعمل interpolation

P "MPa"	V "m³/kg"
0.05	3.8897
P	2
0.1	1.9367

$$\frac{0.1 - 0.05}{1.9367 - 3.8897} = \frac{P - 0.05}{2 - 3.8897}$$

$$P = 0.0984\ MPa = 98.4\ kPa$$

* Find "V" for H_2O at 220 kPa & 220 °C ?

نذهب إلى جدول A-4 أو A-5 ولكن في هذا المثال جدول A-4 عند درجة حرارة 220°C ونقارن الضغط المعطى في السؤال مع P_{sat} في الجدول

$P < P_{sat}$ و $220\ kPa < 2319.6\ kPa$

وهذا يعني أن الماء في حالة S.H.V ونذهب إلى جدول A-6

ولكن نلاحظ أن قيمة درجة الحرارة 220°C غير موجودة في الجداول وأن قيمة الضغط أيضاً 220 kPa غير موجودة أيضاً مما يعني أننا سنضطر إلى عمل ما يسمى

"Double interpolation"

$P = 0.2$ MPa		$P = 0.3$ MPa	
T	v	T	v
200	1.08049	200	0.71643
220	v^*	220	v^{**}
250	1.1989	250	0.79645

$$\frac{v^* - 1.08049}{220-200} = \frac{1.1989 - 1.08049}{250-200} , \quad \frac{v^{**} - 0.71643}{220-200} = \frac{0.79645 - 0.716}{250-200}$$

$v^* = 1.1279\ m^3/kg$ $\qquad$ $v^{**} = 0.7484\ m^3/Kg$

P	v
0.2 MPa	1.1279 m^3/Kg
0.22 MPa	v
0.3 MPa	0.7484 m^3/Kg

$$\frac{v - 1.1279}{0.22 - 0.2} = \frac{0.7484 - 1.1279}{0.3 - 0.2}$$

$v = 1.052\ m^3/kg$ ⟵ الجواب النهائي

** Find v for H_2O at 200 kPa & 20 $^\circ C$?

نذهب الى جدول A-4 أو A-5 "لك الخيار" ولكن في هذا المثال جدول A-5
وعند ضغط 200 KPa نتأكد من حالة الماء وذلك بمقارنة درجة الحرارة المعطاة مع Tsat

$$T < T_{sat} \longrightarrow 20 < 120.21$$

مما يعني أن السائل في حالة Subcoold Liquid or Compressed Liquid
ونذهب إلى جدول A-7 فنلاحظ أن أقل ضغط في هذا الجدول هو 5 MPa
وهذا أكبر بكثير من ضغط الماء في هذا السؤال مما يعني أننا لا نستطيع
عمل interpolation ! إذن ما الحل ؟؟
هذا ما سنتعرفه في الحلقة القادمة

في مثل هذه الأسئلة يكون $v = v_f$ لكن السؤال القوي أي v_f ؟
يالي موجودة بجدول A-4 ولا الموجودة بجدول A-5 ؟؟

في الحقيقة يجوز استعمال القيمتين بنسبة error بسيطة ولكن
الأصح والأدق علمياً هي قيمة v_f الموجودة في جدول
A-4 ولكن لماذا ؟
من المعلوم أن السوائل تتأثر بالحرارة أكثر من الضغط حتى أن السوائل تسمى في
علم الموائع "Fluid" بـ incompressible أي غير قابل للانضغاط
فمن المنطق أن نثبت درجة الحرارة المعطاه كون السائل يتأثر بالحرارة
وبذلك نكون قد قرأنا قيم أقرب إلى الحقيقة مما لو استخدمنا جدول
A-5 الذي نثبت فيه الضغط ومن المعلوم أن السائل لا يتأثر كثيراً بالضغط

فنذهب إلى جدول A-4 عند درجة حرارة 20°C ونقرأ v_f

$$v = v_f = 0.001002 \ m^3/kg$$

* أنماط أخرى من الأسئلة : Examples:

* Determine the "T" of H_2O at state of $P = 0.5$ MPa and $h = 2890$ kJ/kg ?

نذهب إلى جدول A-5 عند ضغط 500 kPa ونتأكد من قيمة الـ enthalpy

$$h > h_g \rightarrow 2890 \text{ kJ/kg} > 2748.1 \text{ kJ/kg}$$

مما يعني أن الماء في حالة S.H.V
فنذهب الى جدول A-6 عند ضغط 0.5 MPa

اعمل "interpolation"
لحالك صرت كبير
بطلع منك يا كبير

T, °C	h, kJ/kg
200	2855.8
T	2890
250	2961

$T = 216.25$ °C

* Determine the internal energy of compressed liquid water at 80 °C and 5MPa ?

ذكر في السؤال "compressed Liquid" وهذا يدلنا على استخدام جدول A-7
فنذهب إلى عمود الضغط 5MPa وعند سطر درجة الحرارة 80 °C
ونقرأ "U" مباشرة"

$U = 333.82$ kJ/kg

Example: Determine the missing properties and the phase description in the following table for H_2O ?

T, °C	P, kPa	U, kJ/kg	X	phase description
A	200	B	0.6	C
125	D	1600	E	F
G	1000	2950	H	I
75	500	J	K	L
M	850	N	0.0	S

* كل حرف يمثل رقم مفقود علينا ايجاده ونبدأ بالسطر الأول ثم الذي يليه وهكذا

رائد الحموري
0788195339

① معلوم لدي قيمة الضغط "P" والـ quility "X" وبما أنه يوجد قيمة للـ X بإذن الماء عبارة عن Mixture يعني نحن تحت القبة "Dome" وقيمة $u_f < u < u_g$ ودرجة الحرارة هي T_{sat} نذهب إلى جدول A-5 عند ضغط 200 kPa ونقرأ T_{sat}

$$A = T_{sat} = 120.21\ ^\circ C$$

ونجد قيمة u بالمعادلة التالية

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

بعد أن نقرأ : $u_f = 504.5\ kJ/kg$

$u_{fg} = 2024.6\ kJ/kg$

معطيات السؤال $X = 0.6$

$$u = 504.5 + [0.6 \times 2024.6]$$

$$u = 1719.26\ kJ/kg = B$$

C = saturated liquid-vapor mixtur

② معلوم لدي "T" فنذهب الى جدول A-4 ونتأكد من قيمة u المعطاه عند درجة حرارة 125 °C فنجد أن

$$u_f < u < u_g \rightarrow 524.83 < 1600 < 2009.5$$

وهذا مباشرة يدلنا على حالة السائل

F = saturated liquid-vapor mixure

نقرأ الضغط قراءة

$$D = P = P_{sat} = 232.23\ Ka$$

نحسب quility من المعادلة المجاورة

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

$$X = \frac{u - u_f}{u_{fg}} = \frac{1600 - 524.83}{2009.5} = 0.535$$

$$E = X = 0.535$$

③ معلوم لدي "P" و "u" فنذهب الى جدول A-5 عند ضغط 1000 kPa ونتأكد من قيمة u فنجد :

$u > u_g \rightarrow 2950 > 2582.8$

ومباشرة نستنتج أن الماء في حالة SHV ونذهب إلى جدول A-6 عند ضغط 1MPa ونبحث عن قيم u قريبة عن 2950 ونعمل interpolation

I = Superheated Vapor

P = 1MPa

T	u
350	2875.7
T	2950
400	2957.9

G = T = 395.2°C

تذكر:
قلنا سابقاً أن X غير معرّفة إلا في حالة "Mixture" وأن أصغر قيمة لها صفر وأكبر قيمة لها واحد

H = X = Undefined

④ معلوم لدي "P" و "T" فنذهب إما الى جدول A-5 or A-4 ولنذهب إلى جدول A-5 عند ضغط 500 kPa فنجد أن

$T < T_{sat} \rightarrow 75 < 151.83$

ومباشرة نعلم أن الماء في حالة "C.L" ونذهب إلى جدول A-7 ولكن لا توجد معلومات كافية أستطيع بها قراءة القواعد لأن أقل قيمة للضغط في جدول A-7 هي 5MPa فنذهب إلى جدول A-4 كما وضحنا سابقاً عند درجة حرارة 75°C ونقرأ التالي

L = Compressed Liquid

$J = u = u_f = 313.99$ kJ/kg

L = X = Undefined

(5) معلوم لدي الـ "P" وقيمة X = 0 نستنتج منها أن الماء عند نقطة بداية الغليان أي عند Tsat

ومن جدول A-5 نقرأ الخصائص

S = Saturated liquid

$M = T = T_{sat} = 172.94\ ^\circ C$

$N = u = u_f = 731\ kJ/kg$

* يصبح الجدول هكذا

T, °C	P, kPa	u, kJ/kg	X	Phase description
120.21	200	1719.26	0.6	saturated L-V mixture
125	232.23	1600	0.535	saturated L-V mixture
395.2	1000	2950	—	Superheated Vapor
75	500	313.99	—	Compressed liquid
172.94	850	731	0.0	Saturated liquid

رائد الحوري
0788195339

Example: Complete this table for refrigerent-134a?

T, °C	P, kPa	u, kJ/kg	X	phase description
20	A	95	B	C
-12	D	E	F	saturated liquid
G	400	300	H	I
8	600	J	K	L

① اذهب إلى جدول A-11 عند درجة حرارة 20 ونتأكد من قيمة u المعطاه

$u_f < u < u_g \rightarrow 78.86 < 95 < 241.02$

نستنتج أن السائل في حالة "mixture"

C = Saturated Liquid-Vapor mixture

$A = P = P_{sat} = 572.07$ kPa ونقرأ P قراءة من الجدول

$$B = X = \frac{u - u_f}{u_{fg}} = \frac{95 - 78.86}{162.16} = 0.01$$

② نذهب إلى جدول A-11 عند درجة حرارة $-12°C$ ونلاحظ أنه في السؤال معطينا حالة السائل saturated liq. مما يعني التالي:

$D = P = P_{sat} = 185.37$ KPa

$E = u = u_f = 35.78$ kJ/kg

$F = X = 0.0$

③ نذهب الى جدول A-12 عند ضغط 400 ونتأكد من قيمة u فنجد التالي:

$u > u_g \longrightarrow 300 > 235.07$

نستنتج أن السائل في حالة S.H.V

فنذهب الى الجدول A-13

عند ضغط 0.4MPa

ونعمل interpolation

I = Superheated Vapor

H = X = Undefined

G = T = 86.24 °C

T	u
80	294.53
T	300
90	303.32

④ نذهب الى جدول A-11 عند درجة حرارة 8°c ونقارن الضغط المعطى مع P_{sat}

$P > P_{sat} \longrightarrow 600 > 387.88$

ما يعني أن السائل في حالة compressed . L

وبما أنه لا يوجد جدول خاص بال Compressed liquid ref-134a

فنذهب الى الجدول الخاص بدرجة الحرارة لل saturated ref-134a

وهو جدول A-11

L = Compressed Liquid

$J = u = u_f = 62.26\ kJ/kg$

K = X = Undefined

* إمتحان الـ 1st قرّب

ادرسوا منيح وحلّوا

أسئلة m.c

أخوكم رائد العمري

0788195339

لجنة الهندسة الميكانيكية

The ideal-gas equation of state

الغاز المثالي: هو الغاز الذي تتكون جزيئاته من ذرة واحدة ولا يوجد قوى تجاذب أو تنافر بين جزيئاته والتصادمات بين جزيئاته تكون مرنة تماماً "perfectly elastic"

equation of state: أي معادلة تربط بين الضغط "P" والحرارة "T" والحجم النوعي "v" تسمى equation of state

* تعتبر هذه المعادلة بديلاً عن الجداول لإيجاد الخصائص لأن الجداول ضخمة وقد يُخطئ الطالب في قراءة بعض الأرقام وهي خاصة بالغازات.

* $Pv = RT$, R: gas constant "kJ/kg.K"

* لكل غاز له R خاصة به

$R = \frac{R_u}{M}$, R_u: Universal gas constant

$R_u = 8.31447$ kJ/kmol.K ثابت لكل الغازات

M: molar mass

* $PV = nR_uT$, n: number of moles

V: volume m^3 لا تخربط مع v

T: temp. وحدة قياسها هنا بالكلفن

$\bar{v} = \frac{V}{n}$ حجم الكيلومول الواحد

* $PV = mRT$

* ملاحظة:

له ٣ أشكال ولازم تفرّق بين R_u & R ولازم تفرّق أيضاً بين v & V وعوّض درجة الحرارة بالكلفن ويستخدم للغازات فقط

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

Example: Determine the mass of air in a room whose dimenions are 4m × 5m × 6m at 100 kPa and 27 °C ?

sol. $PV = mRT$

$P = 100\,kPa$ $m = ??$

$V = 120\,m^3$ $T = 27 + 273 = 300\,K$

$R_{air} = 0.287\,kJ/kg.K$ "from table A-1"

$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{100 * 120}{0.287 * 300} = 143.9\,kg$$

Compressibility Factor "Z"

* $PV = ZRT$ * $P\bar{V} = ZR_uT$, $Z \rightarrow$ chart A-15

$Z = 1 \xrightarrow{\text{يعني}}$ ideal gase

$P_R = \frac{P}{P_{cr}}$, P_R: reduced pressure
P_{cr}: critical pressure from table A-1

$T_R = \frac{T}{T_{cr}}$, T_R: reduced temperature
T_{cr}: critical temperature table A-1

* Nelson - obert generalized compressibility chart A-15
المحور الافقي فيه عبارة عن P_R ونحسبه من المعادلة في الاعلى ونقاطعه مع خطوط T_R
الذي نجده من المعادلة أيضاً ونقرأ على المحور العمودي قيمة Z

chapter 3

Homework

Q 3-23

T, °C	P, kPa	h, kJ/kg	x	phase description
120.2	200	2045.8	0.7	saturated mixture
140	361.5	1800	0.565	saturated mixture
177.7	950	752.7	0.0	saturated liquid
80	500	335.4	---	Compressed liquid
350	800	3162.2	---	Saturated vapor

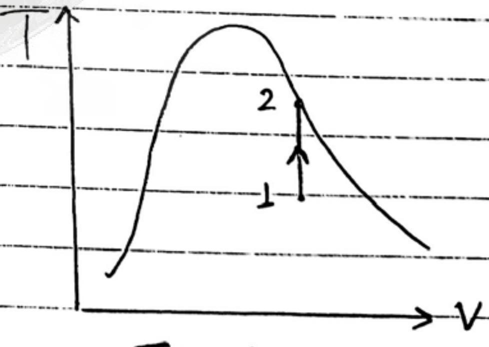
Q3-47

rigid tank $\xrightarrow{\text{يعني}}$ V = constant

$v = \frac{V}{m} = \frac{1.8\ m^3}{15\ kg} = 0.12\ m^3/kg$

Completely vaporized $\xrightarrow{\text{تعني}}$ $x_2 = 1$, $v_2 = v_g = 0.12\ m^3/kg$

$T = T_{sat\ at\ v_g} = 202.9\ °C$



T-V diagram

Q3-48

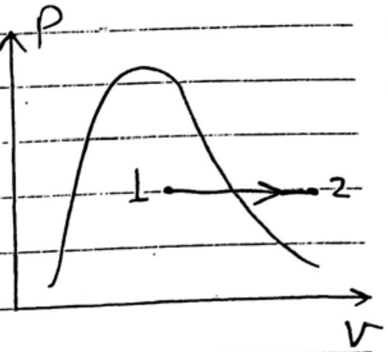
(a) $T = T_{sat\ at\ P} = 158.8\ °C$ "A-5"

(b) $m_f = \frac{V_f}{v_f} = \frac{0.005}{0.001101} = 4.543\ kg$

$m_g = \frac{V_g}{v_g} = \frac{0.9}{0.3156} = 2.852\ kg$

$m_t = m_f + m_g = 7.395\ kg$

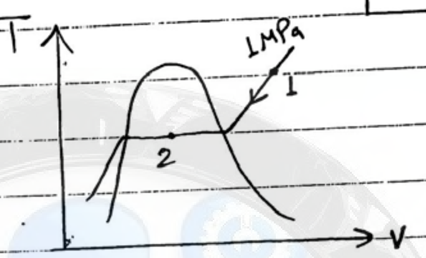
(c) $\left.\begin{array}{l} P_2 = 600\,kPa \\ T_2 = 200\,^\circ C \end{array}\right\}$ $V_2 = 0.35212\,m^3/kg$ Table A-6



(d) →

Q3-54

(a) →



* انتبه : Constant P

(b) $T = T_{sat\ at\ 1MPa} = 179.9\ ^\circ C$ "A-5"

(c) $\left.\begin{array}{l} P_1 = 1MPa \\ T_1 = 300\,^\circ C \end{array}\right\}$ $V_1 = 0.25799\,m^3/kg$ table A-6

$\left.\begin{array}{l} P_2 = 1\,MPa \\ X_2 = 0.5 \end{array}\right\}$ $V_2 = V_f + X_2 V_{fg} = 0.09775\,m^3/kg$

one-half of mass Condenses

$\Delta V = m(V_2 - V_1) = -0.1282\,m^3$

ضربنا بـ mass لنحصل على وحدة الحجم

Q 3.55

$V_1 = V_2 = Vg_{at\ 124^\circ C} = 0.7927\ m^3/kg$ "table A-4"

$\left.\begin{array}{l} T_1 = 250\,^\circ C \\ V_1 = 0.7927\,m^3/kg \end{array}\right\}$ $P_1 = 0.3MPa$ table "A-6"

Q 3.62

critical point

(a) $V_1 = V_2 = V_{cr} = 0.003106\ m^3/kg$ أعلى نقطة في القبة "في هذا السؤال"

عند أعلى درجة حرارة موجودة

في جدول A-4

أو عند أعلى نقطة في جدول A-5

$m = \frac{V}{v} = \frac{0.3}{0.003106} = 96.6\ kg$

(b) $150\ °c \rightarrow v_f = 0.001091\ m^3/kg$, $v_g = 0.39248\ m^3/kg$ "A-4"

$x_1 = \frac{v_1 - v_f}{v_{fg}} = 0.005149$

$m_f = (1-x)m_1 = 96.1\ kg$

$V_f = m_f v_f = 0.105\ m^3$

Q 3.72

$V_2 = \frac{m_2 R T_2}{P_2} = \frac{5 * 0.287 * 308}{200} = 2.21\ m^3$ الحرارة بالكلفن

$m_1 = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{500 * 1}{0.287 * 298} = 5.86\ kg$

$V_{equil} = V_1 + V_2 = 3.21\ m^3$

$m_{equil} = m_1 + m_2 = 5.846 + 5 = 10.846\ kg$

$P_{equil} = \frac{m R T_{equil}}{V} = 284.1\ kPa$

Q 3.81

(a) $V = \frac{RT}{P} = \frac{0.4615 * 623.15}{15000} = 0.01917\ m^3/kg$

(b) $P_R = \frac{P}{P_{cr}} = 0.453$, $T_R = \frac{T}{T_{cr}} = 1.04$ } $Z = 0.65$ "from chart" Fig A-15

$V = Z V_{ideal}$
$= 0.65 * 0.01917$
$= 0.01246\ m^3/kg$

(c) $P_1 = 15\ MPa$, $T_1 = 350\ °C$ } table A-6 , $v = 0.01148\ m^3/kg$

Q 3.121

$v_1 = v_{f\ at\ 1.2MPa} = 0.0008934\ m^3/kg$ "table A-12"

$m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0.03}{0.0008934} = 33.58\ kg$

$P_2 = 400\ kPa$, $T_2 = 30\ °C$ } table A-13 , $v_2 = 0.05680\ m^3/kg$

$V_{tank} = V_2 = m v_2 = 1.91\ m^3$

(1) A rigid tank contains 2 kg of an ideal gas at 4 atm and 40°C. Now a valve is opened, and half of mass of the gas is allowed to escape. If the final pressure in the tank is 2.2 atm, the final temperare in the tank is :

(a) 71°C (b) 44°C (c) -100°C (d) 20°C (e) 172°C

(2) The pressure of an automobile tire is measured to be 190 kPa (gage) before a trip and 215 kPa (gage) after the trip at a location where the atmospheric pressure is 95 kPa. If the temperature of air in the tire before the trip is 25°C, the air temperature after the trip is

(a) 51.1°C (b) 64.2°C (c) 27.2°C (d) 28.3°C (e) 25.0°C

(3) A 300-m^3 rigid tank is filled with saturated liquid-vapor mixture of water at 200 kPa. If 25% of the mass is liquid and the 75% of the mass is vapor, the total mass in the tank is :

(a) 451 kg (b) 556 kg (c) 300 kg (d) 331 kg (e) 195 kg

(4) Water is boiled at 1 atm pressure in a coffee maker equipped with an immersion-type electric heating element. The coffee maker initially contains 1 kg of water. Once boiling started, it is observed that half of the water in the coffee maker evaporated in 10 minutes. If the heat loss from the coffee maker is negligible, the power rating of the heating element is:

(a) 3.8 kW (b) 2.2 kW (c) 1.9 kW (d) 1.6 kW (e) 0.8 kW

(5) A 1-m^3 rigid tank contains 10 kg of water (in any phase or phases) at 160°C. The pressure in the tank is :

(a) 738 kPa (b) 618 kPa (c) 370 kPa (d) 2000 kPa (e) 1618 kPa

(6) Water is boiling at 1 atm pressure in a stainless steel pan on an electric range. It is observed that 2 kg of liquid water evaporates in 30 minutes. The rate of heat transfer to the water is :

(a) 2.51 kW (b) 2.32 kW (c) 2.97 kW (d) 0.47 kW (e) 3.12 kW

(7) Water is boiled in a pan on a stove at sea level. During 10 min of boiling, its is observed that 200 g of water has evaporated. Then the rate of heat transfer the water is :

(a) 0.84 kJ/min (b) 45.1 kJ/min (c) 41.8 kJ/min (d) 53.5 kJ/min (e) 225.7 kJ/min

(8) A 3-m^3 regid vessel contam at 4 MPa a°C. The mass of the steam is :

(a) 3 kg (b) 9 kg (c) 26 kg (d) 35 kg (e) 52 kg

(9) Consider a sealed can that is filled with refrigerant-134a. The contents of the can are at the room temperature of 25°C. Now a leak developes, and the pressure in the can drops to the local atmospheric pressure of 90 kPa. The temperature of the refrigerant in the can is expected to drop to (rounded to the integer) :

(a) 0°C (b) -29°C (c) -16°C (d) 5°C (e) 25°C

1. ideal gas $\xrightarrow{\text{تعني}}$ equation of state استخدم

rigid tank $\xrightarrow{\text{تعني}}$ $V_1 = V_2$ = constant

$\{m_1 = 2 kg , P_1 = 4 atm , T_1 = 40 ^\circ C = 313 K\}$ state 1

$\{m_2 = \frac{1}{2} m_1 = 1 kg , P_2 = 2.2 atm , T_2 = ??\}$ state 2

Sol.

$$\frac{P_1 \cancel{V_1}}{P_2 \cancel{V_2}} = \frac{m_1 \cancel{R} T_1}{m_2 \cancel{R} T_2}$$, $V_1 = V_2$ و R قيمة ثابتة لنفس الغاز

$$\frac{4}{2.2} = \frac{2 * 313}{1 * T_2} \longrightarrow T_2 = 344.3 K$$

$$T_2 = 344.3 - 273 = 71 ^\circ C$$ * انتبه للوحدات :

2. Air "ideal gas"

$P_{1gage} = 190 kPa , T_1 = 25 ^\circ C = 298 K\}$ state 1

$P_{2gage} = 215 kPa , T_2 = ??\}$ state 2

$P_{atm} = 95 kPa$

Sol. $P_{abs} > P_{atm}$ اذن P_{gage} بما انه يوجد قيمة لـ *
ونستخدم المعادلة التالية

$P_{1abs} = P_{gage1} + P_{atm}$

$= 190 + 95 = 285$ atm

$P_{2abs} = 215 + 95 = 310$ atm

$$\frac{P_1 \cancel{V_1}}{P_2 \cancel{V_2}} = \frac{\cancel{m_1} \cancel{R} T_1}{\cancel{m_2} \cancel{R} T_2}$$, عجل السيارة حجمه ثابت وكتلة الهواء داخله ثابتة و R للهواء نفسها

$$(285/310) = \frac{298}{T_2} \rightarrow T_2 = 324.1 K = 51.1 ^\circ C$$

3. Water "H_2O"

rigid tank $\longrightarrow$ $V = const.$, $V_1 = V_2 = 300\ m^3$

$P = 200\ kPa$

$$x = \frac{\text{mass of vapor}}{\text{total mass}} = 0.75$$

$m = ??$

specific volume $v = \frac{V_{tank}}{m\ ??}$

$v = v_f + x\, v_{fg}$ * نحصل على v من القانون التالي :

ونذهب إلى جداول الماء وبالتحديد إلى

v_{fg} & v_f نقرأ 200kPa وعند ضغط table A-5

$v_f = 0.001061\ m^3/kg$, $v_{fg} = 0.884719\ m^3/kg$

$v = 0.6646\ m^3/kg$

$$m = \frac{300\ \cancel{m^3}}{0.6646\ \cancel{m^3}}\ kg \simeq 451\ kg$$

4. Water "H_2O"

$P = 1\,atm = 101.325\ kPa$

time = 10 min = 600 s

$m = 1\ kg$

$m_{evap} = 0.5\ kg$

table A-5 at 101.325 kPa

$h_f = 419.06\ kJ/kg$

$h_g = 2675.6\ kJ/kg$

$h_{fg} = 2256.5\ kJ/kg$

$\dot{W}\,\Delta t = m_{evap}\, h_{fg}$

$$\dot{W} = \frac{0.5 * 2256.5}{600}$$

$\dot{W} = 1.88\ kW \simeq 1.9\ kW$

5. water "H_2O"
rigid tank → $V_1 = V_2 = 1 m^3$
$m = 10 kg$
$T = 160 °C$
$P = ??$

sol.

$$v = \frac{V_{tank}}{m} = \frac{1}{10} = 0.1 \, m^3/kg$$

* اذهب إلى table A-4 عند درجة حرارة 160 وتأكد من قيمة v تجد التالي:

$v_f < v < v_g$
$0.001102 < 0.1 < 0.3068$

اذن تقرأ الضغط قراءة مباشرة من نفس الجدول

$P = 618.23 \, kPa$

6. water "H_2O"
$P = 1 atm = 101.325 \, kPa$
time "Δt" = 30 min = 1800 S
$m_{evap} = 2 kg$
$\dot{W} = (m_{evap} * h_{fg}) / \Delta t$, get h_{fg} from table A-5

$\dot{W} = (2 * 2256.5) / 1800$

$\dot{W} = 2.51 \, kW$

7. water "H_2O"
sea level تعني $\rightarrow$ $P = P_{atm} = 101.325$ kPa
$m_{evap} = 0.2$ kg

time "t" = 10 min

$$\dot{W} = \frac{m_{evap} * h_{fg}}{t} \quad \text{"kJ/min"}$$

$$\dot{W} = \frac{0.2 * 2256.5}{10} = 45.1 \text{ kJ/min}$$

8. Steam "H_2O"
rigid $\rightarrow$ $V_1 = V_2 = 3 m^3$

$P = 4$ MPa
$T = 500$ °C
$m = ??$

Sol. * نتأكد من حالة الـ steam وهو في منطقة S.H.V
اذن نذهب إلى table A-6
عند ضغط 4MPa عند درجة حرارة 500 °C
ونقرأ V

$v = 0.08644 \ m^3/kg$

$$v = \frac{V_{tank}}{m}$$

$$m = \frac{3 \ \cancel{m^3}}{0.8644 \ \cancel{m^3}} \text{ kg} = 35 \text{ kg}$$

9. refrigerent -134a

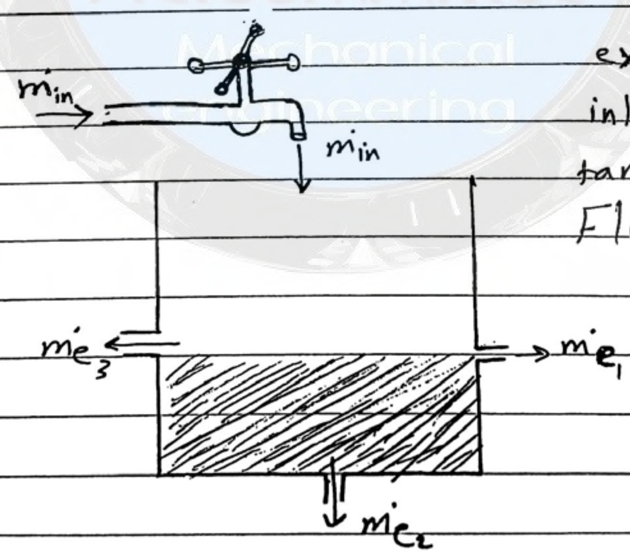
$T_1 = 25\ ^\circ C$ } state 1

$P_2 = 90\ kPa$, $T_2 = ??$ } state 2

Sol. * اذهب الى جدول "A-12" عند 90kPa بالضبط
واقرأ درجة الحرارة قراءة

$T_2 = -28.65 \simeq -29\ ^\circ C$

1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	a	a	c	b	a	b	d	b



exist ≡ السيئات
inlet ≡ الحسنات
tank ≡ رصيدأعمالك
Fluid ≡ الخير

if $\sum \dot{m}_{in} > \sum \dot{m}_e$ = Winner

if $\sum \dot{m}_{in} < \sum \dot{m}_e$ = Loser

* مين النفش ياللي رح يحكي "طيب اذا $\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_e$ شو بصير" !؟

Chapter 4 : Energy Analysis of closed System

* moving boundary work

* هو أحد أشكال الشغل الميكانيكي وهو مرتبط بتمدد أو انضغاط الغازات داخل "piston – cylinder device" ويُسمى أيضاً "P dV work" ومن أهم التطبيقات عليه هو محرك السيارة.

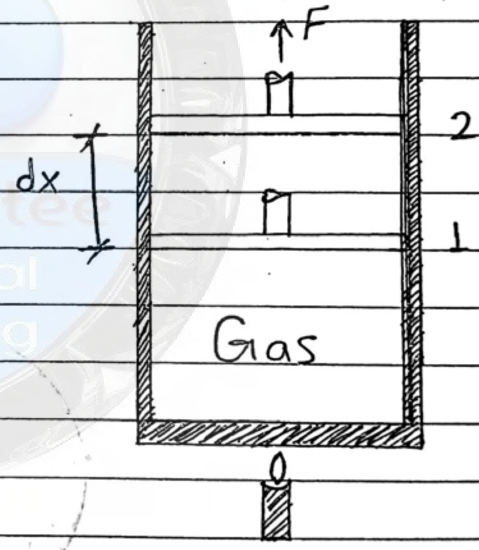
* سوف نشتق علاقة "boundary work" وذلك بالتالي:
افرض أنه عندنا جهاز "piston-cylinder" وفيه غاز بالداخل وسخنا النظام بمصدر حرارة حتى ارتفع الكبس مسافة (ازاحة) مقدارها dx كما في الشكل

$\delta W = F \cdot dx$, $F = PA$

$\delta W = PA \cdot dx$, $dV = A \cdot dx$

$\delta W = P dV$

$$\boxed{W = \int_1^2 P dV}$$ "kJ"

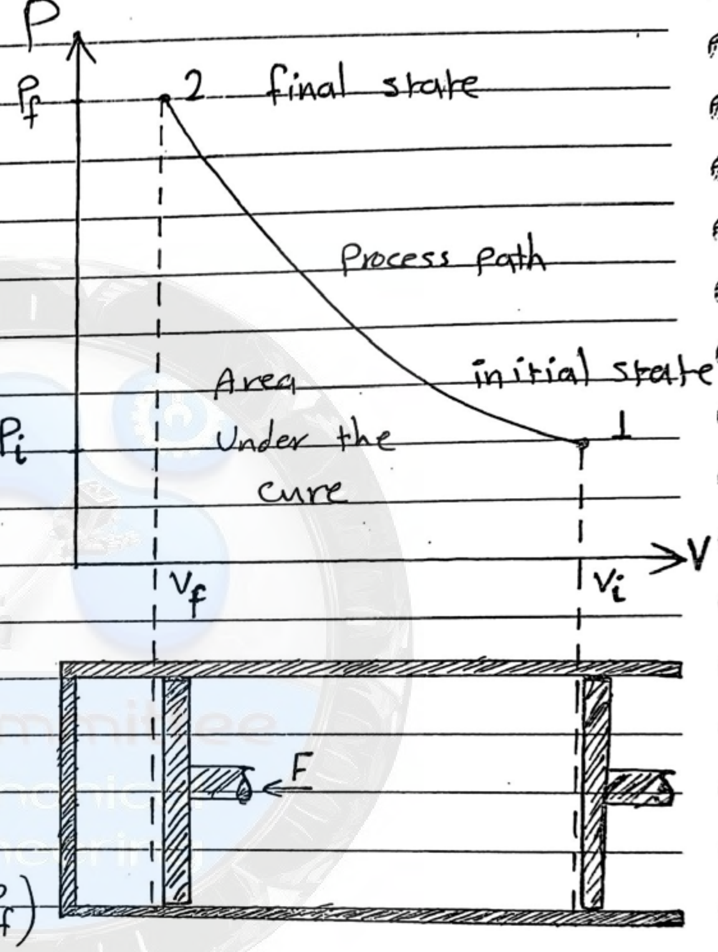


piston – cylinder device

* لا نستطيع حساب قيمة التكامل الذي يمثل boundary work إلا إذا عرفنا العلاقة التي تربط الضغط "P" بالحجم "V" وفيما يلي توضيح لذلك:

* نريد أن نرسم العلاقة على "P-V diag." لغاز في جهاز piston-cylinder حدث له ضغط في عملية شبه اتزان "quasi-equilibrium compression process"

$$Area = \int_1^2 dA = \int_1^2 P\,dV$$



* لو قسمنا المساحة إلى مساحات صغيرة وأخذنا إحداثيات كل النقاط كالتالي

P	V
P_i	V_i
P_1	V_1
P_2	V_2
⋮	⋮
P_f	V_f

$$W_{i-f} = \frac{P_i + P_1}{2}(V_i - V_1) + \dots + \frac{P_2 + P_f}{2}(P_2 - P_f)$$

* The area under the process curve on P-V diagram is equal in magnitude to the work done during a quasi equilibrium expansion «تمدد» or compression process of a closed system.

ملاحظة:

العملية من (1) إلى (2) اسمها Compression

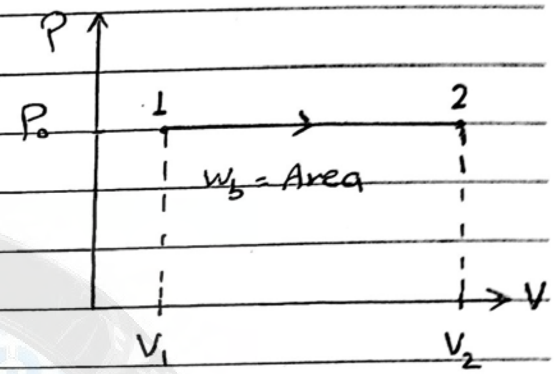
العملية من (2) إلى (1) اسمها expansion

* Analytical Methoed for calculating boundary work

1. Boundary work for Isobare "constant-Pressure" Process:

$P = C$

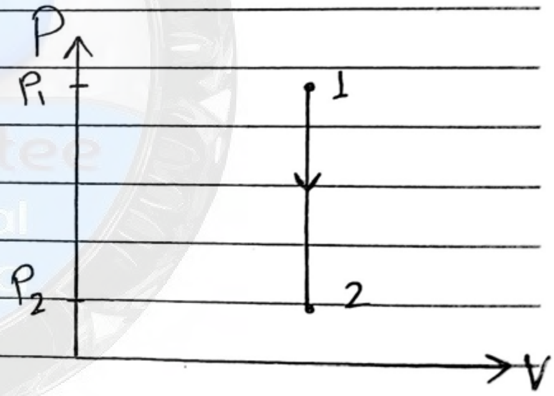
$$W_b = \int_1^2 P\,dV = P_o (V_2 - V_1)$$



2. Boundary work for Isochoric "Constant-Volume" Process:

$V = C$, $dV = $ zero

$$W_b = \int_1^2 P\,\cancel{dV}^{\,0} = \text{Zero}$$



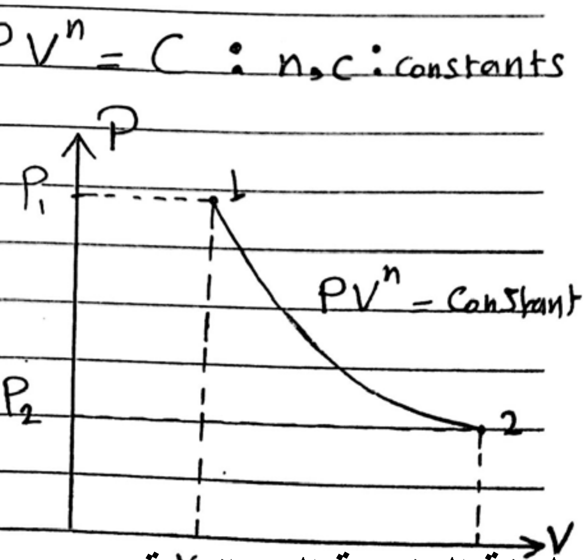
3. Boundary work for Polytropic Process :

polytropic process $\xrightarrow{\text{تعني}}$ $PV^n = C$: n, C : constants

$$P = \frac{C}{V^n} = C V^{-n}$$

$$W_b = \int_1^2 P\,dV = \int_1^2 C V^{-n} dV$$

$$W_b = C \cdot \frac{V^{-n+1}}{-n+1} \Bigg|_{V_1}^{V_2} , \quad n \neq 1$$



$$W_b = C \cdot \left[\frac{V_2^{1-n} - V_1^{1-n}}{1-n} \right] = \frac{C V_2^{-n} \cdot V_2 - C V_1^{-n} \cdot V_1}{1-n}$$

$P_2 = C V_2^{-n}$, $P_1 = C V_1^{-n}$

$$* \quad W_b = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n} , n \neq 1$$

$PV = mRT$

علاقة ثانية

$$* \quad W_b = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-n} , n \neq 1$$

4. Boundary work for polytropic process with "n=1":

Isothermal compression of an ideal gas } ← "3" هذه حالة خاصة من حالة رقم * ومن أهم الأمثلة على هذه الحالة

- for an ideal gas at constant temperature:

$PV = mRT$ → constant for an ideal gas with const. T

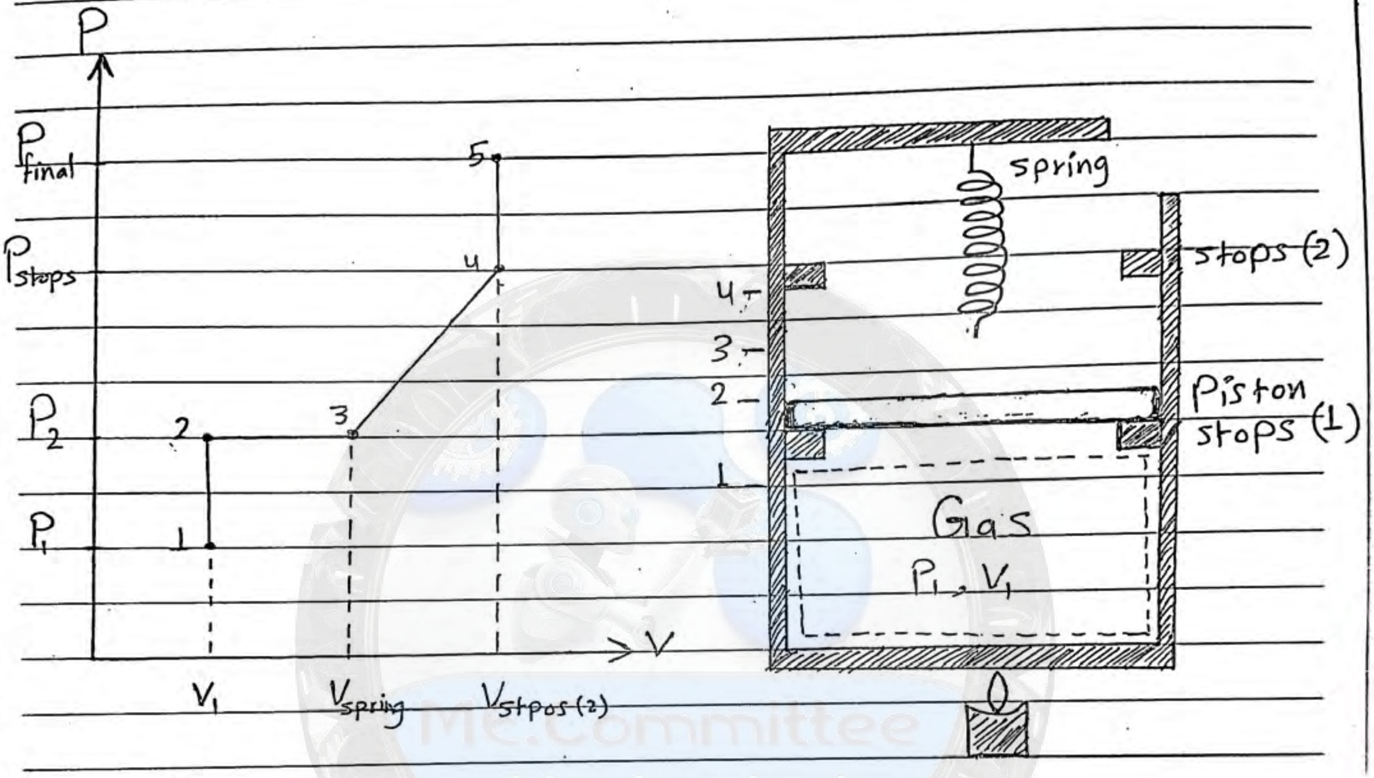
$PV = C$, $P = \frac{C}{V} = CV^{-1}$

$$W_b = \int_1^2 P\,dV = \int_1^2 C V^{-1}\,dV = C \ln V \Big|_{V_1}^{V_2}$$

$$W_b = C \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \rightarrow W_b = P_1 V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$W_b = P_2 V_2 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

Expansion of a Gas against a Spring & stops



* لقد قمنا بوضع غاز داخل "piston-cylinder" وعرضناه لمصدر حرارة ودرسنا علاقة الضغط مع الحجم وقمنا برسم العلاقة بينهما على "P-V diagram" :

1 ← 2 : قمنا بتسخين النظام فارتفع الضغط مع بقاء الحجم ثابت (يعني بقي الـ Piston في مكانه بسبب وزنه) وهذه العملية تسمى isochoric

2 ← 3 : مع زيادة التسخين ارتفع الـ "Piston" تدريجياً وببطء يعني زاد الحجم ولكن مع بقاء الضغط ثابت وهذه العملية تسمى isobarc

3 - 4 : استمر الـ "piston" في الارتفاع حتى اصطدم بالنابض "spring" ومع استمرار إرتفاع الـ "piston" يضغط النابض ويزيد الحجم والضغط بشكل خطي

4 - 5 : بقي الـ "piston" يرتفع حتى اصطدم بالـ stops (2) العلوي مع استمرار التسخين فثبت الحجم وبقي الضغط يرتفع

EXAMPLE 4–4 **Expansion of a Gas against a Spring**

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 and to compress the spring until the volume inside the cylinder doubles. If the cross-sectional area of the piston is 0.25 m^2, determine (*a*) the final pressure inside the cylinder, (*b*) the total work done by

compress it.

Solution

(*a*) The enclosed volume at the final state is

$$V_2 = 2V_1 = (2)(0.05 \text{ m}^3) = 0.1 \text{ m}^3$$

Then the displacement of the piston (and of the spring) becomes

$$x = \frac{\Delta V}{A} = \frac{(0.1 - 0.05) \text{ m}^3}{0.25 \text{ m}^2} = 0.2 \text{ m}$$

The force applied by the linear spring at the final state is

$$F = kx = (150 \text{ kN/m})(0.2 \text{ m}) = 30 \text{ kN}$$

The additional pressure applied by the spring on the gas at this state is

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

Without the spring, the pressure of the gas would remain constant at 200 kPa while the piston is rising. But under the effect of the spring, the pressure rises linearly from 200 kPa to

$$200 + 120 = \mathbf{320\ kPa}$$

at the final state.

(*b*) An easy way of finding the work done is to plot the process on a *P-V* diagram and find the area under the process curve. From Fig. 4–10 the area under the process curve (a trapezoid) is determined to be

$$W = \text{area} = \frac{(200 + 320) \text{ kPa}}{2}[(0.1 - 0.05) \text{ m}^3]\left(\frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3}\right) = \mathbf{13\ kJ}$$

Note that the work is done by the system.

(*c*) The work represented by the rectangular area (region I) is done against the piston and the atmosphere, and the work represented by the triangular area (region II) is done against the spring. Thus,

$$W_{\text{spring}} = \tfrac{1}{2}[(320 - 200) \text{ kPa}](0.05 \text{ m}^3)\left(\frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3}\right) = \mathbf{3\ kJ}$$

Discussion This result could also be obtained from

$$W_{\text{spring}} = \tfrac{1}{2}k(x_2^2 - x_1^2) = \tfrac{1}{2}(150 \text{ kN/m})[(0.2 \text{ m})^2 - 0^2]\left(\frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kN} \cdot \text{m}}\right) = 3 \text{ kJ}$$

* Energy Balance for Closed Systems

* لقد ذكرنا هذا الموضوع في آخر chapter.2 وسنتعرف عليه هنا بالتفصيل

$$\underbrace{E_{in} - E_{out}}_{\text{net energy transfer by heat, work and mass}} = \underbrace{\Delta E_{system}}_{\text{change in internal, kinetic, porintial, ... etc... energies}} \quad \text{"kJ"}$$

- سوف نكتب القانون بالتفصيل كالتالي :

$$Q_{in} - Q_{out} + W_{in} - W_{out} + \cancel{E_{mass\,(in)}} - \cancel{E_{mass\,(out)}} = E_2 - E_1$$

$E_{mass\,(in)}$ → Zero, $E_{mass\,(out)}$ → Zero

لأن النظام مغلق ولا تدخله كتلة أو تخرج منه

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

* الحرارة الكلية تمثل الحرارة التي تدخل للنظام ناقص الحرارة التي تخرج منه

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

* الشغل الكلي يساوي الشغل الذي ينتجه النظام ناقص الشغل الذي يُبذل على النظام

$E_2 - E_1$ → $\Delta U + \Delta K.E + \Delta P.E$

$$Q - W = \Delta U + \cancel{\Delta K.E} + \cancel{\Delta P.E}$$

$\Delta K.E$ → Zero, $\Delta P.E$ → Zero

W: يمثل جميع أنواع الشغل ونستعوض عنه بال $W_{boundary}$ مضافاً الى الأنواع الأخرى W_{other} بشرط أن يكون ال boundary work تحت ضغط ثابت "isobarc"

إذا كان النظام ثابت ولا يرتفع عن مستوى سطح البحر كثيراً وبالعادة نهمل هذين المقدارين ما لم يكن النظام يتحرك بسرعة معينة أو مرتفع.

$$Q - W_{other} - W_{boundary} = U_2 - U_1$$ العلاقة العامة للنظام المغلق

$$Q - W_{other} = U_2 - U_1 + W_{boundary}$$

$$Q - W_{other} = U_2 - U_1 + P(V_2 - V_1)$$

$$Q - W_{other} = (U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1)$$

تذكر : enthalpy $H = U + PV$

$$Q - W_{other} = H_2 - H_1$$

* this equation is used of closed system undergoing a constant-pressure

* انتبه: في هذه العلاقة الـ boundary work محسوب تلقائياً من خلال الـ enthalpy

* استمتع بالأدب العربي : مما قرأتُ وأعجبني

سلوا قلبي غداة سلا وتابا	لعلّ على الجمال له عتابا
ويُسألُ في الحوادث ذو صوابٍ	فهل تركَ الجمالُ له صوابا
وكنت إذا سألت القلب يوماً	تولّى الدمع عن قلبي الجوابا
ولا ينبيك عن خُلقِ الليالي	كمن فقد الأحبة والصحابا
أخا الدنيا أرى دنياك أفعى	تُبدّل على آونةٍ إهابا
تجلّى مولد الهادي وعمّت	بشائرهُ البوادي والقصابا
وأسدت للبريةِ بنتُ وهبٍ	يداً بيضاء طوّقت الرقابا
لقد وضعته وهّاجاً منيراً	كما تلد السماواتُ الشهابا
أبا الزهراءِ قد جاوزتُ قدري	بمدحك بيدَ أن ليَ انتسابا
فما عرفَ البلاغةَ ذو بيانٍ	إذا لم يتخذك له كتابا
مدحتُ المالكين فزدتُ قدراً	فحين مدحتك اقتدتُ السحابا

"اللهم صلِّ وسلّم على سيدنا محمد"

EXAMPLE 4–6 **Unrestrained Expansion of Water**

A rigid tank is divided into two equal parts by a partition. Initially, one side of the tank contains 5 kg of water at 200 kPa and 25°C, and the other side is evacuated. The partition is then removed, and the water expands into the entire tank. The water is allowed to exchange heat with its surroundings until the temperature in the tank returns to the initial value of 25°C. Determine (*a*) the volume of the tank, (*b*) the final pressure, and (*c*) the heat transfer for this process.

(*a*)

$$v_1 \cong v_{f @ 25°C} = 0.001003 \text{ m}^3/\text{kg} \cong 0.001 \text{ m}^3/\text{kg} \qquad \text{(Table A–4)}$$

$$V_1 = mv_1 = (5 \text{ kg})(0.001 \text{ m}^3/\text{kg}) = 0.005 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{tank}} = (2)(0.005 \text{ m}^3) = \mathbf{0.01 \text{ m}^3}$$

(*b*) At the final state, the specific volume of the water is

$$v_2 = \frac{V_2}{m} = \frac{0.01 \text{ m}^3}{5 \text{ kg}} = 0.002 \text{ m}^3/\text{kg}$$

At 25°C: $v_f = 0.001003 \text{ m}^3/\text{kg}$ and $v_g = 43.340 \text{ m}^3/\text{kg}$ (Table A–4)

$$P_2 = P_{\text{sat @ 25°C}} = \mathbf{3.1698 \text{ kPa}} \qquad \text{(Table A–4)}$$

(*c*)

$$Q_{\text{in}} = \Delta U = m(u_2 - u_1)$$

$$u_1 \cong u_{f @ 25°C} = 104.83 \text{ kJ/kg}$$

$$x_2 = \frac{v_2 - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.002 - 0.001}{43.34 - 0.001} = 2.3 \times 10^{-5}$$

$$\begin{aligned} u_2 &= u_f + x_2 u_{fg} \\ &= 104.83 \text{ kJ/kg} + (2.3 \times 10^{-5})(2304.3 \text{ kJ/kg}) \\ &= 104.88 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{in}} = (5 \text{ kg})[(104.88 - 104.83) \text{ kJkg}] = \mathbf{0.25 \text{ kJ}}$$

Specific heats

specific heat: is the energy required to raise the temperature of a unit mass of a substance by one degree.

الحرارة النوعية: هي الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 كغ من مادة معيّنة درجة مئوية واحدة

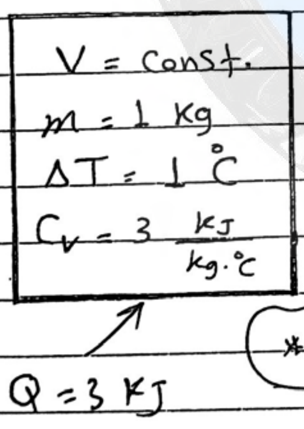
Specific heats

* Specific heat at Constant Volume "C_v"

هي الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 كغ من مادة معينة درجة مئوية واحد عند حجم ثابت

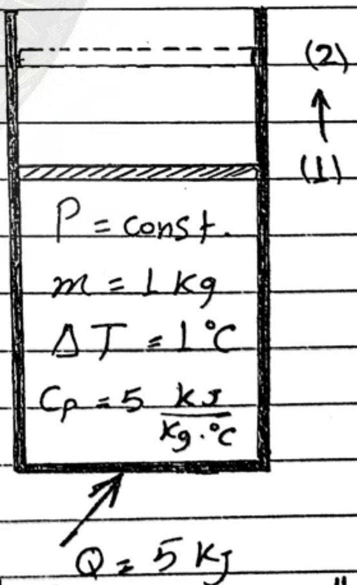
* Specific heat at Constant Pressure "C_p"

هي الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 كغ من مادة معينة درجة مئوية واحدة عند ضغط ثابت



$* \; Q = \Delta U$

"rigid tank"



"piston-cylinder"

$Q = \Delta U + W$

* لاحظ أن المادة نفسها والكمية نفسها في كلا التجربتين ولكن اختلفت الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة كل منهما وذلك بسبب تثبيت الضغط مرة وتثبيت الحجم مرة أخرى

* نتيجة: $C_p > C_v$

Internal energy, enthalpy, and specific heat of ideal gases

* $u = u(T)$, u is a function of tempe. only

$h = u + Pv$ but $Pv = RT$ for ideal gases

$\therefore h = u + RT$, u : internal energy is a function of tempe.
R : Constant
T : temperature

$\therefore h = h(T)$, enthalpy is a function of tempe. too

* $du = C_v\, dT \xrightarrow{\text{كامل الطرفين}} u_2 - u_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_v\, dT$ "kJ/kg"

$dh = C_p\, dT \xrightarrow{\text{كامل الطرفين}} h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_p\, dT$ "kJ/kg"

* $h = u + RT$ اشتق الطرفين

$dh = du + R\,dT$
$C_p dT = C_v dT + R\,dT$ اقسم طرفي المعادلة على "dT"

✓ $C_p - C_v = R$ kJ/kg.K

✓ $\bar{C}_p - \bar{C}_v = R_u$ kJ/kmol.K

$k = \frac{C_p}{C_v}$ specific heat ratio

1. Constant C_p, C_v Evaluated at 300K from table A2.a

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

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

* نستخدم هذه العلاقات إذا
وضع السؤال Const. Cp, Cv
وكانت الحرارة قريبة من 300K

2. Constant C_p, C_v Evaluated at $T_{avg} = \frac{T_1 + T_2}{2}$
from table A2.b or A2.C :

$\Delta u = C_{v_{avg}} (T_2 - T_1)$

$\Delta h = C_{p_{avg}} (T_2 - T_1)$

3. Variable C_p, C_v from equation in table A2.C
or frome this relations

$u_2 - u_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_v \, dT$ و $h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_p \, dT$

4. from tables A-17 → A-25

لكن يجب الانتباه للوحدات في هذه الجداول حيث وحدات u, h في
جدول A-17 kJ/kg
أما في الجداول من A-18 → A-25 kJ/kmol

رائد الحموري
0788195339

Internal energy, Enthalpy, and specific heat of solids and liquids

* specific volume for incompressible substance (solids and liquids) is constant

$V_{\substack{solids \\ liquids}} \ll V_{gases}$

* for solids and liquids $C_p = C_v = C$

* $h = u + Pv$ اشتق الطرفين

$dh = du + \underbrace{\cancel{P\,dv}}_{zero} + \underbrace{\cancel{v\,dP}}_{zero}$

$dh = du$

$\Delta h = \Delta u = C \Delta T$ "kJ/kg" for Constant-Pressure

$\Delta h = v \Delta P$ "kJ/kg" for Constant-temperature

* table A-3.a for Liquids
* table A-3.b for solids

راشد الحميدي
0788195339

Chapter 4 homework

Q 4.6

(a) $P_1 = 1MPa$, $T_1 = 400°C$ } $v_1 = 0.30661\ m^3/kg$ ← Table A-6

$P_2 = 1MPa$, $T_2 = 250°C$ } $v_2 = 0.23275\ m^3/kg$ ← Table A-6

$$W_b = m * P(v_1 - v_2) = 22.16\ kJ$$

(b) $W_b = m * P(v_1 - 0.6v_1) = 36.79\ kJ$

(c) $P_2 = 500\ kPa$, $v_2 = 0.6 * 0.30661$ } $T_2 = 151.8\ °C$ table A-5

Q 4.16

Polytropic → $W_b = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-n} = -89\ kJ$

* الاشارة السالبة تدل على أن الشغل بُذل على النظام

Q 4.21

$$V_1 = \frac{mRT}{P_1} = 0.2586\ m^3$$

$$V_2 = \frac{mRT}{P_2} = 0.4202\ m^3$$

$$W_b = P_1 V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 16.3\ kJ$$

Q 4.36

$P_1 = 200\ kPa$, $T_1 = 200°C$ } $v_1 = 1.08049\ m^3/kg$, $u_1 = 2654.6\ kJ/kg$

تابع →

$m = V_1 / v_1 = (0.4/1.08049) = 0.3702\ kg$

$v_2 = \frac{V_2}{m} = \frac{0.6}{0.3702} = 1.6207\ m^3/kg$

$\left.\begin{array}{l} P_2 = 250\ kPa \\ v_2 = 1.6207\ m^3/kg \end{array}\right\} \begin{array}{l} T_2 = 606\ °C \\ u_2 = 3312\ kJ/kg \end{array}$

(b) $W_b = \frac{P_1 + P_2}{2}(V_2 - V_1) = 45\ kJ$

(c) $Q_{in} = m(u_2 - u_1) + W_{b,out}$ ⇇ 1^{st} Law بعد تطبيق

$Q_{in} = 288\ kJ$

Q 4-39

$W_b = \frac{P_1 + P_2}{2}(V_2 - V_1) = 450\ kJ$

$Q_{in} = W_{b,out} + m(u_2 - u_1)$

$u_1 = \underbrace{u_f + x\, u_{fg}}_{\text{table A-5}} = 553.3\ kJ/kg$

$v_1 = v_f + x\, v_{fg} = 0.1783\ m^3/kg$

$m = \frac{V_1}{v_1} = 11.22\ kg$, $v_2 = \frac{V_2}{m} = 0.4458\ m^3/kg$

$u_2 = 1650.4\ kJ/kg$ table A-6

$Q_{in} = 450 + 11.22(1650.4 - 553.3) = 12.75\ MJ$

Qu-65

(a) $\Delta u = 6194 \ kJ/kg$

(b) $\Delta u = 6233 \ kJ/kg$

(C) $\Delta u = 6110 \ kJ/kg$

Qu-65

(a) $E_{in} - E_{out} = \Delta E_{syst}$

$0 = \Delta u$

$0 = mC_v(T_2 - T_1)$

من هنا نستنتج أن درجة الحرارة لم تتغير أيضاً

من المعادلة $T_2 - T_1 = zero$

* $\Delta K.E, \Delta P.E \neq Zero$
* النظام معزول ولم يُبذل عليه شغل لذلك الطرف الأيسر = صفر

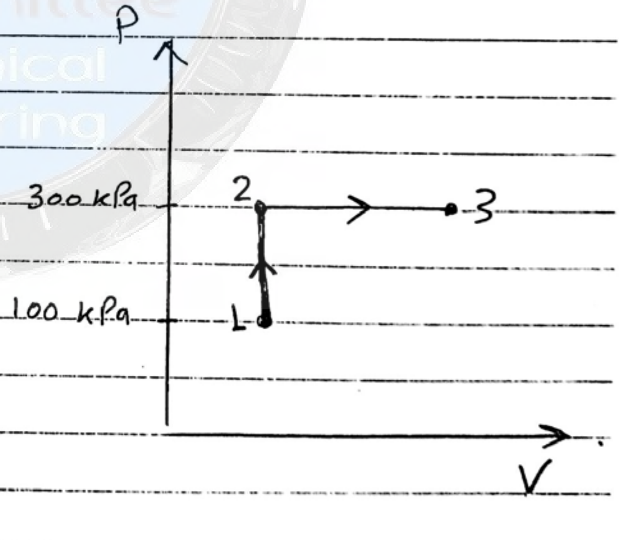
(b) $P_1V_1 = P_2V_2 \rightarrow P_2 = P_1 * \frac{V_1}{V_2} = \frac{P_1}{2}$

$P_2 = \frac{700}{2} kPa = 350 \ kPa$

Qu-75

State 1 → State 2 الحجم ثابت

State 2 → State 3 الضغط ثابت



$T_2 = T_1 \frac{P_2}{P_1} = 900 \ K$

$m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = 0.4646 \ kg$

$W_{b,out} = P_2(V_3 - V_2) = mR(T_3 - T_2) = 140 \ kJ$

$Q_{in} = W_{b,out} + mC_v(T_3 - T_1) = 340 \ kJ$

Q 4-118

(a) $T_1 = T_{sat\ at\ 125kPa} = 106\ °C$

$V_1 = m_f v_f + m_g v_g = 4.127\ m^3$

$V_3 = 1.2 V_1 = 4.953\ m^3$

$v_3 = \frac{V_3}{m} = 0.9905\ m^3/kg$

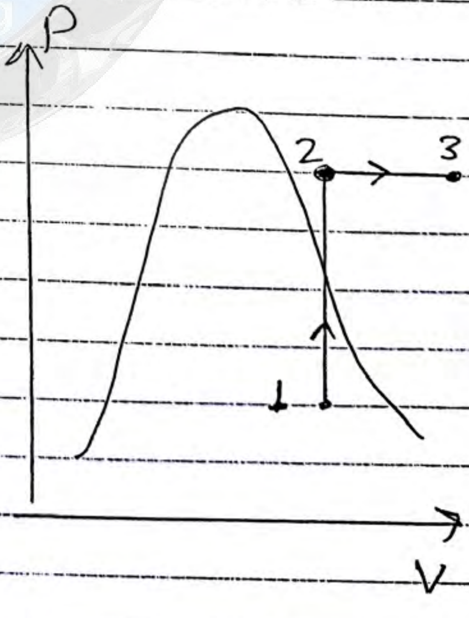
$\left.\begin{array}{l} P_3 = 300\ kPa \\ v_3 = 0.9905\ m^3/kg \end{array}\right\} T_3 = 373.6\ °C$

(b) $v_2 = \frac{V_2}{m} = 0.8254\ m^3 > v_{g\ at\ 300\ kPa}$

no liquid is left in the cylinder

(c) $W_b = \int_2^3 P\,dV = P_2(V_3 - V_2)$

$W_b = 247.6\ kJ$



1. A frictionless piston-cylinder device and a rigid tank contain 3 kmol of an ideal gas at the same temperature, pressure and volume. Now heat is transferred, and the temperature of both systems is raised by 10°C. The amount of extra heat that must be supplied to the gas in the cylinder that is maintained at constant pressure is:

(a) 0 kJ (b) 27 kJ (c) 83 kJ (d) 249 kJ (e)300 kJ

2. The specific heat of a material is given in a strange unit to be C = 3.60 kJ/kg.°F. The specific heat of this material in the SI units:

(a) 2.00 kJ/kg.°C (b) 3.20 kJ/kg.°C (c) 3.60 kJ/kg.°C

(d) 4.80 kJ/kg.°C (e) 6.48 kJ/kg.°C

3. A 3-m^3 rigid tank contains nitrogen gas at 500 kPa and 300 K. Now heat is transferred to the nitrogen in the tank and the pressure of nitrogen rises to 800 kPa. The work done during this process is:

(a) 500 kJ (b) 1500 kJ (c) 0 kJ (d) 900 kJ (e) 2400 kJ

4. A 0.5-m^3 cylinder contains nitrogen gas at 600 kPa and 300 K. Now the gas is compressed isothermally to a volume of 0.1 m . The work done on the gas during this compression process is :

(a) 720 kJ (b) 483 kJ (c) 240 kJ (d) 175 kJ (e) 143 kJ

5. A well-sealed room contains 60 kg of air at 200 kPa and 25°C. Now solar energy enters the room at an average rate of 0.8 kJ/s while a 120-W fan is turned on to circulate the air in the room. If heat transfer through the walls is negligible, the air temperature in the room in 30 min will be :

(a) 25.6°C (b) 49.8°C (c) 53.4°C (d) 52.5°C (e) 63.4°C

6. A 2-kW baseboard electric resistance heater in a vacant room is turned on and kept on for 15 min. The mass of the air in the room is 75 kg, and the room is tightly sealed so that no air can leak in or out. The temperature rise of air at the end of 15 min is

(a) 8.5°C (b) 12.4°C (c) 24.0°C (d) 33.4°C (e) 54.8°C

7. A room contains 75 kg of air at 100 kPa and 15°C. The room has a 250-W refrigerator (the refrigerator consumes 250 W of electricity when running), a 120-W TV, a 1.8-kW electric resistance heater, and a 50-W fan. During a cold winter day, it is observed that the refrigerator, the TV, the fan, and the electric resistance heater are running continuously but the air temperature in the room remains constant. The rate of heat loss from the room that day is:

(a) 5832 kJ/h (b) 6192 kJ/h (c) 7560 kJ/h (d) 7632 kJ/h (e) 7992 kJ/h

8. A piston-cylinder device contains 5 kg of air at 400 kPa and 30°C. During a quasi-equilibrium isothermal expansion process, 15 kJ of boundary work is done by the system, and 3 kJ of paddle-wheel work is done on the system. The heat transfer during this process:

(a) 12 kJ (b) 18 kJ (c) 2.4 kJ (d) 3.5 kJ (e) 60 kJ

9. A container equipped with a resistance heater and a mixer is initially filled with 3.6 kg of saturated water vapor at 120°C. Now the heater and the mixer are turned on; the steam is compressed, and there is heat loss to the surrounding air. At the end of the process, the temperature and pressure of steam in the container are measured to be 300°C and 0.5 MPa. The net energy transfer to the steam during this process is :

(a) 274 kJ (b) 914 kJ (c) 1213 kJ (d) 988 kJ (e) 1291 kJ

10. A 6-pack canned drink is to be cooled from 18°C to 3°C. The mass of each canned drink is 0.355 kg. The drinks can be treated as water, and the energy stored in the aluminum can itself is negligible. The amount of heat transfer from the 6 canned drinks is:

(a) 22 kJ (b) 32 kJ (c) 134 kJ (d) 187 kJ (e) 223 kJ

11. A glass of water with a mass of 0.45 kg at 20°C is to be cooled to 0°C by dropping ice cubes at 0°C into it. The latent heat of fusion of ice is 334 kJ/kg, and the specific heat of water is 4.18 kJ/kg.°C. The amount of ice that needs to be added is :

(a) 56 g (b) 113 g (c) 124 g (d) 224 g (e) 450 g

12- A 2-kW electric resistance heater submerged in 5-kg water is turned on and kept on for 10 min. During the process, 300 kJ of heat is lost from the water. The temperature rise of water is:

(a) 0.4°C (b) 43.1°C (c) 57.4°C (d) 71.8°C (e) 180.0°C

13. 1.5 kg of liquid water initially at 12°C is to be heated to 95°C in a teapot equipped with a 800 W electric heating element inside. The specific heat of water can be taken to be 4.18 kJ/kg.°C, and the heat loss from the water during heating can be neglected. The time it takes to heat the water to the desired temperature is:

(a) 5.9 min (b) 7.3 min (c) 10.8 min (d) 14.0 min (e) 17.0 min

14. An ordinary egg with a mass of 0.1 kg and a specific heat of 3.32 kJ/kg.°C is dropped into boiling water at 95°C. If the initial temperature of the egg is 5°C, the maximum amount of heat transfer to the egg is :

(a) 12 kJ (b) 30 kJ (c) 24 kJ (d) 18 kJ (e) infinity

15. An apple with an average mass of 0.18 kg and average specific heat of 3.65 kJ/kg.°C is cooled from 22°C to 5°C. The amount of heat transferred from the apple is :

(a) 0.85 kJ (b) 62.1 kJ (c) 17.7 kJ (d) 11.2 kJ (e) 7.1 kJ

16. The specific heat at constant pressure for an ideal gas is given by $c_p = 0.9+(2.7\times10^{-4})T$ (kJ/kg · K) where T is in kelvin. The change in the enthalpy for this ideal gas undergoing a process in which the temperature changes from 27 to 47°C is most nearly

(a) 19.7 kJ/kg (b) 22.0 kJ/kg (c) 25.5 kJ/kg (d) 29.7 kJ/kg (e) 32.1 kJ/kg

17. The specific heat at constant volume for an ideal gas is given by $c_v = 0.7+(2.7\times10^{-4})T$ (kJ/kg · K) where T is in kelvin. The change in the enthalpy for this ideal gas undergoing a process in which the temperature changes from 27 to 127°C is most nearly

(a) 70 kJ/kg (b) 72.1 kJ/kg (c) 79.5 kJ/kg (d) 82.1 kJ/kg (e) 84.0 kJ/kg

18. An ideal gas has a gas constant $R = 0.3$ kJ/kg·K and a constant-volume specific heat $c_v = 0.7$ kJ/kg·K. If the gas has a temperature change of 100°C, choose the correct answer for each of the following:

1. The change in enthalpy, in "kJ/kg" is :

(*a*) 30 (*b*) 70 (*c*) 100 (*d*) insufficient information to determine

2. The change in internal energy , in "kJ/kg" is :

(*a*) 30 (*b*) 70 (*c*) 100 (*d*) insufficient information to determine

3. The work done , in "kJ/kg" is :

(*a*) 30 (*b*) 70 (*c*) 100 (*d*) insufficient information to determine

4. The heat transfer , in "kJ/kg" is :
(*a*) 30 (*b*) 70 (*c*) 100 (*d*) insufficient information to determine

5. The change in the pressure-volume product , in "kJ/kg" is :
(*a*) 30 (*b*) 70 (*c*) 100 (*d*) insufficient information to determine

19. An ideal gas undergoes a constant temperature (isothermal) process in a closed system. The heat transfer and work are, respectively

(*a*) $0, -c_v\Delta T$ (*b*) $c_v\Delta T, 0$ (*c*) $c_p\Delta T, R\Delta T$ (*d*) $R\ln(T_2/T_1), R\ln(T_2/T_1)$

20. An ideal gas under goes a constant volume (isochoric) process in a closed system. The heat transfer and work are, respectively

(*a*) $0, -c_v\Delta T$ (*b*) $c_v\Delta T, 0$ (*c*) $c_p\Delta T, R\Delta T$ (*d*) $R\ln(T_2/T_1), R\ln(T_2/T_1)$

21. An ideal gas under goes a constant pressure (isobaric) process in a closed system. The heat transfer and work are, respectively

(*a*) $0, -c_v\Delta T$ (*b*) $c_v\Delta T, 0$ (*c*) $c_p\Delta T, R\Delta T$ (*d*) $R\ln(T_2/T_1), R\ln(T_2/T_1)$

22. An ideal gas under goes a constant entropy (isentropic) process in a closed system. The heat transfer and work are, respectively

(*a*) $0, -c_v\Delta T$ (*b*) $c_v\Delta T, 0$ (*c*) $c_p\Delta T, R\Delta T$ (*d*) $R\ln(T_2/T_1), R\ln(T_2/T_1)$

1. Ideal gas

$N = 3\ kmol$

$R_u = 8.314\ kJ/kmol.K$

$\Delta T = 10$

* استخدمنا R_u ولم نستخدم R لأننا لا نعرف نوع الغاز

* ليس لها علاقة لأنها فرق في درجة الحرارة سواء كانت الوحدة °C أو K

<u>Sol.</u>

$$Q = N * R_u * \Delta T$$

$$Q = 3 * 8.314 * 10 = 249.4\ kJ$$

2. * الفكرة في هذا السؤال هي أن نعلمك كيف تحول من $°F \leftrightarrow °C$.

$$C_{SI} = C * 1.8$$

$$= 3.6 * 1.8 = 6.48\ kJ/kg.°C$$

3. N_2 nitrogen "ideal gas"

rigid tank $\rightarrow V_1 = V_2 = 3\ m^3$

$P_1 = 500\ kPa,\ T_1 = 300\ K$ } state 1

$P_2 = 800\ kPa,\ T_2 = ??$ } state 2

<u>Sol.</u>

the work done during this process is "Zero" because the volume is constant

$$W = 0\ kJ$$

4. nitrogen N_2 "ideal gas"

$V_1 = 0.5 m^3$, $P_1 = 600 kPa$, $T_1 = 300K$ } state 1

$V_2 = 0.1 m^3$ state 2

isothermally $\xrightarrow{\text{تعني}}$ $n = 1$

$W_b = V_1 P_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

$W_b = 600 * 0.5 * \ln\left(\frac{0.1}{0.5}\right)$

$W_b = -482.8 \ kJ$ الإشارة السالبة تعني أننا عملنا شغل لضغط هذا الغاز

$W_b \simeq 483 \ kJ$

5. Air

$R_{air} = 0.287 \ kJ/kg.k$

$C_v = 0.718 \ kJ/kg.k$ لأن حجم الغرفة ثابت أما الضغط فيها فمتغير

$m = 60 \ kg$

$P = 200 \ kPa$

$T = 25 \ ^\circ C$

$Q_{solar} = 0.8 \ kW$

$W_{fan} = 0.12 \ kW$

time $= 30 \ min = 1800 \ S$

<u>Sol.</u> $E_{in} - E_{out} = \Delta E_{syst.}$

$t * (W_{fan} + Q_{sol}) = m * C_v * (T_2 - T_1)$

$T_2 = 63.4 \ ^\circ C$

6. Air

$R = 0.287 \ kJ/kg.K$

$C_v = 0.718 \ kJ/kg.K$

$m = 75 \ kg$

time = 15 min = 900 s

$\dot{W}_e = 2 \ kW$

<u>Sol.</u> $E_{in} - E_{out} = \Delta E_{sys}$

$$time * \dot{W}_e = C_v * m * \underbrace{(T_2 - T_1)}_{delta \ T \ \equiv \ temp. \ rise}$$

هذا المقدار هو المطلوب

$$\Delta T = \frac{900 * 2}{75 * 0.718}$$

$\Delta T = 33.4 \ °C$

7. Air

$C_v = 0.718 \ kJ/kg.K$

$m = 75 \ kg$

$P_1 = 100 \ kPa$, $T_1 = 15 \ °C$

time = 30 min = 1800 s

$W_{ref} = 0.25 \ kW$, $W_{fan} = 0.05 \ kW$, $W_{TV} = 0.12 \ kW$

$W_{heater} = 1.8 \ kW$

temp. remains constant $\xrightarrow{\text{تعني}}$ $\Delta T = \text{Zero}$

$dE = \text{Zero}$

<u>Sol.</u>

$E_{in} - E_{out} = \cancel{dE} \Rightarrow E_{in} = E_{out}$

$Q_{loss} = 3600 (0.25 + 0.05 + 0.12 + 1.8) = 7992 \ kJ/h$

8. Air , $C_v = 0.718$ kJ/kg.k

$m = 5$ kg

$P = 400$ kPa, $T = 30°C$

$W_b = 15$ kJ → "by the System" W_{out}

$W_p = 3$ kJ $\xrightarrow{\text{تعني}}$ "on the System" W_{in}

isothermal → T = const

Sol.

$$Q_{in} + W_{in} - W_{out} = \text{Zero}$$

$$Q_{in} + 3 - 15 = \text{Zero}$$

$$Q_{in} = +12 \text{ kJ}$$

9. Water H_2O

$m = 3.6$ kg $T_1 = 120°C$

$X_1 = 1$ "Saturated vapor"

$P_2 = 500$ kPa

$T_2 = 300°C$

Sol.

$$E_{in} = m * (u_2 - u_1)$$

$\left.\begin{array}{l} P_2 = 500 \text{ kPa} \\ T_2 = 300°C \end{array}\right\}$ Table A-6 S.H.V $u_2 = 2803.3$ kJ/kg

$\left.\begin{array}{l} T_1 = 120°C \\ X_1 = 1 \end{array}\right\}$ $u_1 = u_g = 2528.9$ kJ/kg

$$E_{in} = 3.6\,(2803.3 - 2528.9) = 988 \text{ kJ}$$

10. water "H_2O"

$C = 4.18\ kJ/kg.K$ table A-3.a

$m = 6 * 0.355 = 2.13\ kg$

$T_1 = 18\ ^\circ C$

$T_2 = 3\ ^\circ C$

Sol. $Q_{out} = m * C * \Delta T$

$= 2.13 * 4.18 * 15$

$Q_{out} = 133.55\ kJ \simeq 134\ kJ$

11. H_2O

$C = 4.18\ kJ/kg.K$

$h_{melting} = 334\ kJ$

$m_w = 0.45\ kg$

$T_1 = 20\ ^\circ C$, $T_2 = 0\ ^\circ C$

Sol.

$Q_{ice} + Q_w = zero$

$m_{ice} * h_{melting} = -m_w * C * \Delta T$, $\Delta T = T_2 - T_1$

$m_{ice} = \frac{-0.45 * 4.18 * -20}{334} = 0.1126\ kg$

$m_{ice} = 112.6\ g \simeq 113\ g$

12. H_2O

$C = 4.18\ kJ/kg.K$

$m = 5\ kg$

$Q_{loss} = 300\ kJ$

time $= 600\ s$

$W_e = 2\ kW$

Sol. time $* W_e - Q_{loss} = dU$

$dU = 900\ kJ$

$dU = m * C * (T_2 - T_1)$

$900 = 5 * 4.18 * \Delta T$

$\Delta T = 43.1\ ^\circ C$

13. H_2O , $C = 4.18\ kJ/kg.K$
$m = 1.5\ kg$
$T_1 = 12\ ^\circ C$
$T_2 = 95\ ^\circ C$
$W_e = 0.8\ kW$

Sol.

$time * W_e = m * C * \Delta T$

$time = \dfrac{1.5 * 4.18 * 83}{0.8} = \underline{\underline{650.5\ s}}$

$time = \dfrac{650.5}{60} = 10.8\ min$

انتبهوا للوحدات
أو للفصلين
بس أهم إشي لاتخربطوا بالامتحان

14. $C = 3.32\ kJ/kg.k$ "from table A-3.b" foods
$m = 0.1\ kg$
$T_1 = 5\ ^\circ C$
$T_2 = 95\ ^\circ C$

Sol. $E_{in} = m * C * \Delta T$
$E_{in} = 0.1 * 90 * 3.32 = 29.88\ kJ$
$E_{in} \approx 30\ kJ$

15. $C = 3.65\ kJ/kg.k$ table A-3.b "foods"
$m = 0.18\ kg$
$T_1 = 22\ ^\circ C$
$T_1 = 5\ ^\circ C$

Sol. $Q_{out} = m * C * \Delta T$

$Q_{out} = 11.2\ kJ$

16. $T_1 = 300\,k$
$T_2 = 320\,k$

* we must integrat this expression

$$C_p = 0.9 + (2.7 * 10^{-4})\,T$$

$$\Delta h = \int_{T_1}^{T_2} C_p = 0.9\,\Delta T + \left[\frac{2.7 * 10^{-4}}{2} * (320^2 - 300^2)\right]$$

$$\Delta h = 18 + 1.7 = 19.7\ kJ/kg$$

17.
$$\Delta h = \int_{T_1}^{T_2} C_v = 0.7\,\Delta T + \left[\frac{2.7 * 10^{-4}}{2} * (T_2^2 - T_1^2)\right]$$

$$\Delta h = 79.5\ kJ/kg$$

18-1.
$R = C_p - C_v$
$C_p = R + C_v$
$C_p = 1$
$\Delta h = C_p\,\Delta T = 100\ kJ/kg$

18-2.
$\Delta u = C_v\,\Delta T$
$= 0.7 * 100 = 70\ kJ/kg$

18-3. (d) insufficient information

18-4. (d) insufficient information

18-5. $PV = R\Delta T$

$PV = 0.3 * 100$

$PV = 30\ kJ/kg$

19. (d)

20. (b)

21. (c)

22. (a)

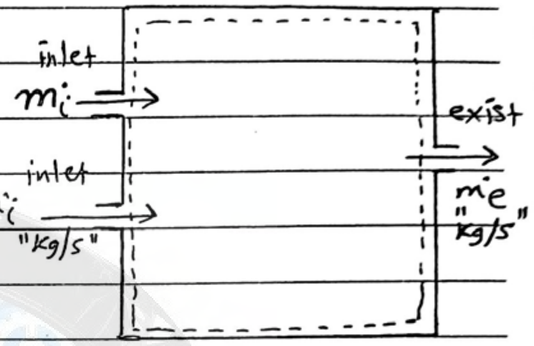
* عبارات مكتوبة على "تنكات المي" و "البكمات"

١. شط البحر مالح والناس كلّها مصالح
٢. عطة أسد ولا نظرة حسد
٣. لدغة عقرب ولا نظرة أجرب
٤. احترام الكبير واجب ← "خاص بالقلّابات"
٥. بس أكبر بفرجيكو ← "خاص بالسيارات الصغيرة mini"
٦. في ناس مثل "الجبر" دوم على جنبك
٧. في ناس مثل "الكلاتش" لازم تدوسه

* وغيرها الكثير من مصطلحات الديونجية وع وكرة هذا نوع
من ثقافتنا اللي بنكتسبها من الشارع ..... !!
هو بالله ترحموني

Chapter 5: Mass and Energy analysis of Control Volume "open system"

* $\sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_{out} = \frac{dm}{dt}$ "قانون حفظ الكتلة"



Control-volume system

* $\dot{Q} - \dot{W} + \dot{E}_{mass\,(in)} - \dot{E}_{mass\,(out)} = \frac{dE}{dt}$

$\dot{E}_{mass\,(in)} = \dot{m}_{in}\left(u_i + \frac{V_i^2}{2} + gZ_i + P_i v_i\right)$

but: $h_i = u_i + P_i v_i$

$\dot{E}_{mass\,(in)} = \dot{m}_i\left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gZ_i\right)$

$\dot{E}_{mass\,(out)} = \dot{m}_e\left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gZ_e\right)$

"الصيغة العامة لـ open syst."

$$\boxed{\dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}_i\left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gZ_i\right) - \sum \dot{m}_e\left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gZ_e\right) = \frac{dE}{dt}}$$

* Control-Volume system

1. Steady-flow
2. Unsteady-flow

1. Steady _ Flow system:

it means no change with time

or

mathematically: $\frac{dA}{dt} = \text{Zero}$, A: any Property

* الآن سوف نشتق العلاقات الخاصة بهذا النظام من العلاقات العامة Control-Volume

$$\sum \dot{m}_{in} - \sum \dot{m}_{out} = \underbrace{\cancel{\frac{dm}{dt}}}_{\text{Zero}}$$ لأن النظام "steady"

* $$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \quad \text{"kg/s"}$$

mass flow rate: $\dot{m} = \rho A V = \frac{AV}{v}$ "kg/s"

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right) - \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e\right) = \underbrace{\cancel{\frac{dE}{dt}}}_{\text{Zero}}$$

* $$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e\right) - \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right)$$

هنالك أشكال أخرى لهذا القانون مثلاً:

* $$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left[h_e - h_i + \frac{V_e^2 - V_i^2}{2} + g(z_e - z_i)\right]$$

✓ وذلك لأن $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out}$ وأخرجناها عامل مشترك فأصبح القانون ↑

* $$q - w = h_e - h_i + \frac{V_e^2 - V_i^2}{2} + g(z_e - z_i)$$

✓ وذلك لأن $q = \dot{Q}/\dot{m}$ & $w = \dot{W}/\dot{m}$ فلما قسمنا المعادلة على $\dot{m}$ أصبح

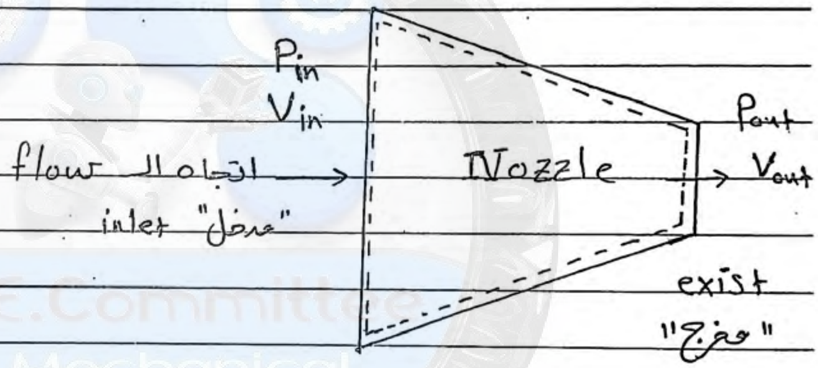
* Some steady-flow engineering devices
"applications of steady-flow"

1. Nozzles and Diffusers :

* يكثر استخدام هذين الجهازين في محركات الطائرات والمركبات الفضائية وخراطيم المياه وغيرها من التطبيقات العملية الهامة في الحياة

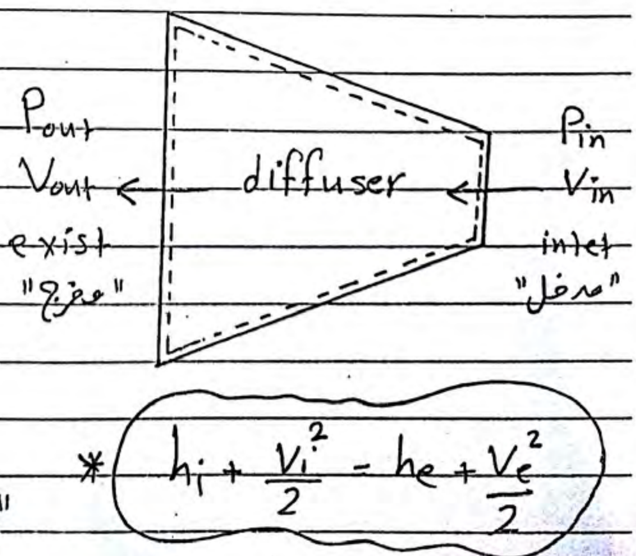
a. nozzles : جهاز يزيد من سرعة السائل على حساب الضغط "يقلل الضغط".

$V_{out} >> V_{in}$



b. diffusers : جهاز يزيد من ضغط السائل عن طريق تقليل سرعة السائل عكس الـ "nozzle" تماماً

$V_{out} << V_{in}$



* ملاحظة هامة :
في هذين الجهازين لا يوجد انتقال للحرارة مع المحيط تقريباً "$\dot{Q}=0$"
ولا يوجد شغل يُبذل "$W=0$"
ولا يوجد فرق في طاقة الوضع بين المدخل والمخرج "$\Delta P.e = zero$" فيصبح القانون هكذا

$$* \quad h_i + \frac{V_i^2}{2} = h_e + \frac{V_e^2}{2}$$

EXAMPLE 5–4 **Deceleration of Air in a Diffuser**

Air at 10°C and 80 kPa enters the diffuser of a jet engine steadily with a velocity of 200 m/s. The inlet area of the diffuser is 0.4 m². The air leaves the diffuser with a velocity that is very small compared with the inlet velocity. Determine (*a*) the mass flow rate of the air and (*b*) the temperature of the air leaving the diffuser.

(*a*)

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{0.287\ \text{kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{K})(283\ \text{K})}{80\ \text{kPa}} = 1.015\ \text{m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{m} = \frac{1}{v_1}V_1A_1 = \frac{1}{1.015\ \text{m}^3/\text{kg}}(200\ \text{m/s})(0.4\ \text{m}^2) = \mathbf{78.8\ kg/s}$$

(*b*)

$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\substack{\text{Rate of net energy transfer}\\ \text{by heat, work, and mass}}} = \underbrace{dE_{system}/dt^{\nearrow 0\ (\text{steady})}}_{\substack{\text{Rate of change in internal, kinetic,}\\ \text{potential, etc., energies}}} = 0$$

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

$$\dot{m}\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2}\right) = \dot{m}\left(h_2 + \frac{V_2^2}{2}\right) \qquad (\text{since } \dot{Q} \cong 0,\ \dot{W} = 0,\ \text{and } \Delta\text{pe} \cong 0)$$

$$h_2 = h_1 - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2}$$

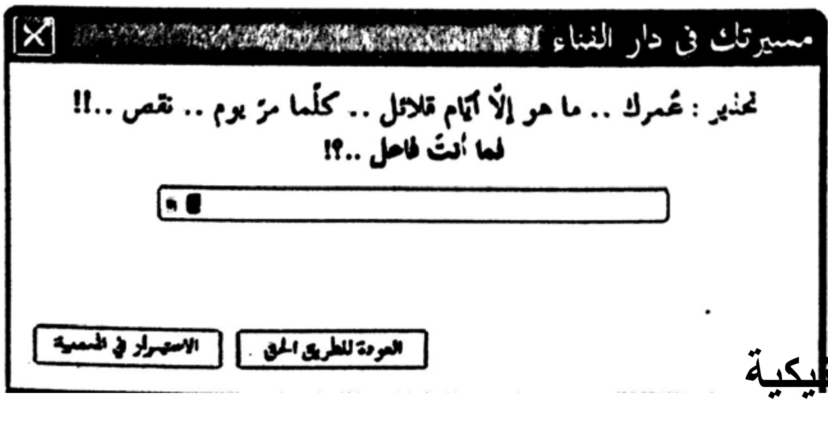
$$h_1 = h_{@\,283\ \text{K}} = 283.14\ \text{kJ/kg}$$

$$h_2 = 283.14\ \text{kJ/kg} - \frac{0 - (200\ \text{m/s})^2}{2}\left(\frac{1\ \text{kJ/kg}}{1000\ \text{m}^2/\text{s}^2}\right)$$

$$= 303.14\ \text{kJ/kg}$$

From Table A–17, the temperature corresponding to this enthalpy value is

$$T_2 = 303\ \text{K}$$

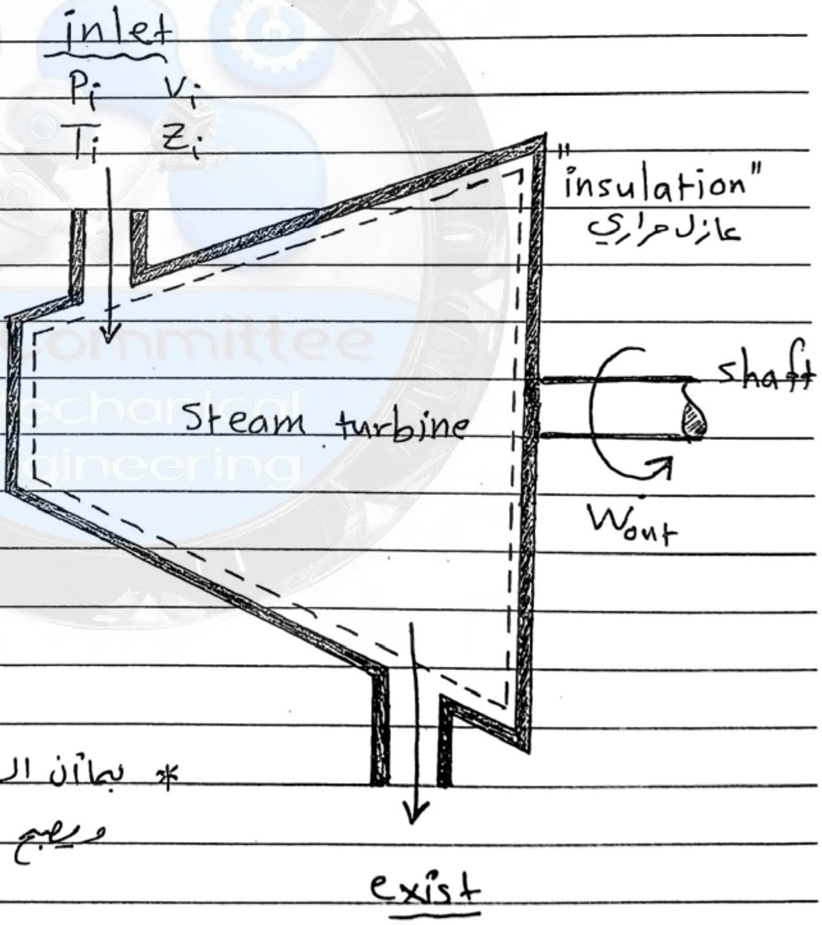


2. Turbines and Compressors :

* يُستخدم هذان الجهازان في " steam power plant " محطات توليد الطاقة

a. turbine :

* يستخدم هذا الجهاز كمولد للطاقة وذلك عن طريق مرور غاز "بخار ماء" من خلاله بضغط مرتفع وحرارة مرتفعة جداً ويحصل للغاز "expansion" بداخله عن طريق اصطدام الغاز بشفرات "blades" موجوده داخل الـ "turbine" مربوطة مع "shaft" أي عمود حركة يولد شغل ويخرج الغاز بضغط وحرارة منخفضتين



في الـ "turbine"

$P_i > P_e$
$T_i > T_e$

* بما أن الـ "turbine" معزول حرارياً اذن $Q = 0$
ويصبح الـ 1^{st} law كالتالي :

$$W = \left[h_i - h_e + \frac{V_i^2 - V_e^2}{2} + g(Z_i - Z_e) \right]$$

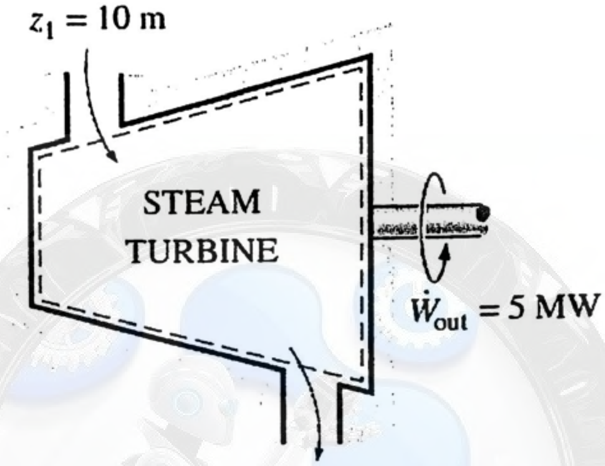
* انتبه أن الوحدة هي "KJ/kg"

* انتبه : وحدة K.E أي $\frac{V_i^2 - V_e^2}{2}$ هي Jole إذا أردتها بالـ KJ عوّض بـ $\frac{V_i^2 - V_e^2}{2000}$

EXAMPLE 5–7 Power Generation by a Steam Turbine

The power output of an adiabatic steam turbine is 5 MW, and the inlet and the exit conditions of the steam are as indicated in Fig. 5–28.

(*a*) Compare the magnitudes of Δh, Δke, and 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.



Solution

(*a*) At the inlet, steam is in a superheated vapor state, and its enthalpy is

$$\left.\begin{array}{l} P_1 = 2 \text{ MPa} \\ T_1 = 400°\text{C} \end{array}\right\} \quad h_1 = 3248.4 \text{ kJ/kg} \qquad \text{(Table A–6)}$$

$$h_2 = h_f + x_2 h_{fg} = [225.94 + (0.9)(2372.3)] \text{ kJ/kg} = 2361.01 \text{ kJ/kg}$$

Then

$$\Delta h = h_2 - h_1 = (2361.01 - 3248.4) \text{ kJ/kg} = \mathbf{-887.39 \text{ kJ/kg}}$$

$$\Delta ke = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = \frac{(180 \text{ m/s})^2 - (50 \text{ m/s})^2}{2}\left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2}\right) = \mathbf{14.95 \text{ kJ/kg}}$$

$$\Delta pe = g(z_2 - z_1) = (9.81 \text{ m/s}^2)[(6 - 10) \text{ m}]\left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2}\right) = \mathbf{-0.04 \text{ kJ/kg}}$$

(*b*) The energy balance for this steady-flow system can be expressed in the rate form as

$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\substack{\text{Rate of net energy transfer} \\ \text{by heat, work, and mass}}} = \underbrace{dE_{system}/dt}_{\substack{\text{Rate of change in internal, kinetic,} \\ \text{potential, etc., energies}}} \overset{\nearrow 0 \text{ (steady)}}{} = 0$$

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

$$\dot{m}\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1\right) = \dot{W}_{out} + \dot{m}\left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2\right) \qquad (\text{since } \dot{Q} = 0)$$

$$w_{out} = -\left[(h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)\right] = -(\Delta h + \Delta ke + \Delta pe)$$

$$= -[-887.39 + 14.95 - 0.04] \text{ kJ/kg} = \mathbf{872.48 \text{ kJ/kg}}$$

(*c*) The required mass flow rate for a 5-MW power output is

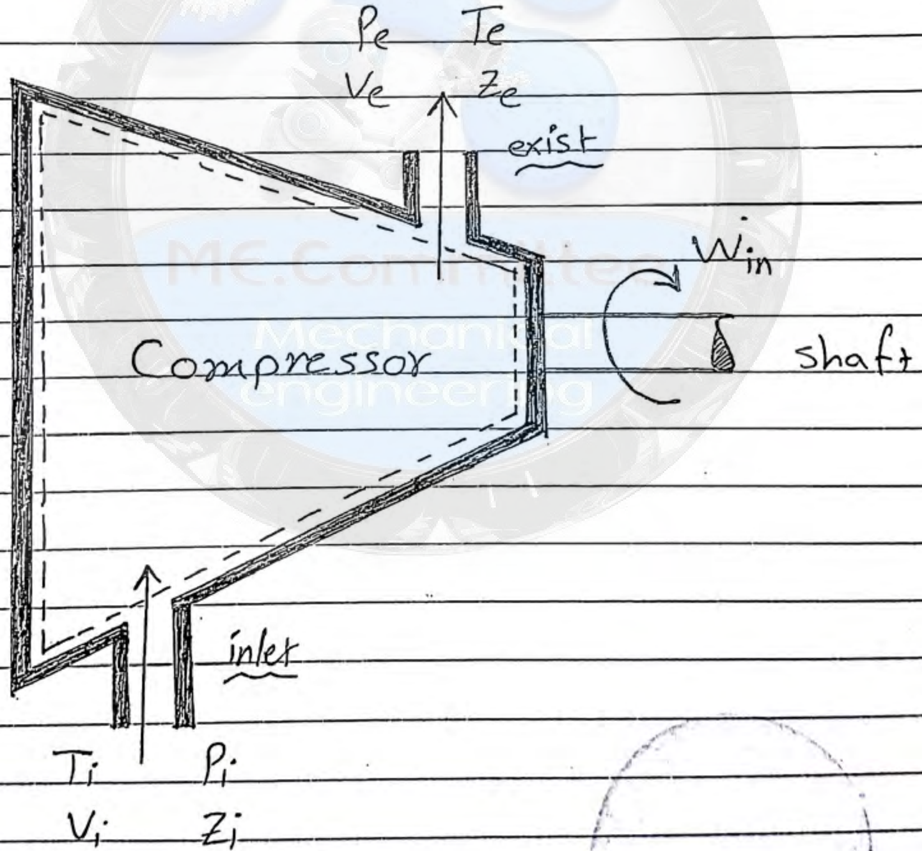
$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_{out}}{w_{out}} = \frac{5000 \text{ kJ/s}}{872.48 \text{ kJ/kg}} = \mathbf{5.73 \text{ kg/s}}$$

انا لست من عشاق ليلى أو بثينة أو سمر   أنا لست مجنونا ولا اهوى الربابة والوتر

إني أحن الى إلى صلاح إني احن الى عمر   أنا مسلم أحنو إلى صوت الرضاصة والحجر

b. Compressor:

* يستخدم هذا الجهاز لرفع ضغط الغازات
ويشبه بطريقة عمله طريقة عمل المضخات "pumps"
ولكن الـ "pumps" ترفع ضغط السوائل بدلاً من الغازات
ومن الجدير بالذكر أن هذا الجهاز يستهلك شغل
وطريقة عمله عكس طريقة عمل الـ "turbine"
بحيث يدخله الغاز بضغط وحرارة منخفضتين
ويُبذل على الغاز شغل بحيث يخرج الغاز
بضغط وحرارة مرتفعتين وقد يكون معزول أو لا يكون



EXAMPLE 5–6 Compressing Air by a Compressor

Air at 100 kPa and 280 K is compressed steadily to 600 kPa and 400 K. The mass flow rate of the air is 0.02 kg/s, and a heat loss of 16 kJ/kg occurs during the process. Assuming the changes in kinetic and potential energies are negligible, determine the necessary power input to the compressor.

Solution

$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\substack{\text{Rate of net energy transfer}\\ \text{by heat, work, and mass}}} = \underbrace{dE_{system}/dt}_{\substack{\text{Rate of change in internal, kinetic,}\\ \text{potential, etc., energies}}} \xrightarrow{\text{0 (steady)}} = 0$$

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

$$\dot{W}_{in} + \dot{m}h_1 = \dot{Q}_{out} + \dot{m}h_2 \qquad (\text{since } \Delta\text{ke} = \Delta\text{pe} \cong 0)$$

$$\dot{W}_{in} = \dot{m}q_{out} + \dot{m}(h_2 - h_1)$$

from table A-17

$$h_1 = h_{@\,280\text{ K}} = 280.13 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_{@\,400\text{ K}} = 400.98 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{W}_{in} = (0.02 \text{ kg/s})(16 \text{ kJ/kg}) + (0.02 \text{ kg/s})(400.98 - 280.13) \text{ kJ/kg}$$
$$= \mathbf{2.74 \text{ kW}}$$

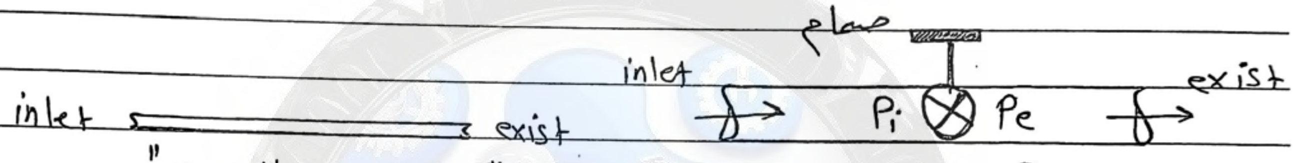
3. Throttling Valves :

* هي أنواع من الأنابيب تُسبب للمائع المار فيها هبوط في الضغط "Pressure drop"

والهبوط في الضغط يتبعه غالباً هبوط في درجة الحرارة

ويكثر استخدام هذا الجهاز في الثلاجات ومكيّفات الهواء

ويوجد منه أنواع كثيرة أشهرها :



"Capillary tube"

$P_i >> P_e$

* في هذا الجهاز لا يوجد شغل يُبذل ومنه $W = Zero$

ونعتبره دائماً "adiabatic" مما يعني أن $q = Zero$

ولا يوجد فرق في الارتفاع بين المدخل والمخرج ومنه $\Delta P.E = Zero$

ولا يوجد تغير ملحوظ في الطاقة الحركية ومنه $\Delta K.E = Zero$

فيصبح 1^{st} Law الخاص بهذا الجهاز كالتالي :

$$h_e = h_i \quad \text{"kJ/kg"}$$

or

$$u_e + P_e v_e = u_i + P_i v_i$$

* إذا كان المائع المار بالـ "throttling valve" هو ideal gase

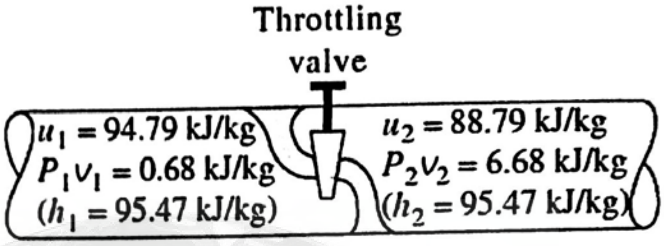
فإن درجة حرارته تبقى ثابتة .

يعني فيما يخص ideal gases ←

* $h_e = h_i$
* $T_e = T_i$

EXAMPLE 5–8 **Expansion of Refrigerant-134a in a Refrigerator**

Refrigerant-134a enters the capillary tube of a refrigerator as saturated liquid at 0.8 MPa and is throttled to a pressure of 0.12 MPa. Determine the quality of the refrigerant at the final state and the temperature drop during this process.



Solution

At inlet: $\left.\begin{array}{l} P_1 = 0.8 \text{ MPa} \\ \text{sat. liquid} \end{array}\right\} \begin{array}{l} T_1 = T_{sat @ 0.8 \text{ MPa}} = 31.31°\text{C} \\ h_1 = h_{f @ 0.8 \text{ MPa}} = 95.47 \text{ kJ/kg} \end{array}$ (Table A–12)

At exit: $\begin{array}{l} P_2 = 0.12 \text{ MPa} \\ (h_2 = h_1) \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} h_f = 22.49 \text{ kJ/kg} \quad T_{sat} = -22.32°\text{C} \\ h_g = 236.97 \text{ kJ/kg} \end{array}$

Obviously $h_f < h_2 < h_g$; thus, the refrigerant exists as a saturated mixture at the exit state. The quality at this state is

$$x_2 = \frac{h_2 - h_f}{h_{fg}} = \frac{95.47 - 22.49}{236.97 - 22.49} = 0.340$$

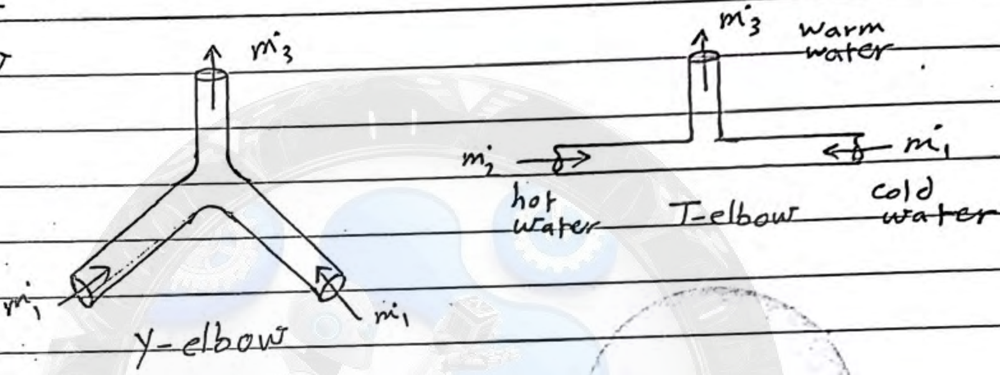
Since the exit state is a saturated mixture at 0.12 MPa, the exit temperature must be the saturation temperature at this pressure, which is −22.32°C. Then the temperature change for this process becomes

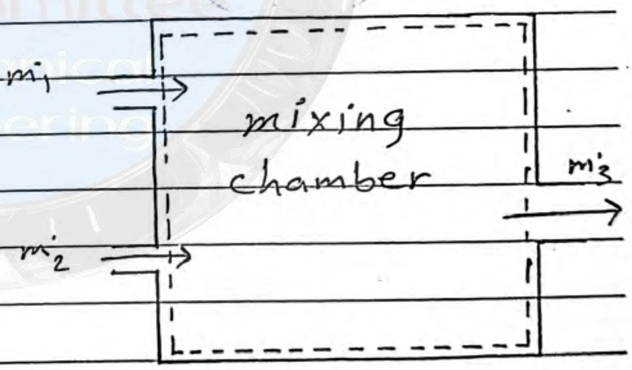
$$\Delta T = T_2 - T_1 = (-22.32 - 31.31)°\text{C} = -53.63°\text{C}$$

4. Mixing chambers:

* هو جهاز يستخدم لخلط نوعين من الموائع أو أكثر وله تطبيقات كثيرة في الصناعات والاستخدامات المنزلية وأهم استخداماته المنزلية الـ "shower" أو المغسلة وله أنواع كثيرة أشهرها

- T elbow
- Y-elbow





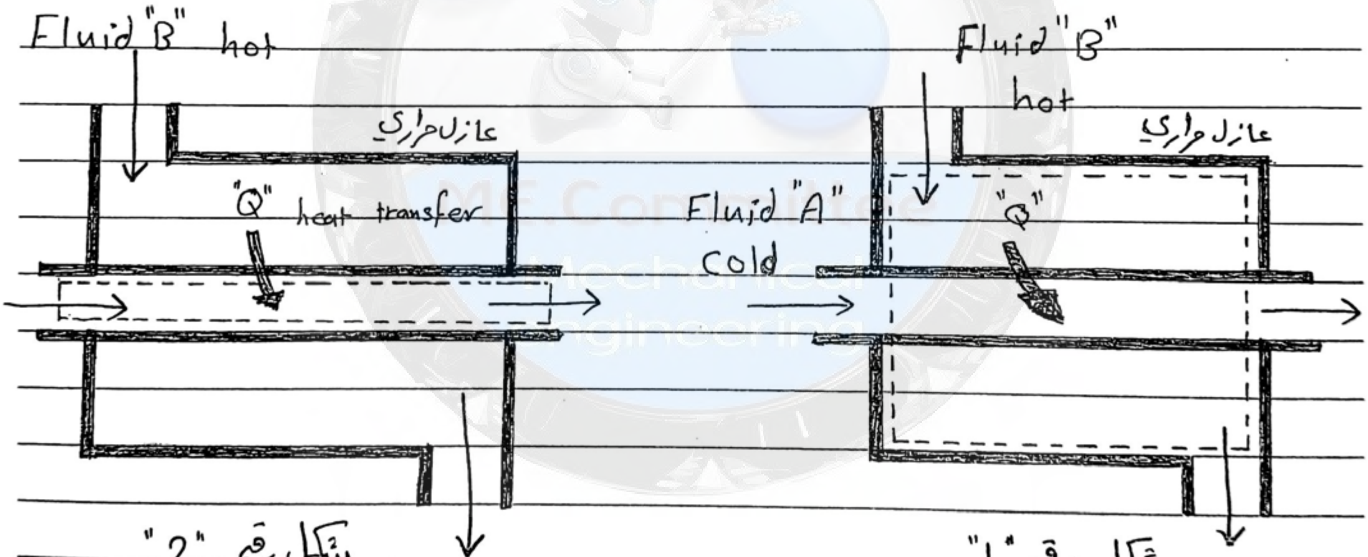
* في هذا الجهاز لا يوجد شغل يُبذل لذلك $W = Zero$
وفي العادة يكون معزول حرارياً مما يعني أن $q = Zero$
وعادةً نهمل التغير في طاقة الوضع $\Delta P.E = Zero$
ونهمل أيضاً التغير في الطاقة الحركية $\Delta K.E = Zero$

فيصبح 1^{st} Law الخاص بهذا الجهاز كالتالي

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

5. Heat Exchangers :

* هو جهاز يُستخدم لتبادل الحرارة بين مائعين أو أكثر دون أن يختلطا كما يحصل في الـ "mixing chamber" وله تطبيقات واسعة في مجال الصناعة وله أشكال كثيرة ومعقدة. أبسطها و "التي سنتعامل معها" ما يُسمى "double-tube" أو "tube and shell"
ويتكون من أنبوبين: أنبوب داخلي "inner pipe" وأنبوب خارجي "outer pipe"
ومبدأ عمله: يدخل المائع الأول بدرجة حرارة منخفضة من أحد الأنبوبين ويدخل معه المائع الثاني بدرجة حرارة مرتفعة من الأنبوب الآخر ويتم تبادل الحرارة بينهما دون أن يختلطا ويخرج المائع الأول بدرجة حرارة أعلى من التي دخل فيها ويخرج المائع الثاني بدرجة حرارة أقل من التي دخل فيها



شكل رقم "2" — شكل رقم "1"

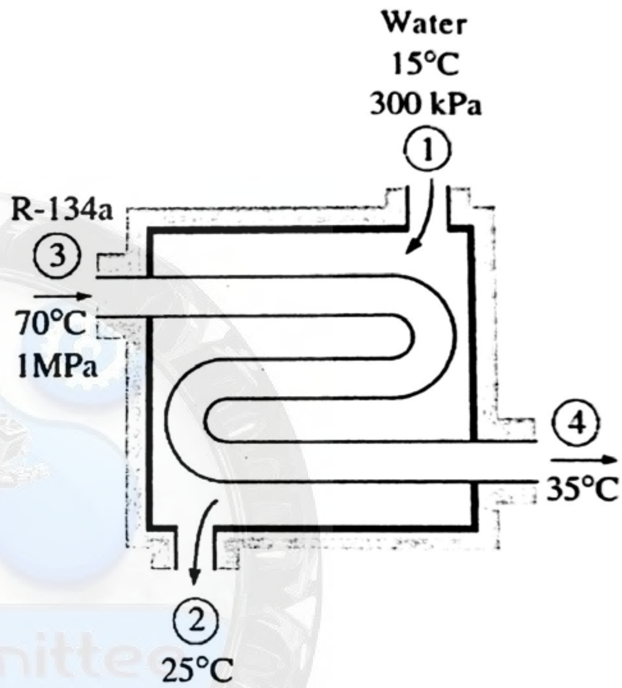
* هذا الجهاز لا يُبذل فيه شغل "W = zero" ولا يوجد تغير في طاقة الوضع أو الطاقة الحركية "$\Delta P.E, \Delta K.E$"
ولكن يجب الانتباه لـ "q" فهي تختلف بحسب الـ "boundary" في هذا الجهاز

* في شكل رقم "1" النظام الذي سندرسه هو كل الـ "heat exch." فلذلك "Q = Zero" لأن النظام معزول ولا تدخل أو تخرج حرارة من خلاله إلى المحيط "Surrounding"

* في شكل رقم "2" النظام الذي سندرسه هو فقط "inner pipe" مما يعني أنه توجد قيمة للـ "Q" لأن هناك حرارة تنتقل بين الأنبوبين

EXAMPLE 5–10 **Cooling of Refrigerant-134a by Water**

Refrigerant-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 and 70°C and leaves at 35°C. The cooling water enters at 300 kPa and 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.



Solution

(*a*)

Mass balance: $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out}$

for each fluid stream since there is no mixing. Thus,

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

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_R$$

$$\textit{Energy balance:}\quad \underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\substack{\text{Rate of net energy transfer}\\ \text{by heat, work, and mass}}} = \underbrace{dE_{system}/dt}_{\substack{\text{Rate of change in internal, kinetic,}\\ \text{potential, etc., energies}}}\overset{0\text{ (steady)}}{} = 0$$

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

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4 \qquad (\text{since } \dot{Q} \cong 0,\ \dot{W} = 0,\ \text{ke} \cong \text{pe} \cong 0)$$

Combining the mass and energy balances and rearranging give

$$\dot{m}_w(h_1 - h_2) = \dot{m}_R(h_4 - h_3)$$

$$h_1 \cong h_{f\,@\,15^\circ C} = 62.982 \text{ kJ/kg}$$
$$h_2 \cong h_{f\,@\,25^\circ C} = 104.83 \text{ kJ/kg} \qquad \text{(Table A–4)}$$

The refrigerant enters the condenser as a superheated vapor and leaves as a compressed liquid at 35°C. From refrigerant-134a tables,

$$\left.\begin{array}{l} P_3 = 1 \text{ MPa} \\ T_3 = 70^\circ\text{C} \end{array}\right\} \quad h_3 = 303.85 \text{ kJ/kg} \qquad \text{(Table A–13)}$$

$$\left.\begin{array}{l} P_4 = 1 \text{ MPa} \\ T_4 = 35^\circ\text{C} \end{array}\right\} \quad h_4 \cong h_{f\,@\,35^\circ C} = 100.87 \text{ kJ/kg} \qquad \text{(Table A–11)}$$

Substituting, we find

$$\dot{m}_w(62.982 - 104.83) \text{ kJ/kg} = (6 \text{ kg/min})[(100.87 - 303.85) \text{ kJ/kg}]$$
$$\dot{m}_w = \mathbf{29.1 \text{ kg/min}}$$

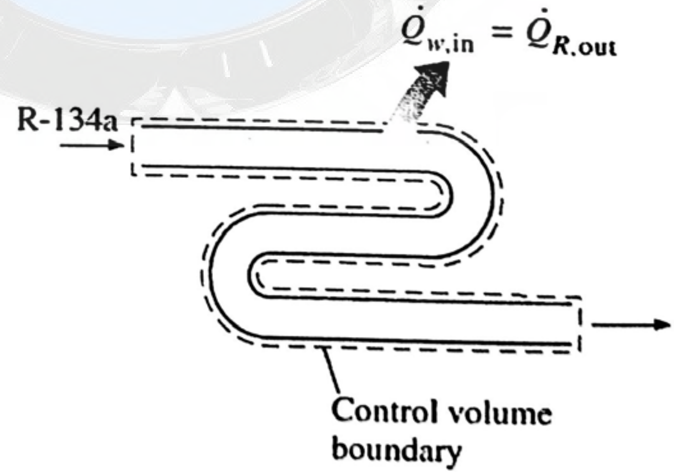
(*b*)

$$\underbrace{\dot{E}_{\text{in}} - \dot{E}_{\text{out}}}_{\substack{\text{Rate of net energy transfer} \\ \text{by heat, work, and mass}}} = \underbrace{dE_{\text{system}}/dt^{\nearrow 0 \text{ (steady)}}}_{\substack{\text{Rate of change in internal, kinetic,} \\ \text{potential, etc., energies}}} = 0$$

$$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}}$$
$$\dot{Q}_{w,\text{in}} + \dot{m}_w h_1 = \dot{m}_w h_2$$

Rearranging and substituting,

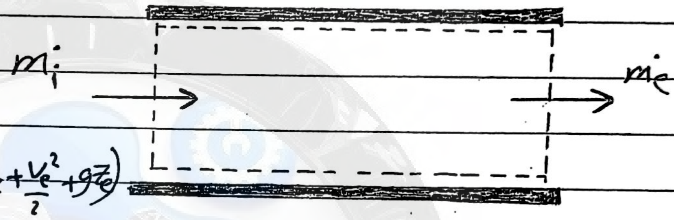
$$\dot{Q}_{w,\text{in}} = \dot{m}_w(h_2 - h_1) = (29.1 \text{ kg/min})[(104.83 - 62.982) \text{ kJ/kg}]$$
$$= \mathbf{1218 \text{ kJ/min}}$$



6. Pipe and Duct Flow:

* هي الأنابيب التي تُنقل فيها السوائل والغازات ولها أهمية كبيرة جداً في مجال الصناعة.

* $\dot{m}_i = \dot{m}_e$



* $\dot{Q} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i\right) = \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e\right)$

* لا يوجد شغل يُبذل في هذا الجهاز

$W = zero$

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم: استحيوا من الله حق الحياء، قالوا: يا رسول الله إنا لنستحي والحمد لله. قال: ليس ذلك ولكن من استحى من الله حق الحياء فليحفظ الرأس وما حوى والبطن وما وعى وليذكر الموت والبلى ومن أراد الآخرة ترك زينة الدنيا فمن فعل ذلك فقد استحى من الله حق الحياء.

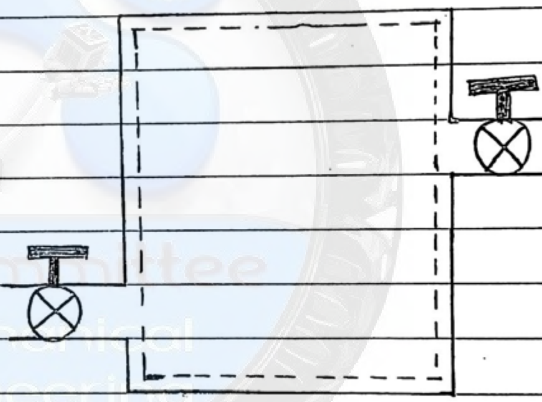
رائد الحوري
0788195339

* Energy Analysis of Unsteady Flow Processes

* $\frac{dm}{dt} \neq Zero$ ← "Unsteady" ببساطة معنى *

* $\sum m_i \neq \sum m_e$

* يعني أن نظام "Unsteady" يشبه "closed system" إلا أن الكتلة في نظام "Unsteady" لا تبقى ثابتة



* $\underbrace{\sum m_i}_{\text{مجموع الكتلة الداخلة إلى النظام}} - \underbrace{\sum m_e}_{\text{مجموع الكتلة الخارجة}} = \overbrace{\sum m_2}^{\text{مجموع الكتلة بعد انتهاء العملية}} - \underbrace{\sum m_1}_{\text{مجموع الكتلة قبل بدء العملية}}$

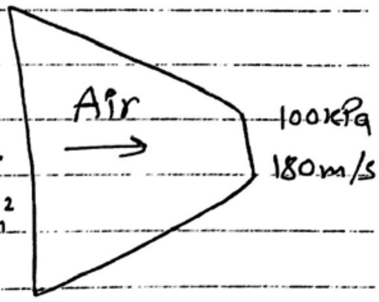
* $Q - W + \sum m_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i\right) - \sum m_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e\right) = m_2\left(u_2 + \frac{V^2}{2} + gz\right) - m_1\left(u_1 + \frac{V^2}{2} + gz\right)$

كيف ترقى رقيك الأولياء
يا سماءً ما طاولتها سماءُ
حنّ الجذع وهو جمادُ
عجيبٌ أن يجحدوا الأحياءُ

Chapter 5 homework

Q5-28

$P_1 = 300\ kPa$
$T_1 = 200\ °C$
$V_1 = 45\ m/s$
$A_1 = 110\ cm^2$



(a) $v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = 0.4525\ m^3/kg$

$\dot{m} = \frac{A_1 V_1}{v_1} = 1.094\ kg/s$

(b) $h_1 + \frac{V_1^2}{2} = h_2 + \frac{V_2^2}{2}$ 1^{st} Law بعد تطبيق *

$h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = 0$

$C_{p,avg}(T_2 - T_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2000} = 0$ * قسمنا على 2000 حتى تطلع الوحدة ب kJ

$T_2 = 185.2\ °C$

(c) $v_2 = \frac{RT_2}{P_2} = 1.315\ m^3/kg$

$\dot{m} = \frac{A_2 V_2}{v_2} = 79.9\ cm^2$

Q5-46

(a) $\Delta ke = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2000} = -1.95\ kJ/kg$

(b) $\dot{m}\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2}\right) = \dot{W}_{out} + \dot{m}\left(h_2 + \frac{V_2^2}{2}\right)$

$\dot{W}_{out} = -\dot{m}\left(h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2000}\right)$ - - - - *

$\left.\begin{array}{l} P_1 = 6\ MPa \\ T_1 = 400\ °C \end{array}\right\}$ $v_1 = 0.04742\ m^3/kg$, $h_1 = 3178.3\ kJ/kg$ A-4

تابع →

$P_2 = 40\,kPa$, $x_2 = 0.92$ } $h_2 = h_f + x_2 h_{fg} = 2318.5$

* الآن وبعد التعويض في معادلة (*)

$\dot{W}_{out} = 14.6\,MW$

(c) $\dot{m} = \frac{A_1 V_1}{v_1} = 0.0119\,m^2$

Q5-50

(a) $\dot{W}_{in} + \dot{m} h_1 = \dot{m} h_2$ ← 1^{st} Law * بعد تطبيق

$\dot{W}_{in} = \dot{m}(h_2 - h_1) = \dot{m} c_p (T_2 - T_1)$

$w_{in} = 285\,kJ/kg = c_p (T_2 - T_1)$

(b) $\dot{W}_{in} = \dot{m} c_p (T_2 - T_1)$

$\dot{m} = \frac{\dot{V}_1}{v_1}$, $v_1 = \frac{R T_1}{P_1} = 0.7008\,m^3/kg$

$\dot{m} = \frac{0.01}{0.7008} = 0.01427\,kg/s$

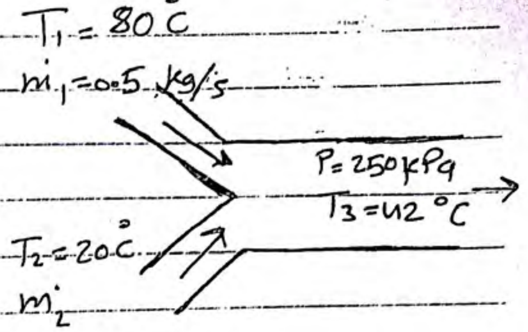
$\dot{W}_{in} = 4.068\,kW$

Q5-63 throttling valve $\equiv$ $h_1 = h_2$

$P_2 = 100\,kPa$, $T_2 = 120\,°C$ } table A-6, $h_2 = 2716.1\,kJ/kg$

$P_1 = 2000\,kPa$, $h_1 = h_2 = 2716.1$ } $x_1 = \frac{h_2 - h_f}{h_{fg}} = 0.957$

Q 5-72



$$\dot m_1 + \dot m_2 = \dot m_3 \quad \text{----} (1)$$

$$\dot m_1 h_1 + \dot m_2 h_2 = \dot m_3 h_3 \quad \text{----} (2)$$

* عوض من معادلة (1) في (2) بطلع معك التالي

$$\dot m_2 = \frac{h_1 - h_3}{h_3 - h_2} \dot m_1 = 0.865 \text{ kg/s}$$

الشطارة والمهارة يللي المفروض إنك تعلمتها ب ch-3 وهي كيف نستخرج h_1, h_2, h_3
من الجداول سأتركها لك عزيزي القارئ ..... "كأنكوا بتقروا بجريده صح ؟!"

Q 5-76

$$\dot m_1 = \dot m_2 = \dot m_w \quad , \quad \dot m_3 = \dot m_4 = \dot m_s$$

$$\dot m_w (h_2 - h_1) = \dot m_s (h_3 - h_4)$$

$$\dot m_w = \frac{h_3 - h_4}{h_2 - h_1} \dot m_s = \frac{h_3 - h_4}{c_p (T_2 - T_1)} \dot m_s$$

$$\dot m_w = 297.7 \text{ kg/s}$$

* حاول استخراج "h_3, h_4"
ولمعلوماتك $T_2 - T_1 = 10°C$

Q 5-111

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

$$m_i = m_2 \quad , \quad m_{out} = m_{initial} = \text{Zero}$$

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

$$m_i h_i = m_2 u_2$$

تابع →

$$u_2 = h_i$$

$$C_v T_2 = C_p T_i \rightarrow T_2 = \frac{C_p}{C_v} T_i$$

$$T_2 = k T_i = 406k = 133\ ^\circ C$$

Q5-116

(a) $T_2 = T_{sat\ at\ 200kPa} = 120.2\ ^\circ C$

(b) $m_{in} - m_{out} = \Delta m_{sys}$

$m_i = m_2 - m_1$ ——— (1)

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

$$W_{b,out} + m_2 u_2 - m_1 u_1 = m_i h_i$$

$$\underbrace{W_{b,out} + m_2 u_2 - m_1 u_1} - (m_2 - m_1) h_i$$

$$m_2 h_2 - m_1 h_1 - (m_2 - m_1) h_i$$

$$m_2 = \frac{h_i - h_1}{h_i - h_2} * m_1 = 29.07\ Kg$$

$m_i = m_2 - m_1$

$29.07 - 10 = 19.07\ Kg$

طبعاً لا تنسوا استخراج قيم h_1, h_2, h_i وللمساعدة إليك التالي :

$P_1 = 200kPa$, $X_1 = 0.8$ $\}$ $h_1 = h_f + x h_{fg}$

$P_i = 0.5MPa$, $T_i = 350\ ^\circ C$ $\}$ $h_i = 3168.1$

$P_2 = 200kPa$, Sat. Vapor $\}$ $h_2 = h_{g\ at\ 200kPa}$

Q5-123

$$Q_{in} = m_e h_e + m_2 u_2 - m_1 u_1$$

$P_e = 800\,kPa$ }
sat. liquid } $h_e = h_f = 95.47\ kJ/kg$

$P_1 = 800\,kPa$ } $\rightarrow u_f = \quad , u_g =$
$v_f = \quad , v_g =$

$P_2 = 800\,kPa$ }
Sat. vapor } $u_2 = u_g = 246.79\ kJ/kg$

$$m_1 = m_f + m_g = \frac{V_f}{v_f} + \frac{V_g}{v_g} = 38.98\ kg$$

$$m_2 = \frac{V}{v_2} = 4.684\ kg$$

$$m_e = m_1 - m_2 = 34.3\ kg$$

$$Q_{in} = 201.2\ kJ$$

1. Steam is accelerated by a nozzle steadily from a low velocity to a velocity of 280 m/s at a rate of 2.5 kg/s. If the temperature and pressure of the steam at the nozzle exit are 400°C and 2 MPa, the exit area of the nozzle is:

(a) 8.4 cm^2 (b) 10.7 cm^2 (c) 13.5 cm^2 (d) 19.6 cm^2 (e) 23.0 cm^2

2. Steam enters a diffuser steadily at 0.5 MPa, 300°C, and 122 m/s at a rate of 3.5 kg/s. The inlet area of the diffuser is:

(a) 15 cm^2 (b) 50 cm^2 (c) 105 cm^2 (d) 150 cm^2 (e) 190 cm^2

3. An adiabatic heat exchanger is used to heat cold water at 15°C entering at a rate of 5 kg/s by hot air at 90°C entering also at rate of 5 kg/s. If the exit temperature of hot air is 20°C, the exit temperature of cold water is:

(a) 27°C (b) 32°C (c) 52°C (d) 85°C (e) 90°C

4. A heat exchanger is used to heat cold water at 15°C entering at a rate of 2 kg/s by hot air at 85°C entering at rate of 3 kg/s. The heat exchanger is not insulated, and is loosing heat at a rate of 25 kJ/s. If the exit temperature of hot air is 20°C, the exit temperature of cold water is:

(a) 28°C (b) 35°C (c) 38°C (d) 41°C (e) 80°C

5. An adiabatic heat exchanger is used to heat cold water at 15°C entering at a rate of 5 kg/s by hot water at 90°C entering at rate of 4 kg/s. If the exit temperature of hot water is 50°C, the exit temperature of cold water is:

(a) 42°C (b) 47°C (c) 55°C (d) 78°C (e) 90°C

6. In a shower, cold water at 10°C flowing at a rate of 5 kg/min is mixed with hot water at 60°C flowing at a rate of 2 kg/min. The exit temperature of the mixture will be :

(a) 24.3°C (b) 35.0°C (c) 40.0°C (d) 44.3°C (e) 55.2°C

7. In a heating system, cold outdoor air at 7°C flowing at a rate of 4 kg/min is mixed adiabatically with heated air at 70°C flowing at a rate of 3 kg/min. The exit temperature of the mixture is:

(a) 34°C (b) 39°C (c) 45°C (d) 63°C (e) 77°C

8. Hot combustion gases (assumed to have the properties of air at room temperature) enter a gas turbine at 1 MPa and 1500 K at a rate of 0.1 kg/s, and exit at 0.2 MPa and 900 K. If heat is lost from the turbine to the surroundings at a rate of 15 kJ/s, the power output of the gas turbine is :

(a) 15 kW (b) 30 kW (c) 45 kW (d) 60 kW (e) 75 kW

9. Steam expands in a turbine from 4 MPa and 500°C to 0.5 MPa and 250°C at a rate of 1350 kg/h. Heat is lost from the turbine at a rate of 25 kJ/s during the process. The power output of the turbine is:

(a) 157 kW (b) 207 kW (c) 182 kW (d) 287 kW (e) 246 kW

10. Steam is compressed by an adiabatic compressor from 0.2 MPa and 150°C to 0.8 MPa and 350°C at a rate of 1.30 kg/s. The power input to the compressor is :

(a) 511 kW (b) 393 kW (c) 302 kW (d) 717 kW (e) 901 kW

11. Refrigerant-134a is compressed by a compressor from the saturated vapor state at 0.14 MPa to 0.9 MPa and 60°C at a rate of 0.108 kg/s. The refrigerant is cooled at a rate of 1.10 kJ/s during compression. The power input to the compressor is :

(a) 4.94 kW (b) 6.04 kW (c) 7.14 kW (d) 7.50 kW (e) 8.13 kW

12. Refrigerant-134a expands in an adiabatic turbine from 1.2 MPa and 100°C to 0.18 MPa and 50°C at a rate of 1.25 kg/s. The power output of the turbine is :

(a) 46.3 kW (b) 66.4 kW (c) 72.7 kW (d) 89.2 kW (e) 112.0 kW

13. Refrigerant-134a at 1.4 MPa and 90°C is throttled to a pressure of 0.6 MPa. The temperature of the refrigerant after throttling is :

(a) 22°C (b) 56°C (c) 82°C (d) 80°C (e) 90.0°C

14. Air at 27°C and 5 atm is throttled by a valve to 1 atm. If the valve is adiabatic and the change in kinetic energy is negligible, the exit temperature of air will be :

(a) 10°C (b) 15°C (c) 20°C (d) 23°C (e) 27°C

15. Steam at 1 MPa and 300°C is throttled adiabatically to a pressure of 0.4 MPa. If the change in kinetic energy is negligible, the specific volume of the steam after throttling will be :

(a) 0.358 m^3/kg (b) 0.233 m^3/kg (c) 0.375 m^3/kg
(d) 0.646 m^3/kg (e) 0.655 m^3/kg

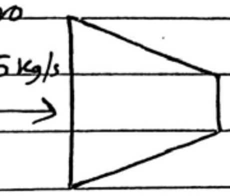
16. Air is to be heated steadily by an 8-kW electric resistance heater as it flows through an insulated duct. If the air enters at 50°C at a rate of 2 kg/s, the exit temperature of air will be :

(a) 46.0°C (b) 50.0°C (c) 54.0°C (d) 55.4°C (e) 58.0°C

17. Saturated water vapor at 40°C is to be condensed as it flows through a tube at a rate of 0.20 kg/s. The condensate leaves the tube as a saturated liquid at 40°C. The rate of heat transfer from the tube is

(a) 34 kJ/s (b) 481 kJ/s (c) 2406 kJ/s (d) 514 kJ/s (e) 548 kJ/s

1. H_2O



Sol.

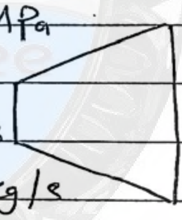
$P_2 = 2\,MPa$ } Table A-6
$T_2 = 400\,°c$ } $v = 0.15122\ m^3/kg$

$\dot{m} = \dfrac{A_2\, V_{el}}{v_2} \rightarrow A_2 = \dfrac{2.5 * 0.15122}{280}$

$A_2 = 1.35 * 10^{-3}\ m^2 \quad * 10^4$

$A_2 = 13.5\ cm^2$

2. H_2O



$P_1 = 0.5\,MPa$ } Table A-6
$T_1 = 300\,°c$ } $v = 0.52261\ m^3/kg$

$\dot{m} = \dfrac{A_1\, V_{el}}{v_1}$

$A_1 = \dfrac{\dot{m} * v_1}{V_{el}} = \dfrac{3.5 * 0.52261}{122} = 0.01499\ m^2$

$A_1 = 0.01499 * 10^4 = 150\ cm^2$

3. $C_w = 4.18 \ kJ/kg.C$
$Cp_{air} = 1.005 \ kJ/kg.C$

$T_{w1} = 15\,^\circ C$ $T_{air1} = 90\,^\circ C$ $\dot{m}_{air} = 5 \ kg/s$
$\dot{m}_w = 5 \ kg/s$ $T_{air2} = 20\,^\circ C$

Sol.

$\dot{m}_{air} \, Cp_{air} \, \Delta T = \dot{m}_w * C_w \, \Delta T$

$\cancel{5} * 1.005 * 70 = \cancel{5} * 4.18 * (T_2 - 15)$

$T_2 - 15 = 16.8$

$T_2 = 32\,^\circ C$

4. $C_w = 4.18 \ kJ/kg.C$

$T_{cold1} = 15\,^\circ C$ $T_{hot1} = 90\,^\circ C$
$T_{cold2} = ???$ $T_{hot2} = 50\,^\circ C$

$\dot{m}_{cold} = 5 \ kg/s$ $\dot{m}_{hot} = 4 \ kg/s$

adiabatic $\xrightarrow{\text{تعني}}$ $Q_{loss} = \text{zero}$

Sol.

$\dot{m}_{hot} * C_w * (T_{hot1} - T_{hot2}) = \dot{m}_{cold} * C_w * (T_{cold2} - T_{cold1})$

$668.6 = 20.9 \, (T_{cold2} - 15)$

$T_{cold2} = 47\,^\circ C$

6. H_2O
shower $\xrightarrow{\text{تعني}}$ mixing chamber
$C_w = 4.18$ kJ/kg.c

$T_{cold\,1} = 10\,^{\circ}C$, $\dot{m}_{cold} = 5$ kg/min

$T_{hot\,1} = 60\,^{\circ}C$, $\dot{m}_{hot} = 2$ kg/min

Sol.

* حتى توفر على حالك وقت في الامتحان
اكتب معادلة الحل ثم حوّل وحدات المقادير في السؤال
إذا كان يلزم ذلك وإذا ما بلزم ذلك بتكون وفرت وقت على نفسك

$$[\dot{m}_{hot} * C_w * T_{hot}] + [\dot{m}_{cold} * C_w * T_{cold}] = (\dot{m}_{hot} + \dot{m}_{cold}) * C_w * T_{mix}$$

$$(2 * 4.18 * 60) + (5 * 4.18 * 10) = (5+2) * 4.18 * T_{mix}$$

$$\frac{710.6}{29.26} = T_{mix} = 24.3\,^{\circ}C$$

7. $C_{air} = 1.005$ kJ/kg.c

$T_{cold\,1} = 7\,^{\circ}C$, $T_{hot\,1} = 70\,^{\circ}C$
$\dot{m}_{cold} = 4$ kg/min , $\dot{m}_{hot} = 3$ kg/min

Sol.

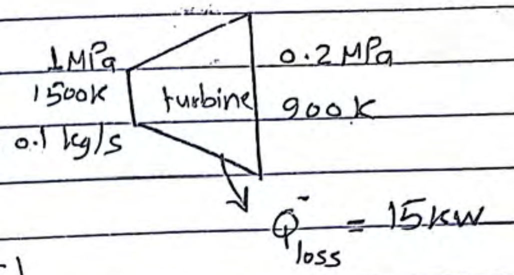
$$[\dot{m}_{hot} * C_{air} * T_{hot}] + [\dot{m}_{cold} * C_{air} * T_{cold}] = (\dot{m}_{hot} + \dot{m}_{cold}) * C_{air}\, T_{mix}$$

$$(3 * 1.005 * 70) + (4 * 1.005 * 7) = (4+3) * 1.005 * T_{mix}$$

$$T_{mix} = 34\,^{\circ}C$$

8. Air

$C_{p\,air} = 1.005 \text{ kJ/kg}\cdot{}^\circ C$



Sol.

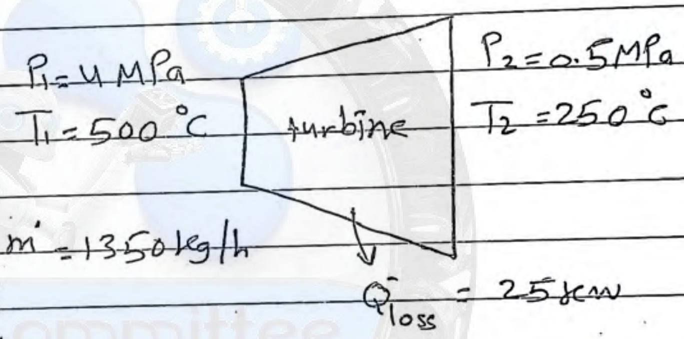
$$\dot{W} + \dot{Q}_{loss} = \dot{m} * C_p (T_1 - T_2)$$

$$\dot{W} + 15 = 60.3$$

$$\dot{W} = 45 \text{ kW}$$

9.

H_2O



$P_1 = 4$ MPa, $T_1 = 500\,^\circ C$ } from table A-6, $h_1 = 3446$ kJ/kg

$P_2 = 0.5$ MPa, $T_2 = 250\,^\circ C$ } from table A-6, $h_2 = 2961$ kJ/kg

Sol.

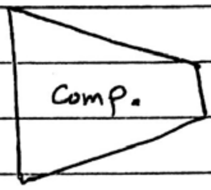
$$\dot{W} + \dot{Q}_{loss} = \dot{m}\,(h_1 - h_2)$$

$$\dot{W} + 25 = 1350 \frac{kg}{h} * \frac{1h}{3600\,s} (3446 - 2961)$$

$$\dot{W} = 181.9 - 25$$

$$\dot{W} = 157 \text{ kW}$$

10. H_2O $P_1 = 0.2MPa$ $T_1 = 150°C$



$0.8MPa$ $350°C$

adiabatic $\rightarrow Q_{loss} = Zero$

$\dot{m} = 1.3\ kg/s$

$P_1 = 200kPa$, $T_1 = 150°C$ } from table A-6, $h_1 = 2769.1\ kJ/kg$

$P_2 = 800kPa$, $T_2 = 350°C$ } from table A-6, $h_2 = 3162.2\ kJ/kg$

Sol.

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

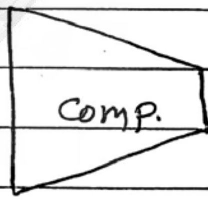
$$\dot{W} = 1.3(3162.2 - 2769.1)$$

$$\dot{W} = 511\ kW$$

11. Refrigerant-134a

$P_1 = 0.14MPa$

Saturated vapor $\xrightarrow{\text{تعني}}$ $X_1 = 1$



$P_2 = 0.9MPa$ $T_2 = 60°C$

$P_1 = 140kPa$, $X_1 = 1$ } from table A-12, $h_1 = h_g = 239.16\ kJ/kg$

$\dot{m} = 0.108\ kg/s$ $\dot{Q}_{loss} = 1.1\ kW$

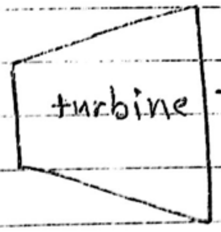
$P_2 = 900kPa$, $T_2 = 60°C$ } from table A-13, $h_2 = 295.13\ kJ/kg$

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

$$\dot{W} - 1.1 = 0.108(295.13 - 239.16) \quad = 7.14\ kW$$

12. Refrigerant – 134a

$P_1 = 1.2\,MPa$
$T_1 = 100\,°C$



$P_2 = 0.18\,MPa$
$T_2 = 50\,°C$

adiabatic $\xrightarrow{\text{تعني}}$ $\dot{Q} = $ Zero

$\dot{m} = 1.25\ kg/s$

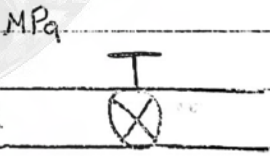
$\left.\begin{array}{l} P_1 = 1200\,kPa \\ T_1 = 100\,°C \end{array}\right\}$ from table A-13
$h_1 = 332.73\ kJ/kg$

$\left.\begin{array}{l} P_2 = 180\,kPa \\ T_2 = 50\,°C \end{array}\right\}$ from table A-13
$h_2 = 296.98\ kJ/kg$

$\dot{W} = \dot{m}\,(h_2 - h_1)$
$\dot{W} = 1.25\,($

13. Ref – 134a

$P_1 = 1.4\,MPa$
$T_1 = 90\,°C$



$P_2 = 0.6\,MPa$
$T_2 = ??$

throttling $\xrightarrow{\text{تعني}}$ $h_1 = h_2$

$\left.\begin{array}{l} P_1 = 1400\ kPa \\ T_1 = 90\ °C \end{array}\right\}$ $h_1 = 319.37\ kJ/kg = h_2$

$\left.\begin{array}{l} P_2 = 600\,kPa \\ h_2 = 319.37\ kJ/kg \end{array}\right\}$ from table A-13
بعد التأكد من جدول A-12

$T_2 = 80\ °C$

14. Air "ideal gas"

$T_1 = T_2 = 27\ ^\circ C$

* تذكرة في حالة ideal gas
في عمليات throttling
تكون $T_1 = T_2$

15. H_2O

$P_1 = 1\ MPa$, $T_1 = 300\ ^\circ C$ → $P_2 = 0.4\ MPa$, $v_2 = ??$

$h_1 = h_2$

$\left.\begin{array}{l} P_1 = 1000\ kPa \\ T_1 = 300\ ^\circ C \end{array}\right\}$ form table A-6 $h_1 = 3051.6\ kJ/kg$

$\left.\begin{array}{l} h_2 = 3051.6\ kJ/kg \\ P_2 = 400\ kPa \end{array}\right\}$ * from table A-6 we must make interpolation as that:

$P_2 = 0.4\ MPa$

v	h
0.5952	2964.5
X	3051.6
0.65489	3067.1

$$\frac{X - 0.5952}{3051.6 - 2964.5} = \frac{0.65489 - 0.5952}{3067.1 - 2964.5}$$

$X = v_2 = 0.646\ m^3/kg$

16. Air

$C_p = 1.005\ kJ/kg.C$
$T_1 = 50\ °C$
$\dot{m} = 2\ kg/s$
$\dot{W} = 8\ kW$

Sol. $\dot{W} = \dot{m} * c_p * (T_2 - T_1)$
$8 = 2 * 1.005\ (T_2 - 50)$
$T_2 = 54\ °C$

17. H_2O
Saturated water vapor $\xrightarrow{\text{تغير}}$ mixture "x = number"
$T_1 = 40\ °C$
$\dot{m} = 0.2\ kg/s$

$\left.\begin{array}{l} T_1 = 40\ °C \\ \text{mixturer} \end{array}\right\}$ from table A-4
$h_{fg} = 2406\ kJ/kg$

$\dot{Q} = \dot{m} * h_{fg}$

$\dot{Q} = 0.2\ \frac{kg}{s} * 2406\ \frac{kJ}{kg} \simeq 481\ \frac{kJ}{s}$ "kw"

chapter6: The Second Law of Thermodynamics

* 2nd Law of thermodynamics: is expressed as the entropy of an isolated system never decreases but it's increases or remains Constant for a reversible process

* the second Law also asserts "يؤكد" that energy has quality "قيمة" and quantity "كمية" and actual processes occur in the direction of decreasing quality of energy.

* the 1st Law is concerned with the quantity of energy and the transformations of energy from one to anther with no regard to it's quality.

* Thermal Energy Reservoir:

is a hypothetical "افتراضي" body with a relatively larg thermal energy capacity that can supply or absorb finit amounts of heat without undergoing any change in temperature.

* بمعنى آخر هو جسم نعطيه حرارة ولا يسخن أو نأخذ منه حرارة ولا يبرد وذلك لأن سعته الحرارية كبيرة جداً مثل: المحيط أو الجو

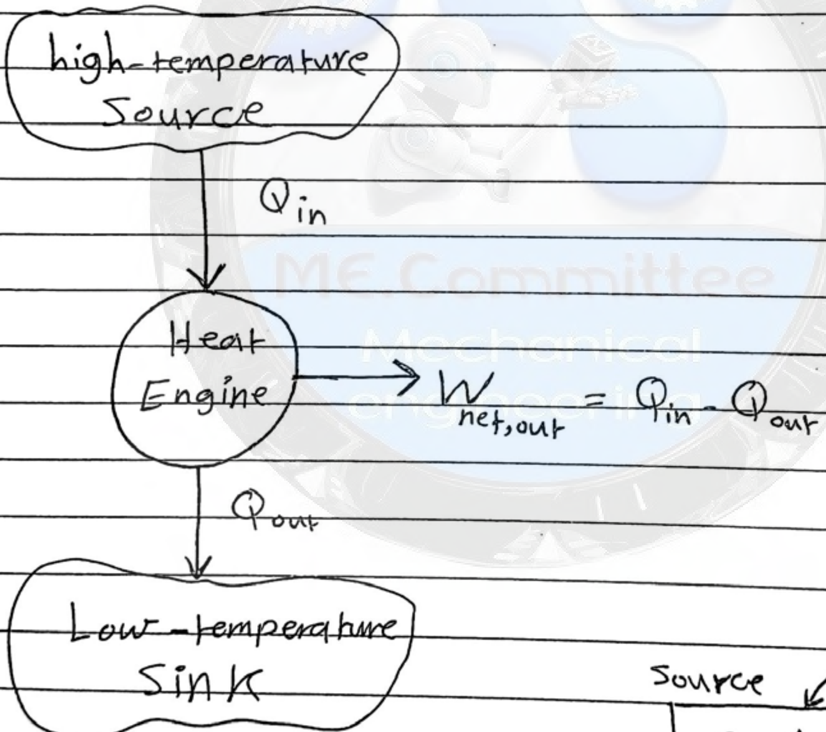
* Source: A reservoir that supplies energy "heat"

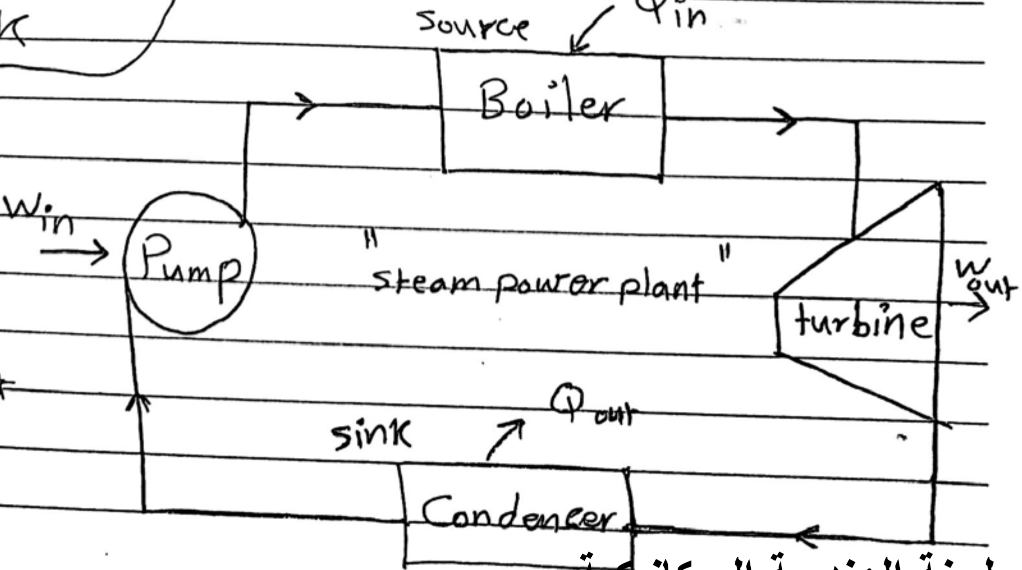
* sink: A reservoir that absorbs energy "heat"

* Heat Engines

* هي الأجهزة التي تقوم بتحويل الـ "heat" إلى "work"

ملاحظة: من السهولة أن نحوّل الـ "work" إلى "heat" والعكس ليس صحيح





* $W_{net,out} = W_{out} - W_{in}$

* $W_{net,out} = Q_{in} - Q_{out}$

* Thermal Efficiency "η_{th}" الكفاءة الحرارية

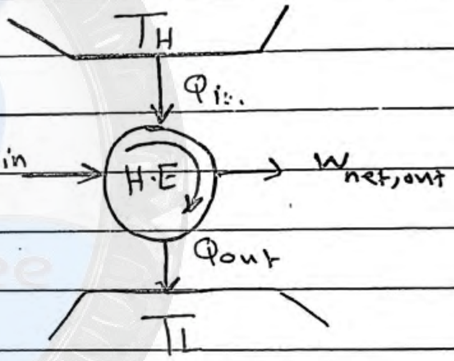
is the fraction of the heat input that is converted to net work output

* thermal efficiency = $\dfrac{\text{net work output}}{\text{total heat input}}$

* $\eta_{th} = \dfrac{W_{net,out}}{Q_{in}}$, also

* $\eta_{th} = 1 - \dfrac{Q_{out}}{Q_{in}}$, also

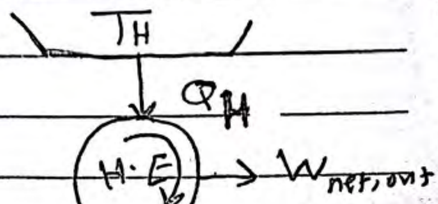
* $\eta_{th} = 1 - \dfrac{Q_L}{Q_H}$



Kelvin-Plank Statement

It's impossible for any device that operates on a cycle to receive heat from a single reservoir and produce a net amount of work.

X ما بصير ، يعني لازم يستلم حرارة من مصدر ويدي جزء منها ويحول الباقي إلى شغل

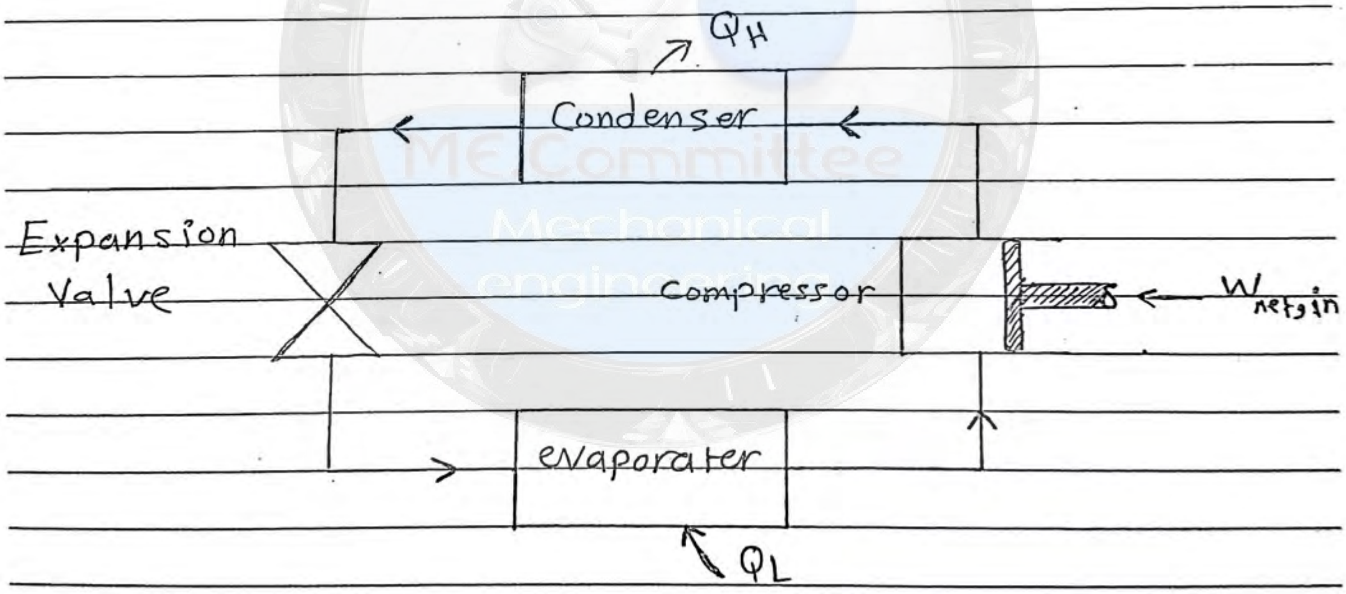


* the Kelvin - Plank statement can also be expressed as no heat engine can have a thermal efficiency of 100 percent.

* Refrigerators المبرّدات مثل : الثلاجات والمكيفات

in this device the heat is transfer from Law-temp medium to a high-temp. one.

* يعني عكس heat engine تماماً.



* The efficiency of a refrigerator is expressed in terms of the Coefficient of performance

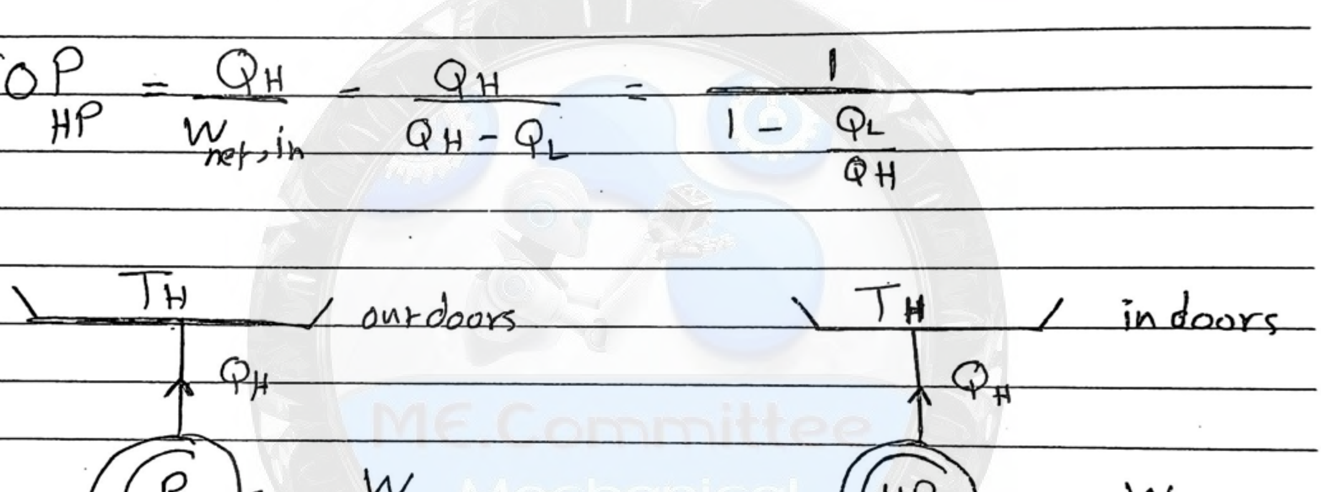
$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{net,in}} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1}$$

Heat Pumps

in this device, also the heat is transfer from a low temperature medium to a high temperature one

* نلاحظ أن الـ heat pump و refrigerator يعملان نفس العمل ولها نفس التركيب ولكن الاختلاف في وظيفة كل منهما فالـ refrig. يُبرّد والـ heat pump تُسخن المكان

$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{W_{net,in}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}}$$



* في المكيّف أو أي نظام تبريد يستخدم سوائل التبريد "refrigerant" والتي تغلي على درجة حرارة قليلة نسبياً فنضع الـ evaporator داخل الغرفة ويمر فيه السائل فيمتص الحرارة من الغرفة ويتبخر ثم يُضغط في الـ compress. ويمر بالـ condenser والذي يوجد خارج الغرفة فيتكثف ثم يمر بالـ valve فيقل ضغطه وهكذا حتى يبرد المكان "indoors"

* في الـ H.P يحصل عكس ما يحصل في الـ R تماماً

EXAMPLE 6–3 Heat Rejection by a Refrigerator

The food compartment of a refrigerator, shown in Fig. 6–24, is maintained at 4°C by removing heat from it at a rate of 360 kJ/min. If the required power input to the refrigerator is 2 kW, determine (*a*) the coefficient of performance of the refrigerator and (*b*) the rate of heat rejection to the room that houses the refrigerator.

Solution

(*a*) The coefficient of performance of the refrigerator is

$$\text{COP}_\text{R} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_\text{net,in}} = \frac{360\text{ kJ/min}}{2\text{ kW}}\left(\frac{1\text{ kW}}{60\text{ kJ/min}}\right) = \mathbf{3}$$

(*b*) The rate at which heat is rejected to the room that houses the refrigerator is determined from the conservation of energy relation for cyclic devices,

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_L + \dot{W}_\text{net,in} = 360\text{ kJ/min} + (2\text{ kW})\left(\frac{60\text{ kJ/min}}{1\text{ kW}}\right) = \mathbf{480\text{ kJ/min}}$$

EXAMPLE 6–4 Heating a House by a Heat Pump

A heat pump is used to meet the heating requirements of a house and maintain it at 20°C. On a day when the outdoor air temperature drops to −2°C, the house is estimated to lose heat at a rate of 80,000 kJ/h. If the heat pump under these conditions has a COP of 2.5, determine (*a*) the power consumed by the heat pump and (*b*) the rate at which heat is absorbed from the cold outdoor air.

Solution

(*a*)

$$\dot{W}_\text{net,in} = \frac{\dot{Q}_H}{\text{COP}_\text{HP}} = \frac{80{,}000\text{ kJ/h}}{2.5} = \mathbf{32{,}000\text{ kJ/h}}\ (\text{or } 8.9\text{ kW})$$

(*b*)

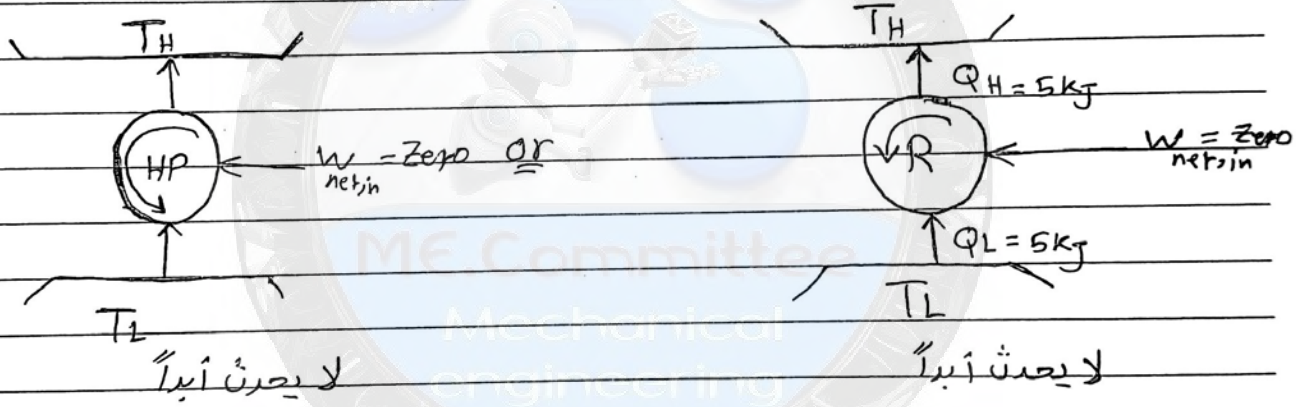
$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_H - \dot{W}_\text{net,in} = (80{,}000 - 32{,}000)\text{ kJ/h} = \mathbf{48{,}000\text{ kJ/h}}$$

رائد الحموري

** $COP_{HP} = COP_R + 1$ so, $COP_{HP} > 1$ always.

Clausius Statement

It's impossible to construct a device that operates in cycle and produces no effect than the transfer of heat from a lower-temperature body to a higher-temperature body.



Reversible and irreversible Processes

reversible process: a process that can be reversed without leaving any trace on "أثر" the Surroundings.

irreversible Process: any Process that are not reversible.

* reversible process :

* هي حالة نظرية مثالية لا توجد في الطبيعة
ولكن هناك حالات قريبة منها وفي بعض المسائل سنعتبرها "reversible"

* irreversible process :

* هي الحالة الموجودة في الطبيعة
وتسمى العوامل التي تجعل العملية "irreversible" :

irreversibilities

ومنها الاحتكاك وضياع الطاقة الحرارية
والتفاعلات الكيميائية وغيرها الكثير

Second-Law efficiency "η_{II}" :

the ratio of actual thermal efficiency to the maximum possible (reversible process) thermal efficiency Under the same condition

* "2nd Law of thermodynamic" ينص على أنه لا يوجد "heat engine" له كفاءة تصل إلى 100%
إذن فما هي أعلى كفاءة ممكنة لـ "heat engine" ؟؟!

* The Carnot cycle

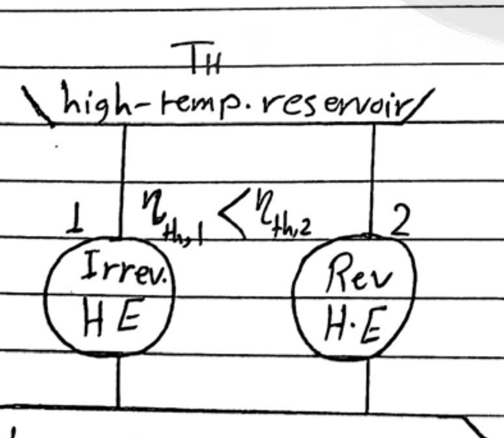
* اقترح المهندس الفرنسي "Sadi Carnot" عام 1824 نموذجاً لـ "heat engine" يعمل على ماسمّاه "Carnot cycle"

* Carnot cycle : it's a cycle of four reversible processes , two isothermal and two adiabatic , in closed syst. or in steady-flow system.

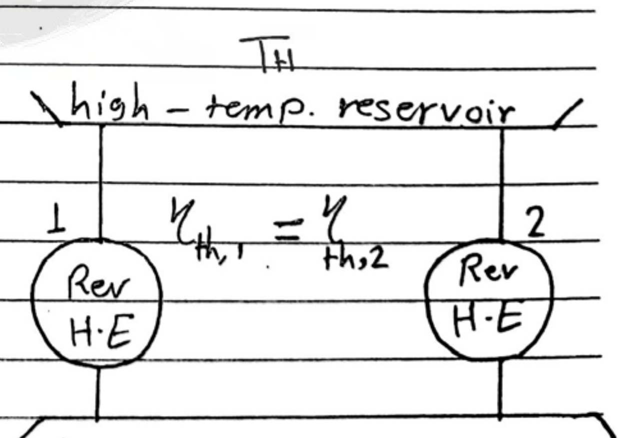
** Carnot principle :

1. the efficiency of an irreversible heat engine is always less than efficiency of a reversible one operating between the same two reservoirs

2. the efficiency of all reversible heat engines operating between the same two reservoirs are the same.



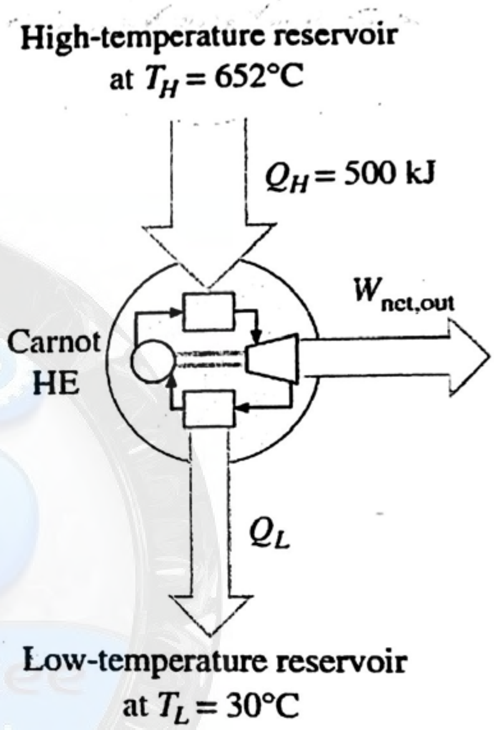
(1)



(2)

EXAMPLE 6–5 Analysis of a Carnot Heat Engine

A Carnot heat engine, shown in Fig. 6–48, receives 500 kJ of heat per cycle from a high-temperature source at 652°C and rejects heat to a low-temperature sink at 30°C. Determine (*a*) the thermal efficiency of this Carnot engine and (*b*) the amount of heat rejected to the sink per cycle.



Solution

(*a*)

$$\eta_{th,C} = \eta_{th,rev} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{(30 + 273)\text{ K}}{(652 + 273)\text{ K}} = \mathbf{0.672}$$

(*b*) The amount of heat rejected Q_L by this reversible heat engine is easily determined from Eq. 6–16 to be

$$Q_{L,rev} = \frac{T_L}{T_H} Q_{H,rev} = \frac{(30 + 273)\text{ K}}{(652 + 273)\text{ K}} (500\text{ kJ}) = \mathbf{164\ kJ}$$

* the Carnot efficiency:

- is the highest efficiency a heat engine can have when operating between the two thermal energy reservoirs at temperatures T_L and T_H.

** $\eta_{th,rev} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$

* هذه القيمة هي أعلى كفاءة ممكن يحصلها heat engine يعني هي الحالة المثالية بالنسبة لنا

$$\eta_{th,rev} \begin{cases} < \eta_{th,irr}, & \text{irreversible HE} \\ = \eta_{th,rev}, & \text{reversible HE} \\ > \eta_{th,rev}, & \text{impossible HE} \end{cases}$$

ملاحظة: نعوّض درجة الحرارة بوحدة الكلفن في القانون

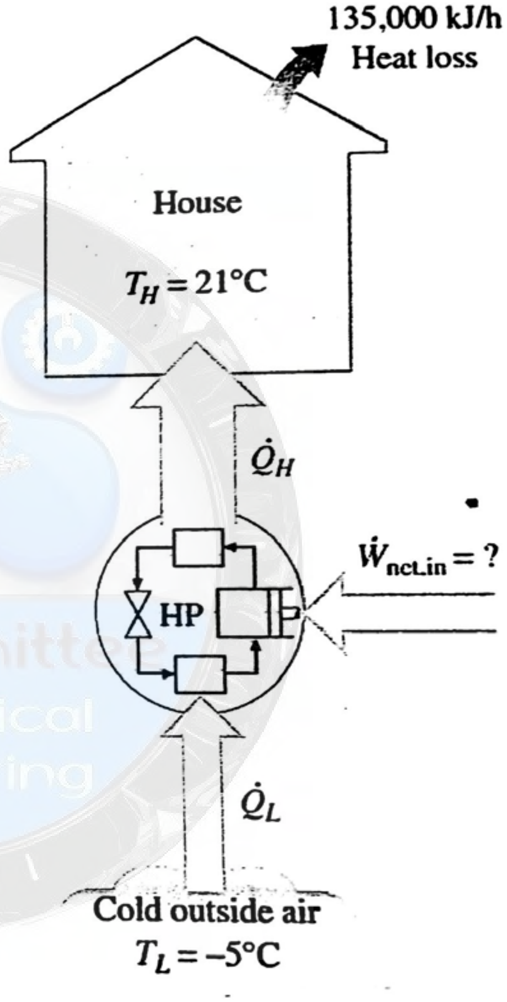
** $COP_{R,rev} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$

** $COP_{HP,rev} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}}$

$$COP_{R,rev} \begin{cases} < COP_{R,irr}, & \text{irreversible Ref.} \\ = COP_{R,rev}, & \text{reversible Ref.} \\ > COP_{R,rev}, & \text{impossible Ref.} \end{cases}$$

EXAMPLE 6–7 Heating a House by a Carnot Heat Pump

A heat pump is to be used to heat a house during the winter, as shown in Fig. 6–53. The house is to be maintained at 21°C at all times. The house is estimated to be losing heat at a rate of 135,000 kJ/h when the outside temperature drops to −5°C. Determine the minimum power required to drive this heat pump.



Solution

$$\mathrm{COP_{HP,rev}} = \frac{1}{1 - T_L/T_H} = \frac{1}{1 - (-5 + 273\ \mathrm{K})/(21 + 273\ \mathrm{K})} = 11.3$$

Then the required power input to this reversible heat pump becomes

$$\dot{W}_{net,in} = \frac{Q_H}{\mathrm{COP_{HP}}} = \frac{37.5\ \mathrm{kW}}{11.3} = 3.32\ \mathrm{kW}$$

Q6-20

$$\dot{Q}_H = \dot{m}\, q_{HV}$$

$$= 60{,}000 \frac{kg}{h} * 30{,}000 \frac{kJ}{kg} = 1.8*10^9 \text{ kJ/h}$$

$$\frac{1.8*10^9}{3600} = 500 \text{ MW}$$

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_H} = \frac{150 \text{ MW}}{500 \text{ MW}} = 30\%$$

Q6-42

(a) $\dot{W}_{net,in} = \frac{\dot{Q}_L}{COP_R} = 0.83 \text{ kW}$

(b) $\dot{Q}_H = \dot{Q}_L + \dot{W}_{net,in} = 110 \text{ kJ/min}$

Q6-49

$$\dot{Q}_H = 60.000 - 4000$$

$$= 56000 \text{ kJ/h}$$

$$\dot{W}_{net,in} = \frac{\dot{Q}_H}{COP_{HP}} = 6.22 \text{ kW}$$

Q 6-75

$$\eta_{th,max} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 0.6$$

$$\dot{W}_{net,out} = \eta_{th}\, \dot{Q}_H = 653 \text{ kW}$$

Q 6_94

* حتى نجيب عن هذا السؤال يجب أن نفهم المقصد منه فهو يسأل عن كفاءة refrigeration syst. تحت شروط معينة.

مخترع يدّعي أن كفاءة هذا الجهاز : $COP_R = 6.5$

فهل ادعاءه صحيح أم لا ؟!

الجواب/ نحسب أعلى كفاءة ممكنة لهذا الجهاز وهي Carnot ونقارنها بإدعاء المخترع

$$COP_{R,max} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1} = 7.1 > 6.5$$

* إذن الادّعاء معقول ومنطقي

Q 6-101

(a) $$COP_{HP,max} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}} = \frac{1}{1 - \frac{269}{299}}$$

$$COP_{HP,max} = 9.967$$

$$\dot{W}_{net,in,min} = \frac{\dot{Q}_H}{COP_{HP,max}} = \frac{55000}{9.967} * \frac{1}{3600}$$

$$= 1.53 \text{ KW}$$

(b) $$COP_{HP,max} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}} = \frac{1}{1 - \frac{283}{299}}$$

$$COP_{HP,max} = 18.687$$

$$\dot{W}_{net,in,min} = \frac{\dot{Q}_H}{COP_{HP,max}} = \frac{55000}{18.687} * \frac{1}{3600}$$

$$= 817.56 \text{ W}$$

1. A heat pump is absorbing heat from the cold outdoors at 5°C and supplying heat to a house at 25°C at a rate of 18,000 kJ/h. If the power consumed by the heat pump is 1.9 kW, the coefficient of performance of the heat pump is :

(a) 1.3 (b) 2.6 (c) 3.0 (d) 3.8 (e) 13.9

2. A heat engine cycle is executed with steam in the saturation dome. The pressure of steam is 1 MPa during heat addition, and 0.4 MPa during heat rejection. the highest possible efficiency of this hea engine is :

(a) 8.0% (b) 15.6% (c) 20.2% (d) 79.8% (e) 100%

3. A heat engine receives heat from a source at 1000°C and rejects the waste heat to a sink at 50°C. If heat is supplied to this engine at a rate of 100 kJ/s, the maximum power this heat engine can produce is :

(a) 25.4 kW (b) 55.4 kW (c) 74.6 kW (d) 95.0 kW (e) 100.0 kW

4. A heat pump cycle is executed with R-134a under the saturation dome between the pressure limits of 1.4 MPa and 0.16 MPa. The maximum coefficient of performance of this heat pump is :

(a) 1.1 (b) 3.8 (c) 4.8 (d) 5.3 (e) 2.9

5. A refrigeration cycle is executed with R-134a under the saturation dome between the pressure limits of 1.6 MPa and 0.2 MPa. If the power consumption of the refrigerator is 3 kW, the maximum rate of heat removal from the cooled space of this refrigerator is :

(a) 0.45 kJ/s (b) 0.78 kJ/s (c) 3.0 kJ/s (d) 11.6 kJ/s (e) 14.6 kJ/s

6. A heat pump with a COP of 3.2 is used to heat a perfectly sealed house (no air leaks). The entire mass within the house (air, furniture, etc.) is equivalent to 1200 kg of air. When running, the heat pump consumes electric power at a rate of 5 kW. The temperature of the house was 7°C when the heat pump was turned on. If heat transfer through the envelope of the house (walls, roof, etc.) is negligible, the length of time the heat pump must run to raise the temperature of the entire contents of the house to 22°C is

(a) 13.5 min (b) 43.1 min (c) 138 min (d) 18.8 min (e) 808 min

7. A heat engine cycle is executed with steam in the saturation dome between the pressure limits of 7 MPa and 2 MPa. If heat is supplied to the heat engine at a rate of 150 kJ/s, the maximum power output of this heat engine is :

(a) 8.1 kW (b) 19.7 kW (c) 38.6 kW (d) 107 kW (e) 130 kW

8. An air-conditioning system operating on the reversed Carnot cycle is required to remove heat from the house at a rate of 32 kJ/s to maintain its temperature constant at 20°C. If the temperature of the outdoors is 35°C, the power required to operate this air-conditioning system is :

(a) 0.58 kW (b) 3.20 kW (c) 1.56 kW (d) 2.26 kW (e) 1.64 kW

9. A refrigerator is removing heat from a cold medium at 3°C at a rate of 7200 kJ/h and rejecting the waste heat to a medium at 30°C. If the coefficient of performance of the refrigerator is 2, the power consumed by the refrigerator is :

(a) 0.1 kW (b) 0.5 kW (c) 1.0 kW (d) 2.0 kW (e) 5.0 kW

10. Two Carnot heat engines are operating in series such that the heat sink of the first engine serves as the heat source of the second one. If the source temperature of the first engine is 1300 K and the sink temperature of the second engine is 300 K and the thermal efficiencies of both engines are the same, the temperature of the intermediate reservoir is :

(a) 625 K (b) 800 K (c) 860 K (d) 453 K (e) 758 K

11. Consider a Carnot refrigerator and a Carnot heat pump operating between the same two thermal energy reservoirs. If the COP of the refrigerator is 3.4, the COP of the heat pump is :

(a) 1.7 (b) 2.4 (c) 3.4 (d) 4.4 (e) 5.0

12. A typical new household refrigerator consumes about 680 kWh of electricity per year, and has a coefficient of performance of 1.4. The amount of heat removed by this refrigerator from the refrigerated space per year is :

(*a*) 952 MJ/yr (*b*) 1749 MJ/yr (*c*) 2448 MJ/yr

(*e*) 4048 MJ/yr (*d*) 3427 MJ/yr

٠٧٨٨١٩٥٣٣٩ اخوكم رائد الحموري

GOOD Luck

1. heat pump

$T_L = 5\,^\circ C$, $T_H = 25\,^\circ C$

$Q_H = 18000\ kJ/h = 5\ kJ/s$

$W_{in} = 1.9\ kW$

Sol. $COP_{HP} = \frac{Q_H}{W_{in}} = \frac{5\ kW}{1.9\ kW} = 2.6$

2. heat engine

$P_H = 1000\ kPa$

$P_L = 400\ kPa$

* in the Saturation dome $\xrightarrow{\text{تعني}}$ $T_H = T_{sat}$ at P_H

$T_L = T_{sat}$ at P_L

$T_H = 179.88\,^\circ C$

$T_L = 143.6\,^\circ C$

* the highest possible η $\xrightarrow{\text{تعني}}$ Carnot efficiency

$$\eta = 1 - \frac{T_L + 273}{T_H + 273}$$

* انتبه لوحدة الـ T ٪ تكون بالكلفن

$$\eta = 1 - \frac{143.6 + 273}{179.88 + 273} = 8\%$$

3. heat engine

$T_H = 1000\ ^\circ C$, $T_L = 50\ ^\circ C$

$\dot{Q}_{in} = 100\ kW$

* maximum power $\xrightarrow{\text{تعني}}$ carnot efficiency نجيها عن طريق

$$\eta = 1 - \frac{T_L + 273}{T_H + 273} = 1 - \frac{50 + 273}{1000 + 273}$$

$\eta = 0.746$ or $74.6\ \%$

$$\eta = \frac{\dot{W}_{out}}{\dot{Q}_{in}} \rightarrow \dot{W}_{out} = 100 * 0.746$$

$\dot{W}_{out} = 74.6\ kW$

4. heat pump

R = 134a

* Under saturation dome $\xrightarrow{\text{تعني}}$ $T_H = T_{sat}$ at P_H , $T_L = T_{sat}$ at P_L } table A-12

$P_H = 1400\ kPa$, $T_H = 52.4\ ^\circ C$

$P_L = 160\ kPa$, $T_L = -15.6\ ^\circ C$

maximum coefficient ⟶ (carnot) الحالة المثالية

$$COP_{HP} = \frac{T_H}{T_H - T_L} = \frac{52.4 + 273}{(52.4 - -15.6)}$$

⟵ لأن الفرق هو نفسه سواء بالكلفن أو بال $^\circ C$ ع شان هيك ما ضفت 273 لدرجتي الحرارة في المقام

$COP_{HP} = 4.8$

لجنة الهندسة الميكانيكية

5. R-134a

* Under saturation dom → $T_H = T_{sat}$ at P_H , $T_L = T_{sat}$ at P_L

$P_H = 1.6\ MPa$, $T_H = 57.88\ ^\circ C$

$P_L = 0.2\ MPa$, $T_L = -10.09\ ^\circ C$ } Table A-12

$W_{in} = 3\ kw$

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

subst.

$COP_R = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{-10.09 + 273}{57.88 - -10.09} = 3.87$

$Q_L = COP_R * W_{in}$
$= 3.87 * 3 = 11.6\ kw = 11.6\ kJ/s$

6. $COP_{HP} = 3.2$

$C_v = 0.718\ kJ/kg.C$ table A-2 for air

$m = 1200\ kg$

$T_1 = 7\ ^\circ C$, $T_2 = 22\ ^\circ C$

$W_{in} = 5\ kw$

Sol. $Q_H = m * C_v * (T_2 - T_1)$
$= 1200 * 0.718 * (22 - 7) = 12.924\ kJ$

$COP_{HP} = \frac{Q_H}{W_{in}} \rightarrow W_{in} * t = \frac{12.924\ kJ}{3.2}$

$5\ kw * t = 4038.75\ kJ \rightarrow t = \frac{4038.75\ kJ.s}{5\ kJ}$

$t = 307.75\ s \rightarrow t = 13.5\ min$

7. heat engine

H_2O

$P_H = 7000$ kPa , $T_H = 285.83$ °C

$P_L = 2000$ kPa , $T_L = 212.38$ °C

$Q_{in} = 150$ kW

$$\eta = 1 - \frac{T_L + 273}{T_H + 273} = 1 - \frac{212.38 + 273}{285.83 + 273}$$

$$\eta = 0.13144$$

$$\eta = \frac{W_{out}}{Q_{in}} \longrightarrow W_{out} = \eta * Q_{in}$$

$$W_{out} = 0.13144 * 150 = 19.7 \text{ kW}$$

8. air conditioning

$T_L = 20$ °C , $T_H = 35$ °C

$Q_L = 32$ kJ/s

$$COP_R = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{20 + 273}{35 - 20} = 19.53$$

$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{in}} \longrightarrow 19.53 = \frac{32}{W_{in}}$$

$$W_{in} = 1.64 \text{ kW}$$

9. refrigerator

$T_L = 3°C$, $T_H = 30°C$

$Q_L = 7200\ kJ/h = 2\ kJ/s$

$COP_R = 2$

Sol. $COP_R = \frac{Q_L}{W_{in}} \rightarrow W_{in} = \frac{2\,kw}{2} = 1\ kw$

10. $T_H = 1300\ k$, $T_L = 300\ k$

* $\eta_1 = \eta_2$

* $1 - \frac{T_{mid}}{T_H} = 1 - \frac{300}{T_{mid}}$

* get T_{mid} by solve the equ. $T_{mid} = 625\ k$

11. $COP_R = 3.4$

* $COP_{HP} = COP_R + 1$

$COP_{HP} = 3.4 + 1 = 4.4$

12. $W_{in} = 680\ kwh = 2448\ MJ$

$COP_R = 1.4$

Sol. $Q_L = W_{in} * COP_R$

$Q_L = 2448 * 1.4 = 3427\ MJ/yr$

Chapter 7: Entropy "S" العشوائية

* Entropy: it's a measure of molecular disorder, molecular randomness. $ds = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)$ "kJ/k"

* Clausius inequality : ينص هذا المبدأ على

the cyclic integral of "$\delta Q/T$" is always less than or equal to zero.

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

* وهذا ما نص عليه 2nd Law
اذا بترجع ل ch.6

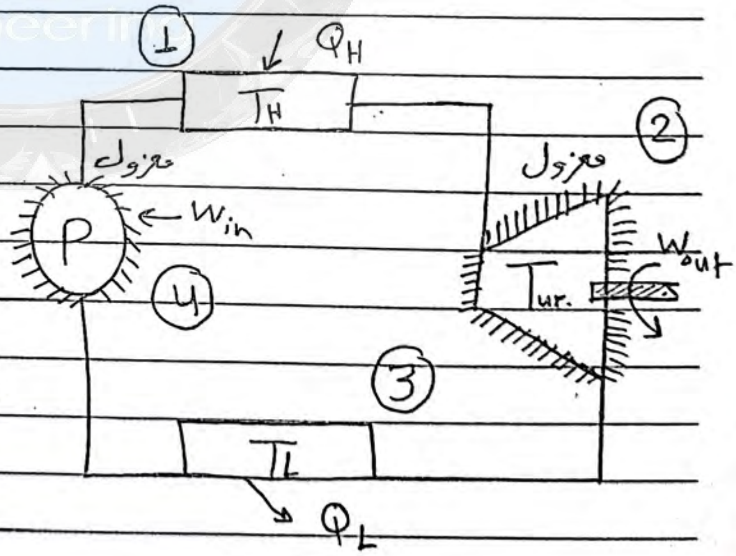
* توضيح هذا المبدأ : نفرض أن عندنا "cycle" وانها Reversible
كونها حالة مثالية .

$\oint_1 \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_H}{T_H}$

$\oint_2 \frac{\delta Q}{T} = $ Zero لأنه معزول

$\oint_3 \frac{\delta Q}{T} = -\frac{Q_L}{T_L}$ لأنه بخسر طاقة

$\oint_4 \frac{\delta Q}{T} = $ Zero لأنه معزول



* $\oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_L}{T_L}$ ——— *

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

$Q_L = \frac{T_L}{T_H} Q_H$ عوضنا في معادلة (*)

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_H}{T_H} - \left[\frac{1}{T_L} \cdot \frac{T_L}{T_H} Q_H\right]$$

$$\boxed{\oint \frac{\delta Q}{T} = \text{Zero}}$$ # "reversible" هذا في الحالة المثالية

$\because \; Q_{L_{irr}} > Q_{L_{rev}}$

$\therefore \; \oint \frac{\delta Q}{T} < \text{Zero}$ #

* نستنتج مما سبق أن :

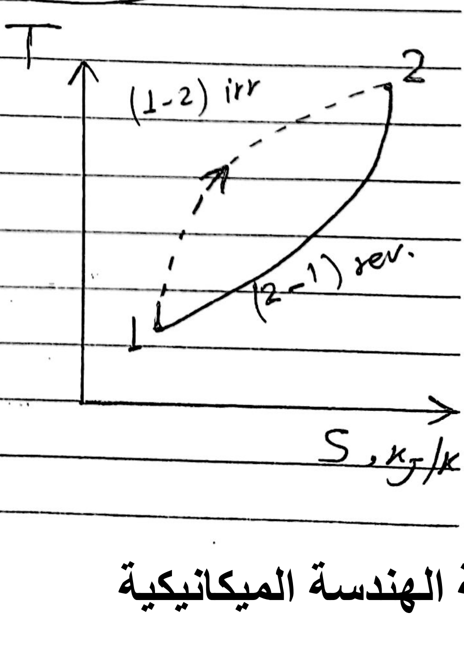
1. $\oint \frac{\delta Q}{T} = \text{Zero}$, if cycle is reversible

2. $\oint \frac{\delta Q}{T} < 0$, if cycle is irreversible

* $\Delta S = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{rev} = \frac{Q}{T_o}$ "kJ/K"

* The increase of Entropy principle

هنا مثلنا بيانيا على "T-s diagram"
عملية تحركت من (1→2) irrev.
ومن (2→1) reversible وهذا
ما حصل فيها.



$$\oint_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{irr} + \oint_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{rev} < 0$$

$$\oint_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{irr} + S_1 - S_2 < 0$$

$$\boxed{S_2 - S_1 > \oint_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{irr} + S_{gen}}$$ for closed sys.

S_{gen} : is always positive quantity or zero

* S_{gen} → + , irr
  → zero , rev
  → − , كمية غير معرّفة
  يعني مستحيل يصير هاد الاشي

  $\Big\}$ * $S_{gen} \geq 0$

* $\Delta S_{isolated} \geq$ Zero (closed, adiabatic) للنظام المعزول *
ال entropy تزداد خلال العمليات
أو تبقى ثابتة.

ملاحظات هامة تتعلّق ب "S"

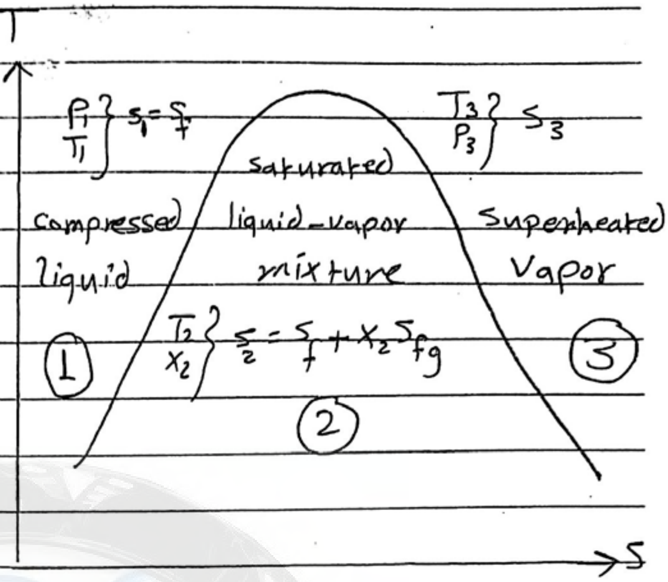
* Isentropic $\xrightarrow{\text{تعني}}$ S = Constant $\xrightarrow{\text{تعني}}$ ΔS = Zero

* every Adiabatic + reversible $\xrightarrow{\text{تعني}}$ isentropic
والعكس ليس صحيحاً

* ال entropy هي كمية غير محفوظة هي كمية ثابتة للعملية ال reversible
وكمية تزداد خلال العمليات ال actual

* S_{gen} هي مقياس لل irreversibilities

* Entropy change of pure substances



* اذا كنت بالمنطقة الأولى (1) بنستخدم الجداول حسب المادة (H_2O, Ref-134a) ونقرأها قراءة كما تعلمنا في Ch.3

* اذا كنت داخل القبة منطقة (2) نستخدم المعادلة بعد ايجاد "X" equality

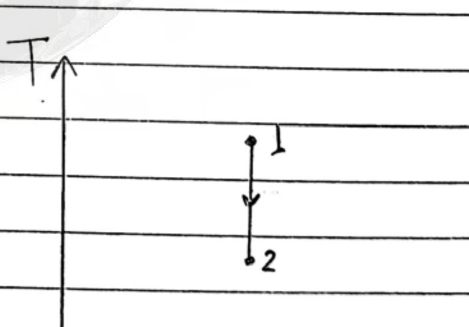
* اذا كنت بالمنطقة (3) نستخدم الجداول أيضاً

* ملاحظة: انتبه في الجداول وحدة "s" هي "kJ/kg.k" وإذا أردت حساب S التي وحدتها kJ/k استخدم التالي:

$$\Delta S = m\Delta s = m(s_2 - s_1) \quad , \quad m: \text{mass}$$

كيف نمثل عملية الـ isentropic على T-s diag. ؟

* خط عمودي للأسفل أو للأعلى يوازي y-axis

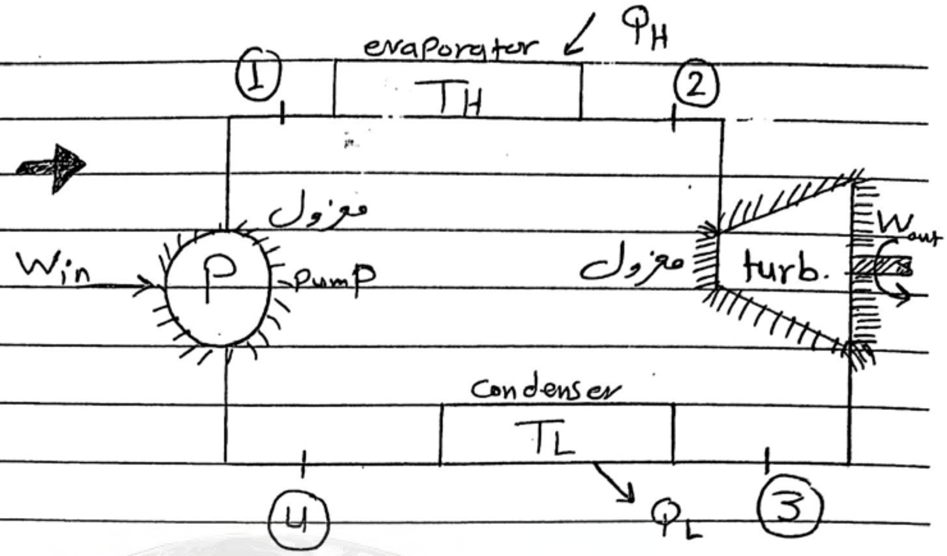


$s_1 = s_2$

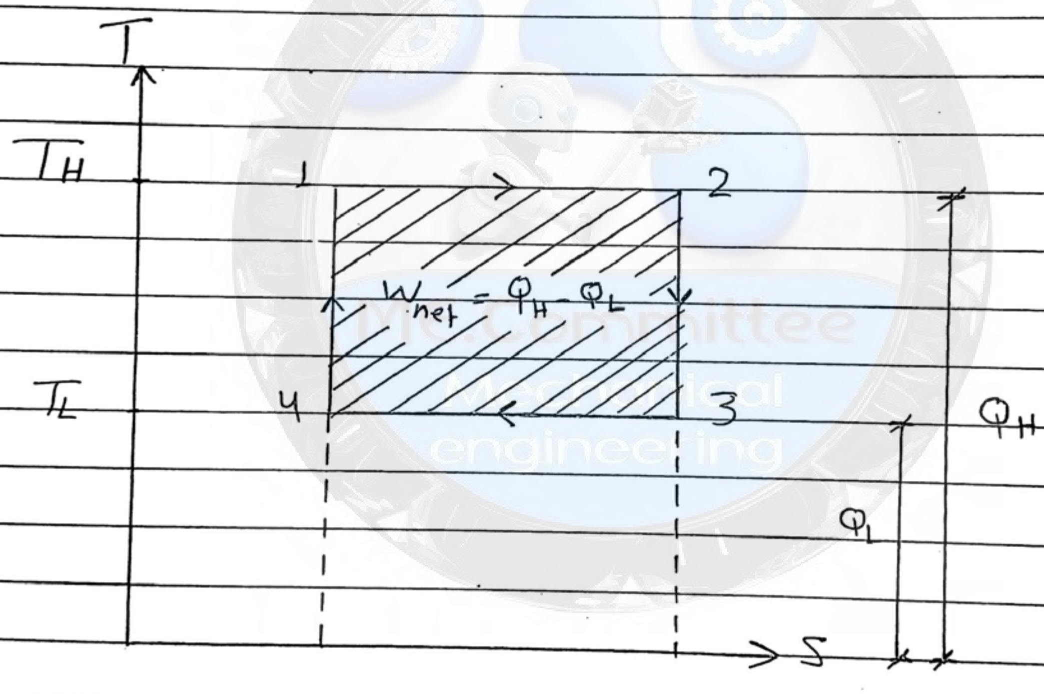
إهداء لأصحابي طلاب الميكانيك :

أيها الميكانيكية أنتم الأمراء بكم الأرض والسماء سواء
يا نجوماً تمشي على الأرض كلما أظلم السكوير أضاؤوا

Carnot cycle ⇒



* سنرسم هذه العملية على "T-s diagram"

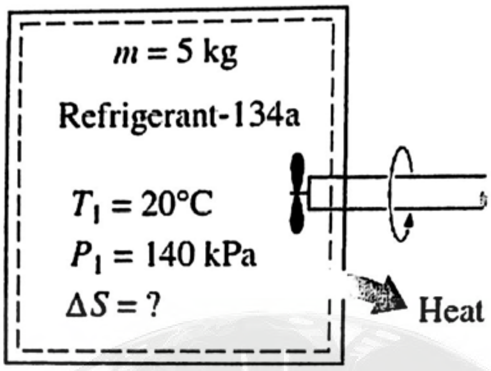


(1 – 2) isothermal (3 – 4)
(2 – 3) isentropic (4 – 1)

قيل قديماً : الناس معادن
وأنا أقول : بما أن الناس معادن لازم تشوف بحياتك أشكال طبية

EXAMPLE 7–3 **Entropy Change of a Substance in a Tank**

A rigid tank contains 5 kg of refrigerant-134a initially at 20°C and 140 kPa. The refrigerant is now cooled while being stirred until its pressure drops to 100 kPa. Determine the entropy change of the refrigerant during this process.



Solution

State 1:

$$\left.\begin{array}{l} P_1 = 140 \text{ kPa} \\ T_1 = 20°\text{C} \end{array}\right\} \quad \begin{array}{l} s_1 = 1.0624 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \\ v_1 = 0.16544 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array}$$

State 2:

$$\left.\begin{array}{l} P_2 = 100 \text{ kPa} \\ (v_2 = v_1) \end{array}\right\} \quad \begin{array}{l} v_f = 0.0007259 \text{ m}^3/\text{kg} \\ v_g = 0.19254 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array}$$

The refrigerant is a saturated liquid–vapor mixture at the final state since $v_f < v_2 < v_g$ at 100 kPa pressure. Therefore, we need to determine the quality first:

$$x_2 = \frac{v_2 - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.16544 - 0.0007259}{0.19254 - 0.0007259} = 0.859$$

Thus,

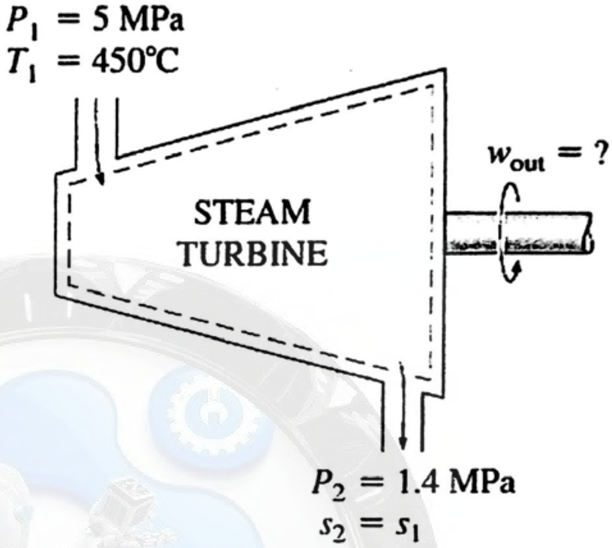
$$s_2 = s_f + x_2 s_{fg} = 0.07188 + (0.859)(0.87995) = 0.8278 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

Then the entropy change of the refrigerant during this process is

$$\Delta S = m(s_2 - s_1) = (5 \text{ kg})(0.8278 - 1.0624) \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$
$$= \mathbf{-1.173 \text{ kJ/K}}$$

EXAMPLE 7–5 Isentropic Expansion of Steam in a Turbine

Steam enters an adiabatic turbine at 5 MPa and 450°C and leaves at a pressure of 1.4 MPa. Determine the work output of the turbine per unit mass of steam if the process is reversible.



Solution

$$\underbrace{\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}}_{\substack{\text{Rate of net energy transfer} \\ \text{by heat, work, and mass}}} = \underbrace{dE_{system}/dt}_{\substack{\text{Rate of change in internal, kinetic,} \\ \text{potential, etc., energies}}} \overset{\nearrow 0\,(\text{steady})}{} = 0$$

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

$$\dot{m}h_1 = \dot{W}_{out} + \dot{m}h_2 \qquad (\text{since } \dot{Q} = 0,\ \text{ke} \cong \text{pe} \cong 0)$$

$$\dot{W}_{out} = \dot{m}(h_1 - h_2)$$

State 1:

$$\left.\begin{array}{l} P_1 = 5\ \text{MPa} \\ T_1 = 450°\text{C} \end{array}\right\} \quad \begin{array}{l} h_1 = 3317.2\ \text{kJ/kg} \\ s_1 = 6.8210\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K} \end{array}$$

State 2:

$$\left.\begin{array}{l} P_2 = 1.4\ \text{MPa} \\ s_2 = s_1 \end{array}\right\} \quad h_2 = 2967.4\ \text{kJ/kg}$$

Then the work output of the turbine per unit mass of the steam becomes

$$w_{out} = h_1 - h_2 = 3317.2 - 2967.4 = 349.8\ \text{kJ/kg}$$

The T-ds "Gibbs" relation

1* $TdS = dU + PdV$ "kJ"
$Tds = du + Pdv$ "kJ/kg"

2* $TdS = dH - VdP$ "kJ"
$Tds = dh - vdP$ "kJ/kg"

* إذا أردت أن تعرف أصل العلاقتين في الأعلى ارجع إلى الاشتقاق في الكتاب

Entropy Change of liquids and solids

$Tds = du + \underbrace{Pdv}_{\approx zero}$ لأن السوائل والمواد الصلبة لا يحدث فيها

$ds = \frac{du}{T} + \cancel{\frac{Pdv}{T}}$ تغيّر في "specific volume" تقريباً

لأنها "incompressible substance"

$ds = \frac{du}{T} = c\frac{dT}{T}$, $c = c_p = c_v$ for liquids, solids

1* $\boxed{S_2 - S_1 = c \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}$ for liquids, solids

قيمة "c" التي في القانون تأتي من جدول : "table A-3" حيث

* A-3a → liquids * A-3b → solids

* A-3c → foods

* ملاحظة: حالة خاصة عندما تكون الـ cycle ← isentropic

المواد الصلبة السائلة فإن :

2* $\boxed{T_1 = T_2}$

The Entropy Change of ideal gases

1* $S_2 - S_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_v \frac{dT}{T} + R \ln \frac{V_2}{V_1}$

2* $S_2 - S_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_p \frac{dT}{T} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$

The Entropy change of ideal gases with Constant specific heats "Cp, Cv"

Assuming: C_p = Constant & C_v = Constant

1* $S_2 - S_1 = C_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + R \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ "kJ/kg.K"

2* $S_2 - S_1 = C_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$ "kJ/kg.K"

3* $\bar{S}_2 - \bar{S}_1 = \bar{C}_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R_u \ln \frac{V_2}{V_1}$ "kJ/kmol.K"

4* $\bar{S}_2 - \bar{S}_1 = \bar{C}_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R_u \ln \frac{P_2}{P_1}$ "kJ/kmol.K"

راشد الحموري
0788195339

EXAMPLE 7–9 **Entropy Change of an Ideal Gas**

Air is compressed from an initial state of 100 kPa and 17°C to a final state of 600 kPa and 57°C. Determine the entropy change of air during this compression process by using (*a*) property values from the air table and (*b*) average specific heats.

Solution

(*a*) The properties of air are given in the air table (Table A–17). Reading s° values at given temperatures and substituting, we find

$$s_2 - s_1 = s_2^\circ - s_1^\circ - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$= [(1.79783 - 1.66802)\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K}] - (0.287\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K}) \ln \frac{600\ \text{kPa}}{100\ \text{kPa}}$$

$$= -0.3844\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K}$$

(*b*) The entropy change of air during this process can also be determined approximately from Eq. 7–34 by using a c_p value at the average temperature of 37°C (Table A–2b) and treating it as a constant:

$$s_2 - s_1 = c_{p,\text{avg}} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$= (1.006\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K}) \ln \frac{330\ \text{K}}{290\ \text{K}} - (0.287\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K}) \ln \frac{600\ \text{kPa}}{100\ \text{kPa}}$$

$$= -0.3842\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K}$$

الناجح يفكر في الحل .... الفاشل يفكر في المشكلة
الناجح لا تنضب أفكاره ..... الفاشل لا تنضب أعذاره
الناجح يساعد الآخرين ...... الفاشل ينتظر المساعدة من الأخرين
الناجح يرى حلا في المشكلة ..... الفاشل يرى المشكلة في كل حل

الناجح يقول : الحل صعب لكنه ممكن ... الفاشل يقول : الحل ممكن لكنه صعب
الناجح لديه احلام يحققها ..... الفاشل لديه اوهام وأضغاث احلام يبددها

Eng. Raid Hammouri
0788195339

The Entropy change of ideal gases withe Variable specific heats

1* $s_2 - s_1 = s^\circ_{T_2} - s^\circ_{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$ "kJ/kg.K"

s°: is a function of temperature alone
table A-17 → A-25 ← قيمتها من :

2* $\bar{s}_2 - \bar{s}_1 = \bar{s}^\circ_{T_2} - \bar{s}^\circ_{T_1} - R_u \ln \frac{P_2}{P_1}$ "kJ/kmol.K"

* الآن سندرس تغيّرات الـ "entropy" من جديد لكن في حالة "isentropic"

The Entropy change of ideal gases with constant cp, cv in isentropic process.

* سنشتق هذه العلاقات لأهميتها.

$$\underbrace{s_2 - s_1}_{\text{zero, isentropic}} = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$C_v \ln (T_2/T_1) = - R \ln (V_2/V_1)$ و تذكر: $R = C_p - C_v$

$\ln (T_2/T_1) = \frac{C_p - C_v}{C_v} \ln (V_1/V_2)$ و $k = C_p/C_v$

$\ln (T_2/T_1) = (k-1) \ln (V_1/V_2)$ و خذ exp. للطرفين

1* $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$ just for s = constant

$$\cancel{S_2 - S_1}^{\text{Zero, isentropic}} = C_p \ln(T_2/T_1) - R \ln(P_2/P_1)$$

$$C_p \ln(T_2/T_1) = R \ln(P_2/P_1)$$

$$\ln(T_2/T_1) = \frac{C_p - C_v}{C_p} \ln(P_2/P_1)$$

$$\ln(T_2/T_1) = \frac{K-1}{K} \ln(P_2/P_1)$$

$$e^{\ln(T_2/T_1)} = e^{\ln(P_2/P_1)\frac{K-1}{K}}$$

2* $$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{K-1}{K}}$$

3* $$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{K}$$

* Relative Pressure and Relative specife V

$$\cancel{S_2 - S_1}^{\text{Zero, isentropic}} = S^{\circ}_{T_2} - S^{\circ}_{T_1} - R \ln(P_2/P_1)$$

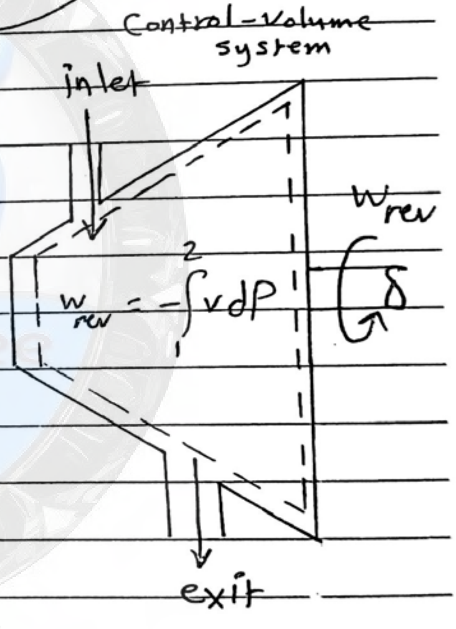
$$\frac{S^{\circ}_{T_2} - S^{\circ}_{T_1}}{R} = \frac{\cancel{R} \ln(P_2/P_1)}{\cancel{R}}$$ خذ للطرفين exp.

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{r_2}}{P_{r_1}}$$ P_r : من الجداول

relative pressure "P_r" $= e^{(s^\circ_T/R)}$ وهي موجودة بالجداول وليس لها وحدة "dimensionless"

* $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_{r_2}}{V_{r_1}}$ V_r : relative specific volume

Reversible steady-Flow work



$\delta q - \delta w = dh + dk.e + dP.e$

$ds = \frac{\delta q}{T} \rightarrow \delta q = T\,ds = dh - v\,dP$

$\cancel{dh} - v\,dP - \delta w = \cancel{dh} + dk.e + dP.e$

* $\delta w_{rev} = -\left[v\,dP + dk.e + dP.e\right]$

* dk.e & dP.e within the account

$\delta w_{rev} = -\left[v\,dP + dk.e + dP.e\right]$

$w_{rev} = -\left[\int_1^2 v\,dP + \int_1^2 dk.e + \int_1^2 dP.e\right]$

* if v = constant

* $w_{rev} = v(P_e - P_i) + \frac{V_e^2 - V_i^2}{2} + g(Z_e - Z_i)$

* negligit dk.e & dP.e

$\delta w_{rev} = -v\,dP$

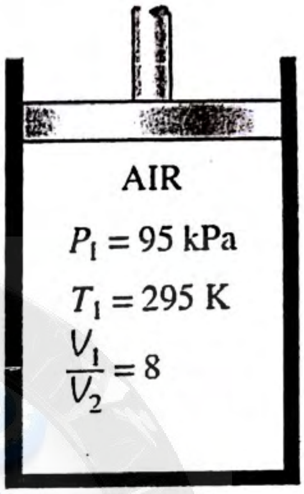
* $w_{rev} = -\int_{P_i}^{P_e} v\,dP$

* if v = Constant

* $w_{rev} = v(P_i - P_e)$

EXAMPLE 7–10 **Isentropic Compression of Air in a Car Engine**

Air is compressed in a car engine from 22°C and 95 kPa in a reversible and adiabatic manner. If the compression ratio V_1/V_2 of this engine is 8, determine the final temperature of the air.



Solution

For closed systems: $$\frac{V_2}{V_1} = \frac{v_2}{v_1}$$

At $T_1 = 295$ K: $$v_{r1} = 647.9$$

From Eq. 7–50: $$v_{r2} = v_{r1}\left(\frac{v_2}{v_1}\right) = (647.9)\left(\frac{1}{8}\right) = 80.99 \rightarrow T_2 = 662.7 \text{ K}$$

Alternative Solution The final temperature could also be determined from Eq. 7–42 by assuming constant specific heats for air:

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right)_{s=\text{const.}} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}$$

$$T_2 = (295 \text{ K})(8)^{1.391-1} = 665.2 \text{ K}$$

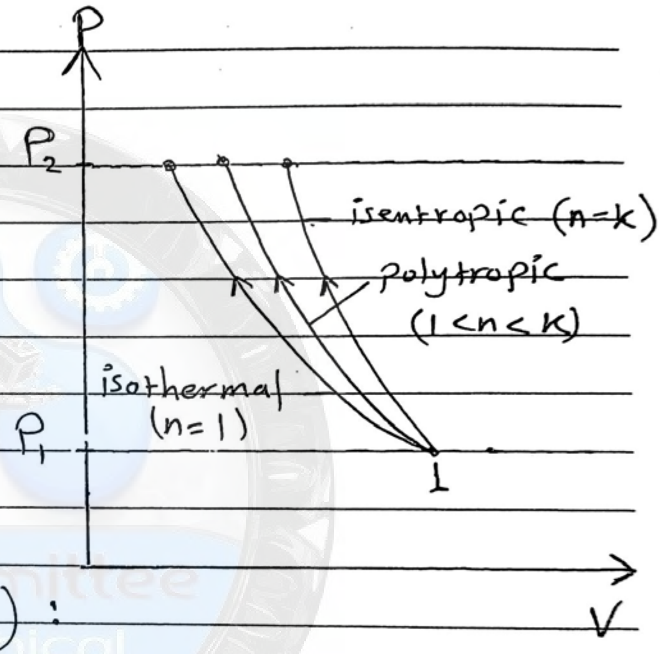
* Compresser work

$$W = -\int v\,dP$$

الإشارة السالبة التي تظهر في القانون تدل على أن هذا الجهاز يستهلك شغل ولا ينجز شغل ويمكن الاستغناء عنها كالتالي:

$$* \; W_{comp,in} = \int v\,dP$$

* هذا تمثيل لـ ٣ عمليات بشروط مختلفة والمساحة تحت المنحنى تمثل شغل الـ Compresser لكل حالة من الحالات الـ ٣:



* for isentropic (PV^k = const.):

$$W_{comp,in} = \frac{kRT_1}{k-1}\boxed{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k} - 1}$$

* for polytropic (PV^n = const.):

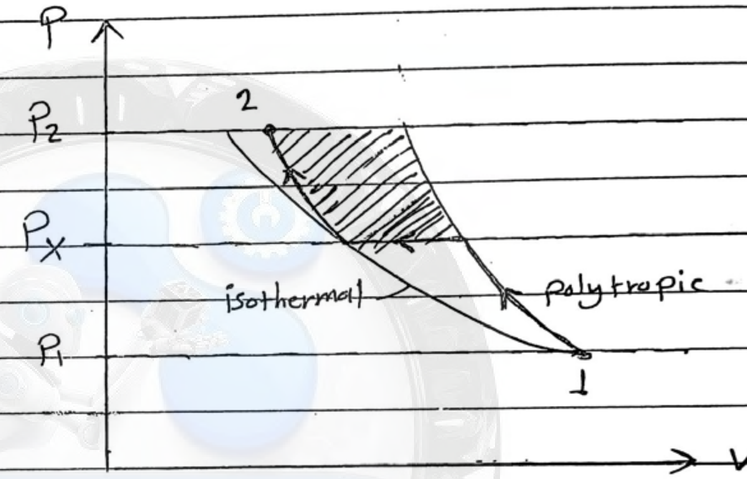
$$W_{comp,in} = \frac{nRT_1}{n-1}\boxed{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(n-1)/n} - 1}$$

* for isothermal (PV = const.):

$$W_{comp,in} = RT \ln\left(P_2/P_1\right)$$

* Two stage Compressor work

* لتقليل الشغل المستهلك من قبل الـ compressor نقوم بتجزئة العملية إلى قسمين الأولى : isothermal والثانية : polytropic وهذا يوفر من كمية الشغل المستهلكة .



* المنطقة المظللة تمثل كمية الشغل الذي وفرناه باستخدام هذه الطريقة

* P_x : intermediat pressure

* $P_x = \sqrt{P_1 P_2}$ or $\dfrac{P_x}{P_1} = \dfrac{P_2}{P_x}$

$$W_{Comp,in} = \frac{nRT_1}{n-1}\left[\left(\frac{P_x}{P_1}\right)^{(n-1)/n} - 1\right] + \frac{nRT_1}{n-1}\left[\left(\frac{P_2}{P_x}\right)^{(n-1)/n} - 1\right]$$

or

$$W_{Comp,in} = \frac{2nRT_1}{n-1}\left[\left(\frac{P_x}{P_1}\right)^{(n-1)/n} - 1\right]$$

Good frinds are hard to find, harder to leave and impossible to forget.

EXAMPLE 7–13 **Work Input for Various Compression Processes**

Air is compressed steadily by a reversible compressor from an inlet state of 100 kPa and 300 K to an exit pressure of 900 kPa. Determine the compressor work per unit mass for (*a*) isentropic compression with $k = 1.4$, (*b*) polytropic compression with $n = 1.3$, (*c*) isothermal compression, and (*d*) ideal two-stage compression with intercooling with a polytropic exponent of 1.3.

Solution

(*a*) Isentropic compression with $k = 1.4$:

$$w_{\text{comp,in}} = \frac{kRT_1}{k-1}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k} - 1\right]$$

$$= \frac{(1.4)(0.287\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K})(300\ \text{K})}{1.4-1}\left[\left(\frac{900\ \text{kPa}}{100\ \text{kPa}}\right)^{(1.4-1)/1.4} - 1\right]$$

$$= \mathbf{263.2\ kJ/kg}$$

(*b*) Polytropic compression with $n = 1.3$:

$$w_{\text{comp,in}} = \frac{nRT_1}{n-1}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(n-1)/n} - 1\right]$$

$$= \frac{(1.3)(0.287\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K})(300\ \text{K})}{1.3-1}\left[\left(\frac{900\ \text{kPa}}{100\ \text{kPa}}\right)^{(1.3-1)/1.3} - 1\right]$$

$$= \mathbf{246.4\ kJ/kg}$$

(*c*) Isothermal compression:

$$w_{\text{comp,in}} = RT\ln\frac{P_2}{P_1} = (0.287\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K})(300\ \text{K})\ln\frac{900\ \text{kPa}}{100\ \text{kPa}}$$

$$= \mathbf{189.2\ kJ/kg}$$

(*d*) Ideal two-stage compression with intercooling ($n = 1.3$): In this case, the pressure ratio across each stage is the same, and its value is

$$P_x = (P_1P_2)^{1/2} = [(100\ \text{kPa})(900\ \text{kPa})]^{1/2} = 300\ \text{kPa}$$

The compressor work across each stage is also the same. Thus the total compressor work is twice the compression work for a single stage:

$$w_{\text{comp,in}} = 2w_{\text{comp I,in}} = 2\,\frac{nRT_1}{n-1}\left[\left(\frac{P_x}{P_1}\right)^{(n-1)/n} - 1\right]$$

$$= \frac{2(1.3)(0.287\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K})(300\ \text{K})}{1.3-1}\left[\left(\frac{300\ \text{kPa}}{100\ \text{kPa}}\right)^{(1.3-1)/1.3} - 1\right]$$

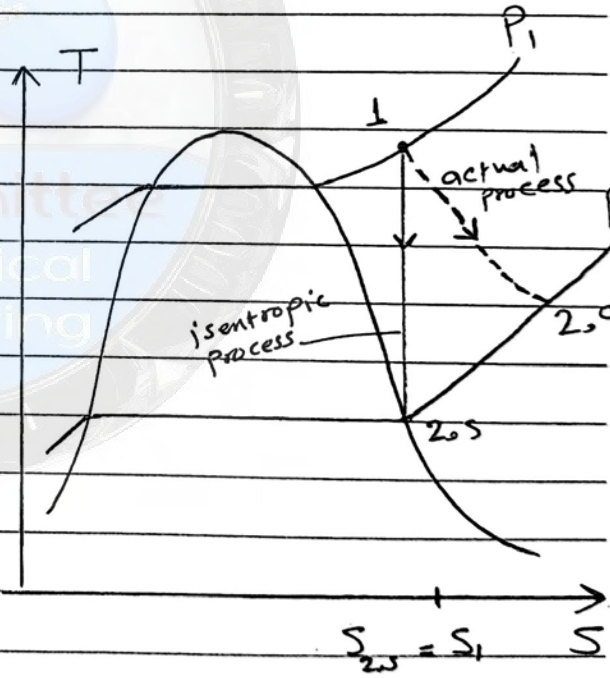
$$= \mathbf{215.3\ kJ/kg}$$

* Isentropic Efficiency of Turbines

is the ratio of the actual work output of the turbine to the work output that would be achieved if the process between the inlet state and the exit pressure were isentropic.

$$\eta_T = \frac{\text{Actual turbine work}}{\text{Isentropic turbine work}} = \frac{w_a}{w_s}$$

$$\eta_T = \frac{w_a}{w_s} = \frac{h_1 - h_{2,a}}{h_1 - h_{2s}}$$



h_1: تُقرأ من الجداول عند النقطة 1
من خلال الضغط ودرجة الحرارة
أو من خلال ال entropy

$h_{2,a}$: تُقرأ من الجداول عند النقطة 2,a
والحرف a يعني ← actual
من خلال الضغط ودرجة الحرارة

$h_{2,s}$: تُقرأ من الجداول عند النقطة 2,s
والحرف s يعني isentropic
من خلال درجة الحرارة و الضغط أو
من خلال ال entropy

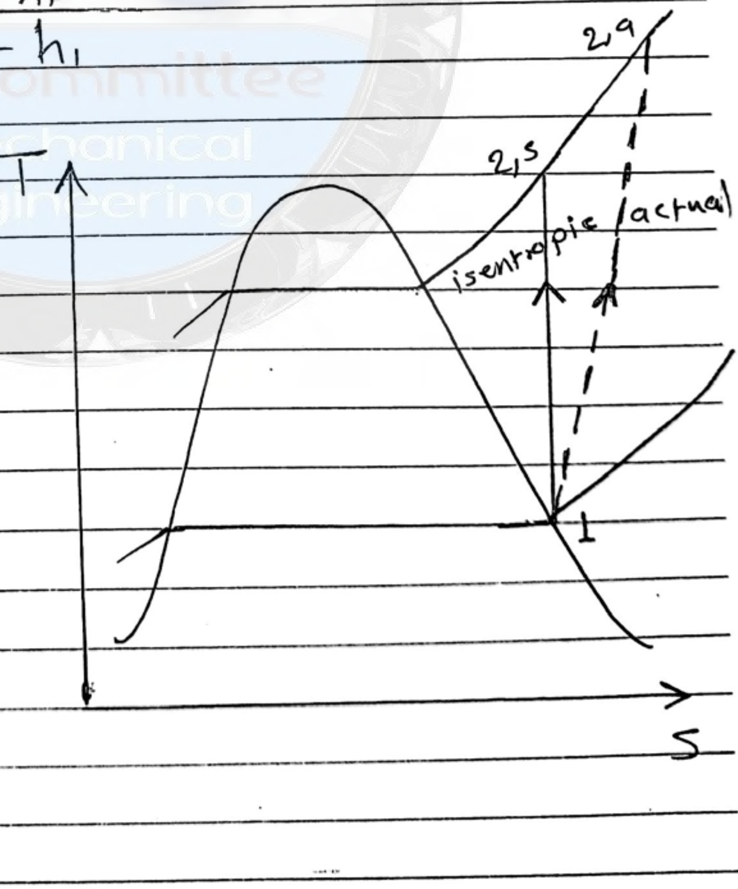
ملاحظة: النقطة 2,s قد تكون داخل القبة مما يعني أننا قد نحتاج لإيجاد ال quality "x" أو قد تكون على حد القبة كما في الشكل مما يعني أن x=1 أو قد تكون خارج حدود القبة أصلاً وفي هذه الحالة نستفيد من المعلومة التالية: $S_{2,s} = S_1$

Isentropic Efficiency of Compressors

- is defined as the ratio of the work input required to raise the pressure of a gas to a specified value in an isentropic manner to the actual work input.

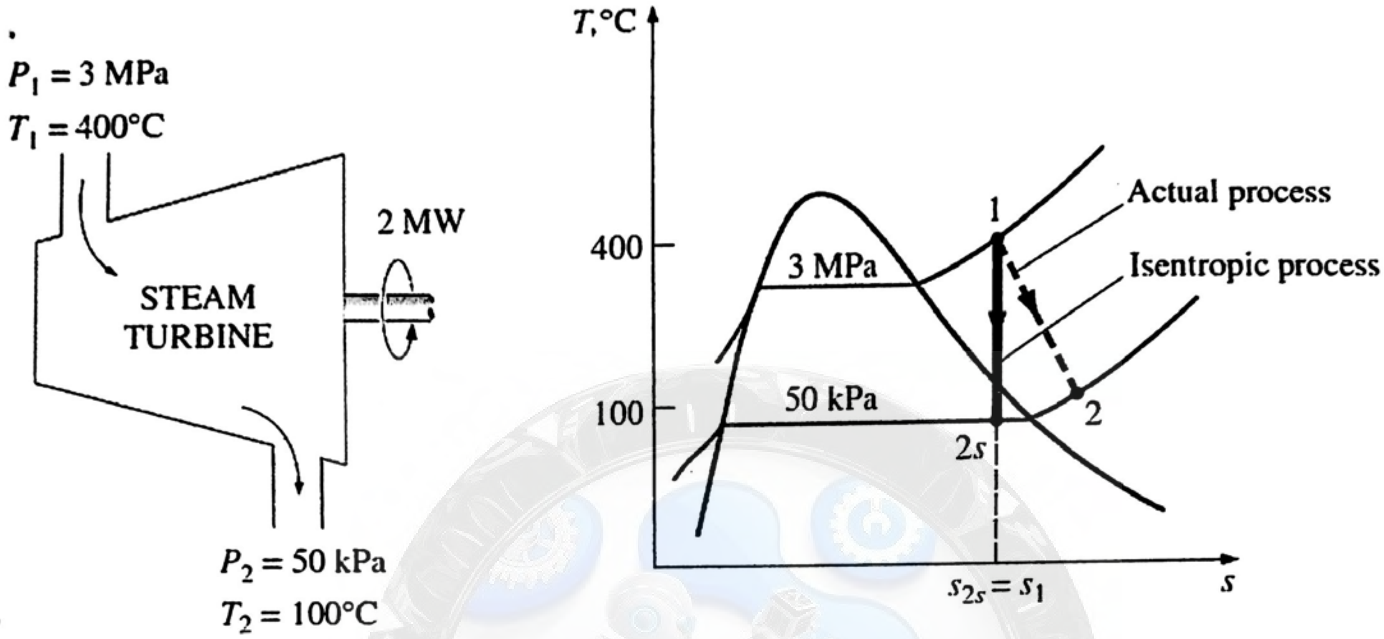
$$\eta_C = \frac{\text{Isentropic compressor work}}{\text{Actual compressor work}} = \frac{W_s}{W_a}$$

$$\eta_C = \frac{W_s}{W_a} = \frac{h_{2,s} - h_1}{h_{2,a} - h_1}$$



EXAMPLE 7–14 **Isentropic Efficiency of a Steam Turbine**

Steam enters an adiabatic turbine steadily at 3 MPa and 400°C and leaves at 50 kPa and 100°C. If the power output of the turbine is 2 MW, determine (*a*) the isentropic efficiency of the turbine and (*b*) the mass flow rate of the steam flowing through the turbine.



Solution

(*a*) The enthalpies at various states are

State 1: $\left.\begin{array}{l} P_1 = 3\text{ MPA} \\ T_1 = 400°\text{C}\end{array}\right\}$ $\begin{array}{l} h_1 = 3231.7\text{ kJ/kg} \\ s_1 = 6.9235\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}\end{array}$ (Table A–6)

State 2a: $\left.\begin{array}{l} P_{2a} = 50\text{ kPa} \\ T_{2a} = 100°\text{C}\end{array}\right\}$ $h_{2a} = 2682.4\text{ kJ/kg}$ (Table A–6)

The exit enthalpy of the steam for the isentropic process h_{2s} is determined from the requirement that the entropy of the steam remain constant ($s_{2s} = s_1$):

State 2s: $\begin{array}{l} P_{2s} = 50\text{ kPa} \\ (s_{2s} = s_1)\end{array}$ $\rightarrow$ $\begin{array}{l} s_f = 1.0912\text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \\ s_g = 7.5931\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}\end{array}$ (Table A–5)

Obviously, at the end of the isentropic process steam exists as a saturated mixture since $s_f < s_{2s} < s_g$. Thus we need to find the quality at state 2*s* first:

$$x_{2s} = \frac{s_{2s} - s_f}{s_{fg}} = \frac{6.9235 - 1.0912}{6.5019} = 0.897$$

$$h_{2s} = h_f + x_{2s}h_{fg} = 340.54 + 0.897(2304.7) = 2407.9\text{ kJ/kg}$$

By substituting these enthalpy values into Eq. 7–61, the isentropic efficiency of this turbine is determined to be

$$\eta_T \cong \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}} = \frac{3231.7 - 2682.4}{3231.7 - 2407.9} = \mathbf{0.667, or\ 66.7\%}$$

(*b*) The mass flow rate of steam through this turbine is determined from the energy balance for steady-flow systems:

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

$$\dot{m}h_1 = \dot{W}_{a,out} + \dot{m}h_{2a}$$

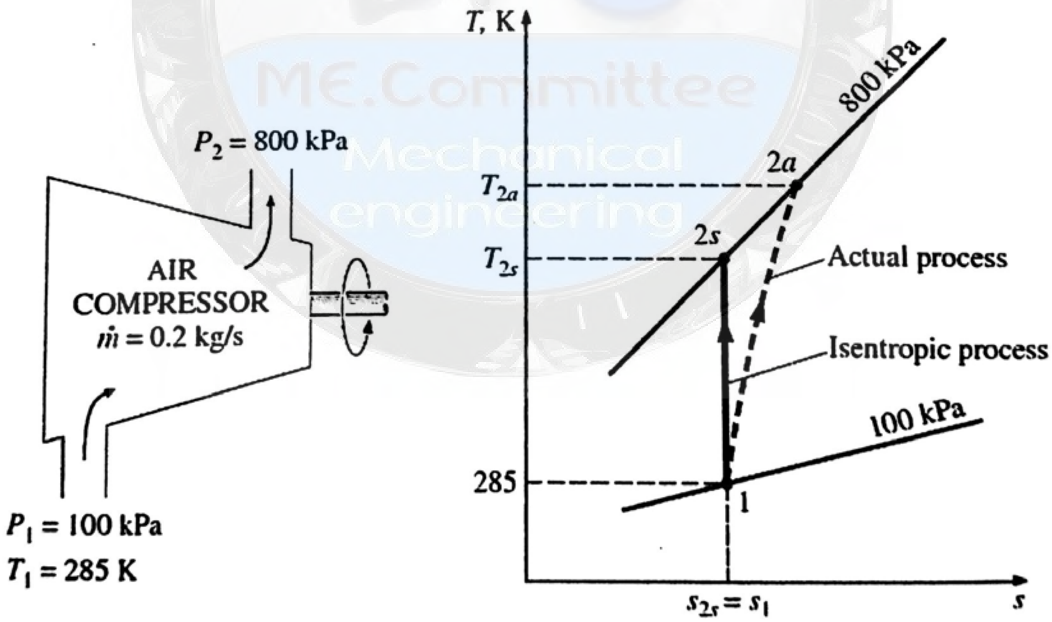
$$\dot{W}_{a,out} = \dot{m}(h_1 - h_{2a})$$

$$2\text{ MW}\left(\frac{1000\text{ kJ/s}}{1\text{ MW}}\right) = \dot{m}(3231.7 - 2682.4)\text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m} = 3.64\text{ kg/s}$$

EXAMPLE 7–15 Effect of Efficiency on Compressor Power Input

Air is compressed by an adiabatic compressor from 100 kPa and 12°C to a pressure of 800 kPa at a steady rate of 0.2 kg/s. If the isentropic efficiency of the compressor is 80 percent, determine (*a*) the exit temperature of air and (*b*) the required power input to the compressor.



Solution

(*a*)

$$T_1 = 285 \text{ K} \quad \rightarrow \quad h_1 = 285.14 \text{ kJ/kg} \qquad \text{(Table A–17)}$$

$$(P_{r1} = 1.1584)$$

$$P_{r2} = P_{r1}\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 1.1584\left(\frac{800 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}}\right) = 9.2672$$

$$P_{r2} = 9.2672 \quad \rightarrow \quad h_{2s} = 517.05 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_C \cong \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \quad \rightarrow \quad 0.80 = \frac{(517.05 - 285.14) \text{ kJ/kg}}{(h_{2a} - 285.14) \text{ kJ/kg}}$$

$$h_{2a} = 575.03 \text{ kJ/kg} \quad \rightarrow \quad T_{2a} = \mathbf{569.5 \text{ K}}$$

(*b*) The required power input to the compressor is determined from the energy balance for steady-flow devices,

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

$$\dot{m}h_1 + \dot{W}_{a,\text{in}} = \dot{m}h_{2a}$$

$$\dot{W}_{a,\text{in}} = \dot{m}(h_{2a} - h_1)$$

$$= (0.2 \text{ kg/s})[(575.03 - 285.14) \text{ kJ/kg}]$$

$$= \mathbf{58.0 \text{ kW}}$$

فليتك تحلو والحياة مريرة
وليتك ترضى والأنام غضاب

وليت الذي بيني وبينك عامر
وبيني وبين العالمين خراب

إذا صح منك الود فالكل هين
وكل الذي فوق التراب تراب

* Isentropic Efficiency of Nozzles

_ is the ratio of the actual kinetic energy of the fluid at the nozzle exit to the kinetic energy value at the exit of an isentropic nozzle for the same inlet state and exit pressure.

$$\eta_N = \frac{\text{Actual KE at nozzle exit}}{\text{Isentropic KE at nozzle exit}} = \frac{V_{2,a}^2}{V_{2,s}^2}$$

$$\eta_N = \frac{V_{2,a}^2}{V_{2,s}^2} = \frac{h_1 - h_{2,a}}{h_1 - h_{2,s}}$$

* Entropy Balance

1. For closed system:

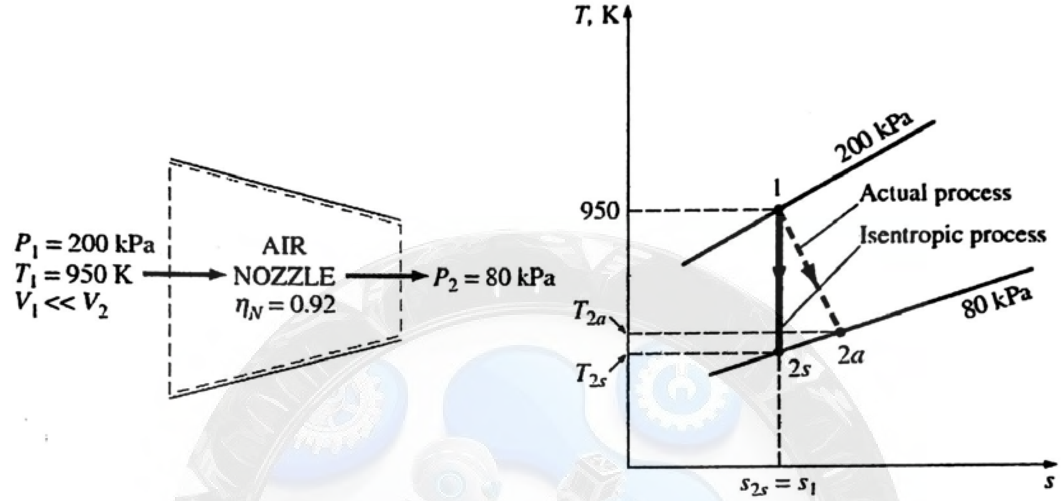
$$* \; S_2 - S_1 = \frac{Q}{T} + S_{gen} \qquad \text{"kJ/K"}$$

* الأصدقاء الحقيقيون كالنجوم ، لا تراها دائماً لكنك تعلم أنها موجودة في السماء

Raid Hammouri
0788195339

EXAMPLE 7–16 **Effect of Efficiency on Nozzle Exit Velocity**

Air at 200 kPa and 950 K enters an adiabatic nozzle at low velocity and is discharged at a pressure of 80 kPa. If the isentropic efficiency of the nozzle is 92 percent, determine (*a*) the maximum possible exit velocity, (*b*) the exit temperature, and (*c*) the actual exit velocity of the air. Assume constant specific heats for air.



$$\frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{P_{2s}}{P_1}\right)^{(k-1)/k}$$

$$T_{2s} = T_1\left(\frac{P_{2s}}{P_1}\right)^{(k-1)/k} = (950\text{ K})\left(\frac{80\text{ kPa}}{200\text{ kPa}}\right)^{0.354/1.354} = 748\text{ K}$$

$$e_{\text{in}} = e_{\text{out}}$$

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2} = h_{2s} + \frac{V_{2s}^2}{2}$$

$$V_{2s} = \sqrt{2(h_1 - h_{2s})} = \sqrt{2c_{p,\text{avg}}(T_1 - T_{2s})}$$

$$= \sqrt{2(1.099\text{ kJ/kg}\cdot\text{K})[(950 - 748)\text{ K}]\left(\frac{1000\text{ m}^2/\text{s}^2}{1\text{ kJ/kg}}\right)}$$

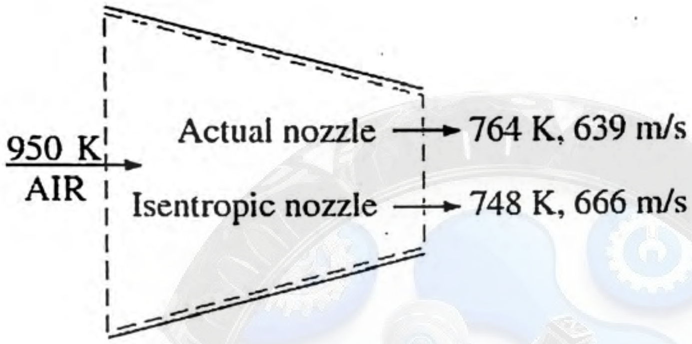
$$= 666\text{ m/s}$$

(*b*) The actual exit temperature of the air is higher than the isentropic exit temperature evaluated above and is determined from

$$\eta_N \cong \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}} = \frac{c_{p,\text{avg}}(T_1 - T_{2a})}{c_{p,\text{avg}}(T_1 - T_{2s})}$$

or

$$0.92 = \frac{950 - T_{2a}}{950 - 748} \quad \rightarrow \quad T_{2a} = 764 \text{ K}$$



(*c*) The actual exit velocity of air can be determined from the definition of isentropic efficiency of a nozzle,

$$\eta_N = \frac{V_{2a}^2}{V_{2s}^2} \quad \rightarrow \quad V_{2a} = \sqrt{\eta_N V_{2s}^2} = \sqrt{0.92(666 \text{ m/s})^2} = 639 \text{ m/s}$$

<u>وصفات مجرّبه :</u>

١. اذا ضاقت الدنيا عليك بما رحبت وادلهمت الخطوب من كل حدب وصوب فقم فتوضأ ثم قم بين يدي الله مصليًا في وقت قد نام فيه الناس واشكو الى من بيده الامر كلّه وانرف دموع الخشية من الله ثم اصلح علاقتك مع والديك فرضاهما من رضى الله وتصدّق ببعض من مالك رجاء ان يحسن اليك رب البشر والزم الاستغفار وابشر بالفرج قال الله : ((ومن يتق الله يجعل له مخرجا ويرزقه من حيث لا يحتسب ومن يتوكل على الله فهو حسبه))

٢. عليك بورق الإخلاص وعليك بعروق الصبر وعليك بعصير التواضع ضع ذلك في إناء التقوى ثم صب عليه ماء الخشية و أوقد عليه نار الحزن وصفه بماء المراقبة و تناوله بكف الصدق و أشربه بماء الاستغفار وتغرغر بماء الندم و ابعد نفسك عن الحرص و الطمع فستشفى بأذن الله

2. For open system:

* $S_2 - S_1 = \frac{Q}{T} + S_{gen} + \sum m_i s_i - \sum m_e s_e$ "kJ/K"

I. if the system is steady flow:

$$\dot{S}_{gen} = \sum \dot{m}_e s_e - \sum \dot{m}_i s_i - \sum \frac{\dot{Q}}{T}$$ "kW/K"

II. if the system is steady flow & adiabatic:

$$\dot{S}_{gen} = \dot{m}(s_e - s_i)$$

Q7-23 $\Delta s = \frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_L}{T_L} = \frac{-100}{1200} + \frac{100}{600} = 0.0833$ kJ/k

Q7-29

$\Delta s = m(s_2 - s_1)$

$\left.\begin{array}{l} P_1 = 150\,kPa \\ x_1 = 0.25 \end{array}\right\} s_1 = s_f + x s_{fg}$

$\Delta s = 19.2\,kJ/k$

$\left.\begin{array}{l} V_2 = V_1 \\ \text{Sat. vapor} \end{array}\right\} s_2 = 6.7298$ kJ/kg.k

Q7-49

$W_{in} = u_2 - u_1$

$\left.\begin{array}{l} P_1 = 70\,kPa \\ T_1 = 100\,°c \end{array}\right\} \begin{array}{l} u_1 = \checkmark \\ s_1 = \checkmark \end{array}$

$W_{in} = 887.1\,kJ/kg$

$\left.\begin{array}{l} P_2 = 4000\,kPa \\ s_2 = s_1 \end{array}\right\} \begin{array}{l} u_2 = \checkmark \\ T_2 = 664°c \end{array}$

Q7-45

المساحة تحت المنحنى

$q = 71.5\,kJ/kg$

Q7-78 $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1} \rightarrow T_2 = 381.7K$

$\Delta s = m\left[C_v \ln\frac{T_2}{T_1} + R\ln\frac{V_2}{V_1}\right]$

$\Delta s = -0.0384\,kJ/k$

Q7-83 $u_2 = u_1$ I^{st} law بعد تطبيق *

$T_2 = T_1$

$$\Delta s = N\left[\bar{c}_v \ln \cancel{\frac{T_2}{T_1}} + R_u \ln \frac{V_2}{V_1}\right] = N R_u \ln \frac{V_2}{V_1}$$

zero

$\Delta s = 28.81\ kJ/K$

Q7-84

(a) $T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\left(\frac{k-1}{k}\right)} = 565\ K$

* **(b)** $w_{in} = c_v (T_2 - T_1) = 197\ kJ/kg$

** (b) $w_{in} = u_2 - u_1$ $T_1 = 295 \rightarrow u_1 = \checkmark$

$P_{r_1} = \checkmark$

$= 197.6\ kJ/kg$ $P_{r_2} = \frac{P_2}{P_1} P_{r_1} \rightarrow T_2 = \checkmark$

$u_2 = \checkmark$

Q7-104

$W_{in} = \dot{m} v_1 (P_2 - P_1)$

$P_2 = 5100\ kPa$

Q7-105 $\frac{W_{turb}}{W_{pump}} = \frac{2024.2}{5.041} = 402$

Q7-108 تطبيق مباشر على القوانين

Q7-115

$\dot{W}_{a,out} = \eta_T \dot{W}_{s,out}$

$= 1649\ kW$

Q7-120 $\eta_T = \frac{\dot{W}_a}{\dot{W}_s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2,s}} = 60.3\%$

Q7-126 (a) $\eta_c = \frac{h_{2,s} - h_1}{h_{2,a} - h_1} = 81.9\%$

(b) $h_{2,s} = 508.72\ kJ/kg \longrightarrow T_{2s} = 505.5K$

Q7-135 (a) $\dot{Q}_{in} = \dot{m}\, cp\, (T_{out} - T_{in})_{cold} = 238.3 kW$

(b) $\dot{S}_{gen} = \dot{m}_{cold}\, cp \ln \frac{T_2}{T_1} + \dot{m}_{hot}\, cp \ln \frac{T_4}{T_3}$

$= 0.06263\ kW/K$

Q7-149

(a) $h_2 = h_1 - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2000} = 3277$

$\left.\begin{array}{l} P_2 = 1\,MPa \\ h_{2a} = 3277\ kJ/kg \end{array}\right\} \begin{array}{l} T_2 = 406\ °C \\ S_2 = \end{array}$

(b) $\dot{S}gen = \dot{m}(s_2 - s_1) = 0.07829\ kW/K$

Q7-150 $\dot{Q}_{out} = \dot{m}\,(h_1 - h_2) - \dot{W}_{out} = 282.6\ kW$

$\dot{S}_{gen} = \dot{m}(s_2 - s_1) + \frac{\dot{Q}_{out}}{T_{b,surr}} = 11.4\ kW/K$

1. Steam is condensed at a constant temperature of 30°C as it flows through the condensor of a power plant by rejecting heat at a rate of 55 MW. The rate of entropy change of steam as it flows through the condenser is :

(*a*) _1.83 MW/K (*b*) _0.18 MW/K (*c*) 0 MW/K
(*d*) 0.56 MW/K (*e*) 1.22 MW/K

2. Steam is compressed from 6 MPa and 300°C to 10 MPa isentropically. The final temperature of the steam is :

(*a*) 290°C (*b*) 300°C (*c*) 311°C (*d*) 371°C (*e*) 422°C

3. An apple with an average mass of 0.15 kg and average specific heat of 3.65 kJ/kg · °C is cooled from 20°C to 5°C. The entropy change of the apple is :

(*a*) _0.0288 kJ/K (*b*) _0.192 kJ/K (*c*) _0.526 kJ/K
(*d*) 0 kJ/K (*e*) 0.657 kJ/K

4. A piston-cylinder device contains 5 kg of saturated water vapor at 3 MPa. Now heat is rejected from the cylinder at constant pressure until the water vapor completely condenses so that the cylinder contains saturated liquid at 3 MPa at the end of the process. The entropy change of the system during this process is :

(*a*) 0 kJ/K (*b*) _3.5 kJ/K (*c*) _12.5 kJ/K
(*d*) _17.7 kJ/K (*e*) _19.5 kJ/K

5. Helium gas is compressed from 1 atm and 25°C to a pressure of 10 atm adiabatically. The lowest temperature of helium after compression is :

(*a*) 25°C (*b*) 63°C (*c*) 250°C (*d*) 384°C (*e*) 476°C

6. Steam expands in an adiabatic turbine from 8 MPa and 500°C to 0.1 MPa at a rate of 3 kg/s. If steam leaves the turbine as saturated vapor, the power output of the turbine is :
(*a*) 2174 kW (*b*) 698 kW (*c*) 2881 kW (*d*) 1674 kW (*e*) 3240 kW

7. Argon gas expands in an adiabatic turbine from 3 MPa and 750°C to 0.2 MPa at a rate of 5 kg/s. The maximum power output of the turbine is :

(*a*) 1.06 MW (*b*) 1.29 MW (*c*) 1.43 MW (*d*) 1.76 MW (*e*) 2.08 MW

8. A unit mass of a substance undergoes an irreversible process from state 1 to state 2 while gaining heat from the surroundings at temperature T in the amount of q. If the entropy of the substance is $s1$ at state 1, and $s2$ at state 2, the entropy change of the substance Δs during this process is :

(*a*) $\Delta s < s2 - s1$ (*b*) $\Delta s > s2 - s1$ (*c*) $\Delta s = s2 - s1$
(*d*) $\Delta s = s2 - s1 + q/T$ (*e*) $\Delta s > s2 - s1 + q/T$

9. A unit mass of an ideal gas at temperature T undergoes a reversible isothermal process from pressure $P1$ to pressure $P2$ while losing heat to the surroundings at temperature T in the amount of q. If the gas constant of the gas is R, the entropy change of the gas Δs during this process is :

(*a*) $\Delta s = R \ln(P2/P1)$ (*b*) $\Delta s = R \ln(P2/P1) - q/T$
(*c*) $\Delta s = R \ln(P1/P2)$ (*d*) $\Delta s = R \ln(P1/P2) - q/T$
(*e*) $\Delta s = 0$

10. Air is compressed from room conditions to a specified pressure in a reversible manner by two compressors: one isothermal and the other adiabatic. If the entropy change of air Δs_{isot} during the reversible isothermal compression, and Δs_{adia} during the reversible adiabatic compression, the correct statement regarding entropy change of air per unit mass is :

(*a*) $\Delta s_{isot} = \Delta s_{adia} = 0$ (*b*) $\Delta s_{isot} = \Delta s_{adia} > 0$ (*c*) $\Delta s_{adia} > 0$
(*d*) $\Delta s_{isot} < 0$ (*e*) $\Delta s_{isot} = 0$

11. Helium gas is compressed from 15°C and 5.40 m3/kg to 0.775 m3/kg in a reversible and adiabatic manner. The temperature of helium after compression is :
(*a*) 105°C (*b*) 55°C (*c*) 1734°C (*d*) 1051°C (*e*) 778°C

12. Heat is lost through a plane wall steadily at a rate of 600 W. If the inner and outer surface temperatures of the wall are 20°C and 5°C, respectively, the rate of entropy generation within the wall is :

(*a*) 0.11 W/K (*b*) 4.21 W/K (*c*) 2.10 W/K (*d*) 42.1 W/K (*e*) 90.0 W/K

13. Air is compressed steadily and adiabatically from 17°C and 90 kPa to 200°C and 400 kPa. Assuming constant specific heats for air at room temperature, the isentropic efficiency of the compressor is :

(*a*) 0.76 (*b*) 0.94 (*c*) 0.86 (*d*) 0.84 (*e*) 1.00

14. Argon gas expands in an adiabatic turbine steadily from 500°C and 800 kPa to 80 kPa at a rate of 2.5 kg/s. For isentropic efficiency of 80 percent, the power produced by the turbine is :

(*a*) 194 kW (*b*) 291 kW (*c*) 484 kW (*d*) 363 kW (*e*) 605 kW

15. Water enters a pump steadily at 100 kPa at a rate of 35 L/s and leaves at 800 kPa. The flow velocities at the inlet and the exit are the same, but the pump exit where the discharge pressure is measured is 6.1 m above the inlet section. The minimum power input to the pump is :

(*a*) 34 kW (*b*) 22 kW (*c*) 27 kW (*d*) 52 kW (*e*) 44 kW

16. Air at 15°C is compressed steadily and isothermally from 100 kPa to 700 kPa at a rate of 0.12 kg/s. The minimum power input to the compressor is :

(*a*) 1.0 kW (*b*) 11.2 kW (*c*) 25.8 kW (*d*) 19.3 kW (*e*) 161 kW

17. Air is to be compressed steadily and isentropically from 1 atm to 25 atm by a two-stage compressor. To minimize the total compression work, the intermediate pressure between the two stages must be :

(*a*) 3 atm (*b*) 5 atm (*c*) 8 atm (*d*) 10 atm (*e*) 13 atm

18. Helium gas enters an adiabatic nozzle steadily at 500°C and 600 kPa with a low velocity, and exits at a press of 90 kPa. The highest possible velocity of helium gas at the nozzle exit is :

(*a*) 1475 m/s (*b*) 1662 m/s (*c*) 1839 m/s (*d*) 2066 m/s (*e*) 3040 m/s

19. Combustion gases with a specific heat ratio of 1.3 enter an adiabatic nozzle steadily at 800°C and 800 kPa with a low velocity, and exit at a pressure of 85 kPa. The lowest possible temperature of combustion gases at the nozzle exit is :

(*a*) 43°C (*b*) 237°C (*c*) 367°C (*d*) 477°C (*e*) 640°C

20. Steam enters an adiabatic turbine steadily at 400°C and 3 MPa, and leaves at 50 kPa. The highest possible percentage of mass of steam that condenses at the turbine exit and leaves the turbine as a liquid is :

(*a*) 5% (*b*) 10% (*c*) 15% (*d*) 20% (*e*) 0%

21. Liquid water enters an adiabatic piping system at 15°C at a rate of 8 kg/s. If the water temperature rises by 0.2°C during flow due to friction, the rate of entropy generation in the pipe is :

(*a*) 23 W/K (*b*) 55 W/K (*c*) 68 W/K (*d*) 220 W/K (*e*) 443 W/K

22. Liquid water is to be compressed by a pump whose isentropic efficiency is 75 percent from 0.2 MPa to 5 MPa at a rate of 0.15 m3/min. The required power input to this pump is :

(*a*) 4.8 kW (*b*) 6.4 kW (*c*) 9.0 kW (*d*) 16.0 kW (*e*) 12 kW

23. Steam enters an adiabatic turbine at 8 MPa and 500°C at a rate of 18 kg/s, and exits at 0.2 MPa and 300°C. The rate of entropy generation in the turbine is :

(*a*) 0 kW/K (*b*) 7.2 kW/K (*c*) 21 kW/K (*d*) 15 kW/K (*e*) 17 kW/K

24. Helium gas is compressed steadily from 90 kPa and 25°C to 600 kPa at a rate of 2 kg/min by an adiabatic compressor. If the compressor consumes 70 kW of power while operating, the isentropic efficiency of this compressor is :

(*a*) 56.7% (*b*) 83.7% (*c*) 75.4%

(*d*) 92.1% (*e*) 100.0%

حكمة : الرجل رجل في بعض الأوقات، والأنثى أنثى في جميع الأوقات

شعر اعجبني :

علم العليم وعقل العاقل اختلفا
من ذا الذي منهما قد احرز الشرفا ؟
فالعلم قال : انا احرزت غايته
والعقل قال : انا الرحمن بي عرفا
فأفصح العلم افصاحا وقال له :
بأينا الله في فرقانه اتصفا ؟
فبان للعقل ان العلم سيده
فقبل العقل رأس العلم وانصرفا

اخوكم رائد الحموري ٠٧٨٨١٩٥٣٣٩

☺

1. $T_1 = 30\ ^\circ C$

$Q_{out} = 55\ MW$

Sol. $\Delta S_{isothermal} = \frac{Q_{out}}{T_{sys.}} = \frac{55}{(30+273)}$

$\Delta S_{sys} = -0.18\ MW/K$

* الإشارة السالبة لأن النظام يبرد والإشارة الموجبة يعني أن النظام يُسخن

2. H_2O

$P_1 = 6000\ kPa$, $P_2 = 10000\ kPa$

$T_1 = 300\ ^\circ C$

isentropically $S1 = S2$

$\left.\begin{matrix} P_1 = 6000\ kPa \\ T_1 = 300\ ^\circ C \end{matrix}\right\} S_1 = S_2 = 6.0703$

$\left.\begin{matrix} P_2 = 10\ MPa \\ S_2 = 6.0703 \end{matrix}\right\}$ table A-6 Check the Value, you will make interpolation

$P = 10\ MPa$

T	S
350	5.946
X	6.0703
400	6.2141

* اعمل "interpolation" لحالك قرّبت تخلص المادة عيب تقول "ما بعرفش" ☺

$X = T_2 = 371\ ^\circ C$

3. $C = 3.65$ kJ/kg.K "from table A-3.c"

$m = 0.12$ kg

$T_1 = 25°C$, $T_2 = 5°C$

$\Delta s = m * C * \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$ for liquids & solids : تذكر

$= 0.12 * 3.65 * \ln\left(\frac{5+273}{25+273}\right)$

$= -0.0304$ kJ/K

4. H_2O

Saturated water Vapor → X تحت القبة يعني قيمة الـ

$P_1 = 3000$ kPa

$m = 5$ kg

s_{fg} at 3000 kPa $= 3.5402$ from table A-5

Sol.

$\Delta s = -m * s_{fg}$

$= -5 * 3.5402$

$= -17.7$ kJ/K

5. Helium "He" ideal gas

$k = 1.667$ table A-2.a

$P_1 = 1 atm = 101.325$ kPa , $T_1 = 25°C$

$P_2 = 10 atm = 1013.25$ kPa

lowest $\xrightarrow{\text{تعني}}$ reversible الحالة المثالية

reversible + adiabatic = Isentropic

* نستخدم العلاقات حسب توازن الطاقة
ولو رجعت إلى الشرح
تجد في هذه الحالة ٣ نسب
علاقة لكل هذه العلاقة

$S_1 = S_2$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$\frac{T_2}{25+273} = \left(\frac{10 \text{ atm}}{1 \text{ atm}}\right)^{\left(\frac{1.667-1}{1.667}\right)}$$

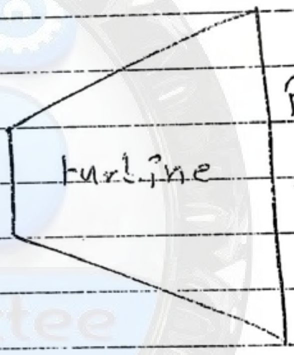
$T_2 = 748.7 \text{ K}$

$T_2 = 748.7 - 273 \simeq 476 \ ^\circ C$

6. "H_2O"

saturated vapor

$X_2 = 1$



$\left.\begin{array}{l} P_1 = 4000 \text{ kPa} \\ T_1 = 500 \ ^\circ C \end{array}\right\}$ from table A-6 $h_1 = 3446 \text{ kJ/kg}$

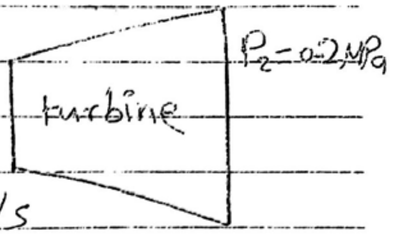
$\left.\begin{array}{l} P_2 = 100 \text{ kPa} \\ X_2 = 1 \end{array}\right\}$ $h_2 = h_g = 2675 \text{ kJ/kg}$

$\dot{W}_{out} = \dot{m}(h_1 - h_2)$

$\dot{W}_{out} = 2 * (3446 - 2675)$

$\dot{W}_{out} = 1542 \text{ kW}$

7. Argon "Ar" → ideal gas



$C_p = 0.5203$ kJ/kg K
$K = 1.667$
"from table A-2.a"

$P_1 = 3\,MPa$
$T_1 = 750\,°C$
$\dot{m} = 5$ kg/s

maximum power $\xrightarrow{\text{تعني}}$ Reversible

Reversible + adiabatic = isentropic "$S_1 = S_2$"

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{K-1}{K}} \rightarrow \frac{T_2}{750+273} = \left(\frac{0.2}{3}\right)^{\frac{1.667-1}{1.667}}$$

$$T_2 = 346.2\,K = 73.2\,°C$$

$$\dot{W}_{max} = \dot{m} * C_p * (T_1 - T_2)$$

$$\dot{W}_{max} = 5\,\frac{\cancel{kg}}{s} * 0.5203\,\frac{kJ}{\cancel{kg.K}} * (750 - 73.2)\,\cancel{K}$$

$= 1760$ kW
$= 1.76$ MW

8. (C) $\Delta S = S_2 - S_1$

9. (C) $\Delta S = R \ln(P_1/P_2)$

10. (d) $\Delta S_{isot} < 0$

م. رائد الحوري
0788195339

11. Helium "He" $\longrightarrow$ ideal gas

$k = 1.667$

$T_1 = 27\,^\circ C$, $V_1 = 3.5\, m^3/kg$

$T_2 = ??$, $V_2 = 0.775\, m^3/kg$

reversible and adiabatic = isentropic "$S_1 = S_2$"

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$$

* اخترنا هذه العلاقة حسب المعطيات المتوفرة في السؤال

$$\frac{T_2}{27+273} = \left(\frac{3.5}{0.775}\right)^{(1.667-1)}$$

$T_2 = 820\, K \longrightarrow T_2 = 547\,^\circ C$

12.

$Q = 600\, W$

$T_1 = 20\,^\circ C = 293\, K$

$T_2 = 5\,^\circ C = 278\, K$

Steadily $\xrightarrow{\text{تعني}}$ $\frac{d(\,)}{dt}$ = zero

Sol.

$$\dot{S}_{in} - \dot{S}_{out} + \dot{S}_{gen} = \cancel{dS}$$

$$\frac{Q}{T_1} - \frac{Q}{T_2} + S_{gen} = 0$$

$$\frac{600}{293} - \frac{600}{278} + S_{gen} = 0$$

$S_{gen} = 0.11\, W/K$

13. Air "ideal gas"

$C_p = 1.005\ kJ/kg.k$ } table A-2.a

$k = 1.4$

$T_1 = 17°C = 290\ k$ $\qquad$ $T_2 = 200°C = 473\ k$

$P_1 = 90\ kPa$ $\qquad$ $P_2 = 400\ kPa$

* isentropic

Sol.

$$\eta_c = \frac{W_s}{W_a} \text{ ------ } *$$

$$W_s = C_p * (T_{2,s} - T_1) \text{ ------ } **$$

$$= 1.005 * (T_{2,s} - 290)$$

$$\frac{T_{2,s}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow T_{2,s} = 290\left(\frac{400}{90}\right)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

$T_{2,s} = 444\ k$ ------ ** عوّض في معادلة

$W_s = 1.005 * (444 - 290) = 154.77$ "kJ/kg"

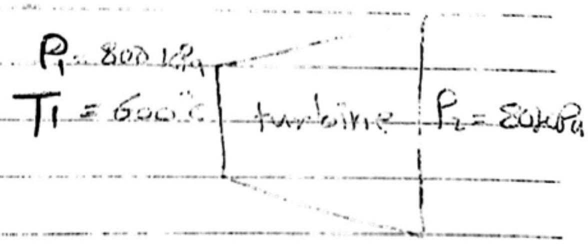
$W_a = C_p * (T_2 - T_1)$

$= 1.005 * (473 - 290) = 184$ "kJ/kg"

* عوّض W_a & W_s في معادلة

$$\eta_c = \frac{154.77}{184} = 0.84$$

14. Argon "Ar" ideal gas



$C_p = 0.5203\ kJ/kg.K$

$k = 1.667$

$\dot{m} = 2.5\ kg/s$

$\eta_T = 0.88$

Sol. $\eta_T = \frac{W_a}{W_s}$

$W_a = C_p * (T_2 - T_1)$, $T_2 = ??$

$W_s = C_p * (T_1 - T_{2,s})$

$\frac{T_{2,s}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$

$T_{2,s} = 873 * \left(\frac{80}{800}\right)^{\frac{1.667-1}{1.667}} = 347.5\ K$

$W_s = 0.5203 * (-347.5 + 873)$

$W_s = 273.4\ kJ/kg$

$\eta_T = \frac{W_a}{W_s} \longrightarrow W_a = 0.88 * 273.4$

$W_a = 240.6\ kJ/kg$ * انتبه للوحدات عشان الله *

$W_a = 240.6 * 2.5 \simeq 602\ kW$

15. Water "H_2O" , pump الجهاز هو :

$P_1 = 100\ kPa$, $P_2 = 800\ kPa$
$T_1 = 20\ °C$
$g = 9.81\ m/s^2$ تسارع الجاذبية الأرضية
$h = 6.1\ m$
$\dot{V} = 35\ L/s = 0.035\ m^3/s$, $1\ m^3 = 1000$ Liter

Sol.

$P_1 = 100\ kPa$
$T_1 = 20\ °C$ } $v_1 = 0.001002\ m^3/kg$

* بعد أن تذهب إلى "table A-5" وتقارن درجة الحرارة تكتشف أن حالة السائل هي C.L وتذهب إلى جدول A-7 فتجد أقل قيمة للضغط هي 5 MPa فترجع إلى جدول A-4 عند درجة حرارة 20° وتوخذ v_f

$$m = \frac{\dot{V}}{v} = \frac{0.035}{0.001002}$$

$m = 35\ kg$

$$\dot{W}_b = \dot{V} * (P_2 - P_1)$$
$$= 0.035 * (800 - 100) = 24.5\ kW$$

$$P.e = m * g * h$$
$$= 35 * 9.81 * 6.1$$
$$= 2094\ W = 2.1\ kW$$

$$W_{min} = 24.5 + 2.1$$
$$= 26.6\ kW \simeq 27\ kW$$

16. Air , compressed

$C_p = 1.005\ kJ/kg\cdot K$
$R = 0.287\ kJ/kg\cdot K$
$C_v = 0.718\ kJ/kg\cdot K$
} from table A-2.a

$P_1 = 100\ kPa$, $P_2 = 700\ kPa$
$T_1 = 15\ ^\circ C = 288\ K$
$\dot{m} = 0.12\ kg/s$

* isothermally

$$W_{in} = \dot{m} * R * T * \ln(P_2/P_1)$$

$$W_{in} = 0.12 * 0.287 * 288 * \ln\left(\frac{700}{100}\right)$$

$$W_{in} = 19.3\ kW$$

17. Air , compressed isentropically

كلمات مفتاحية لفهم السؤال والمساعدة على حلّه

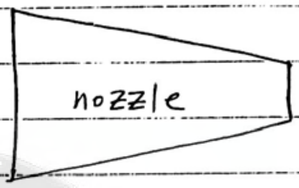
$P_1 = 1\ atm$, $P_2 = 16\ atm$

Sol. $P_x = \sqrt{P_1 P_2}$

$$P_x = \sqrt{16 * 1} = 4\ atm$$

18. Helium "He"
nozzle
$k = 1.667$, $C_p = 5.1926$ kJ/kg.k

$P_1 = 600$ kPa
$T_1 = 500\,^\circ C$
$V_{el} \simeq$ Zero



$P_2 = 90$ kPa

highest possible + adiabatic $\longrightarrow$ $S_1 = S_2$

<u>Sol.</u>

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_2 = 773 * \left(\frac{90}{600}\right)^{\frac{1.667-1}{1.667}} = 362 \text{ k}$$

$$\cancel{\frac{V_{el_1}^2}{2*1000}} + (C_p * T_1) = \frac{V_{el_2}^2}{2*1000} + (C_p * T_2)$$

Zero

$$\text{Zero} + (5.1926 * 773) = \frac{V_{el_2}^2}{2000} + (5.1926 * 362)$$

$$V_{el_2} = 2066 \text{ m/s}$$

19. specific heat ratio $\equiv k$, Nozzle

$k = 1.3$

$T_1 = 800\ °C = 1073\ K$

$P_1 = 800\ kPa$, $P_2 = 85\ kPa$

Sol. $$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_2 = 1073 * \left(\frac{85}{800}\right)^{\frac{1.3-1}{1.3}}$$

$$T_2 = 639.5\ K$$

* يا جماعة أنا عارفكو ...
بالامتحان أوّل ما يطلع معك
الرقم هاد بتروح على الخيارات
وبيكون موجود معهم وبتعطه مباشرة
وبتطلع تحكي والله كان يطلع معي
الجواب بالفاصلة ليش ملك علامتي ؟!!
ما هو لأنك (تيبيبيت) هو طالب
الجواب بوحدة °C اررووحني

$$T_2 \simeq 367\ °C$$

20. H_2O , turbine

$P_1 = 5000\ kPa$, $T_1 = 400\ °C$ } table A-6: $S_1 = 6.6483\ kJ/kg.K$

$P_2 = 20\ kPa$, $S_2 = S_1 = 6.6483$ } table A-5: $S_f = 0.832\ kJ/kg.k$, $S_{fg} = 7.0752\ kJ/kg.k$

$$S_2 = S_f + [X_2 * S_{fg}] \rightarrow 6.6483 = 0.832 + [X * 7.0752]$$

$$X_2 = 0.82$$

"الرطوبة" moisture $= 1 - X_2 = 0.18 = 18\%$

21. water

$\dot{m} = 8\ kg/s$

$T_1 = 15\ ^\circ C = 288\ K$, $T_2 = 15.2\ ^\circ C = 288.2\ K$

$c_p = 4.18\ kJ/kg.K$

$S_{gen} = \dot{m} * c_p * \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$

$S_{gen} = 8 * 4.18 * \ln\left(\frac{288.2}{288}\right)$

$S_{gen} = 0.023\ kW/K$

$S_{gen} = 23\ W/K$

22. water , pump

$\eta = 0.75$

$P_2 = 5000\ kPa$, $P_1 = 200\ kPa$

$\dot{V} = 0.15\ m^3/min = 2.5 * 10^{-3}\ m^3/s$

$W_{rev} = \dot{V} * (P_2 - P_1)$

$= 2.5 * 10^{-3} * (5000 - 200)$

$= 12\ kW$

$\eta_{pump} = \frac{W_{rev}}{W_{pump}} \rightarrow W_{pump} = 12 / 0.75 = 16\ kW$

23. H_2O , turbine

$P_1 = 8000$ kPa, $T_1 = 500$ °C } table A-6: $s_1 = 6.7266$ kJ/kg.k

$P_2 = 200$ kPa, $T_2 = 300$ °C } table A-6: $S_2 = 7.8941$ kJ/kg.k

$\dot{m} = 18$ kg/s

Sol.

$$S_{gen} = \dot{m} * (S_2 - S_1)$$
$$= 18 * (7.8941 - 6.7266)$$

$$S_{gen} = 21 \text{ kw/k}$$

24. He , compressed

$C_p = 5.1926$, $k = 1.667$

$P_1 = 90$ kPa , $T_1 = 25$ °C $= 298$ k
$P_2 = 800$ kPa , $T_2 = ??$
$\dot{m} = 2$ kg/min $= 0.033$ kg/s
$W_{comp} = 80$ kw

Sol. $$\frac{T_{2,s}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \longrightarrow T_{2,s} = 714 \text{ k}$$

$$W_s = \dot{m} * C_p * (T_{2,s} - T_1) = 72 \text{ kw}$$

$$\eta_{comp} = \frac{W_s}{W_{comp}} = \frac{72}{80} = 90.1\%$$