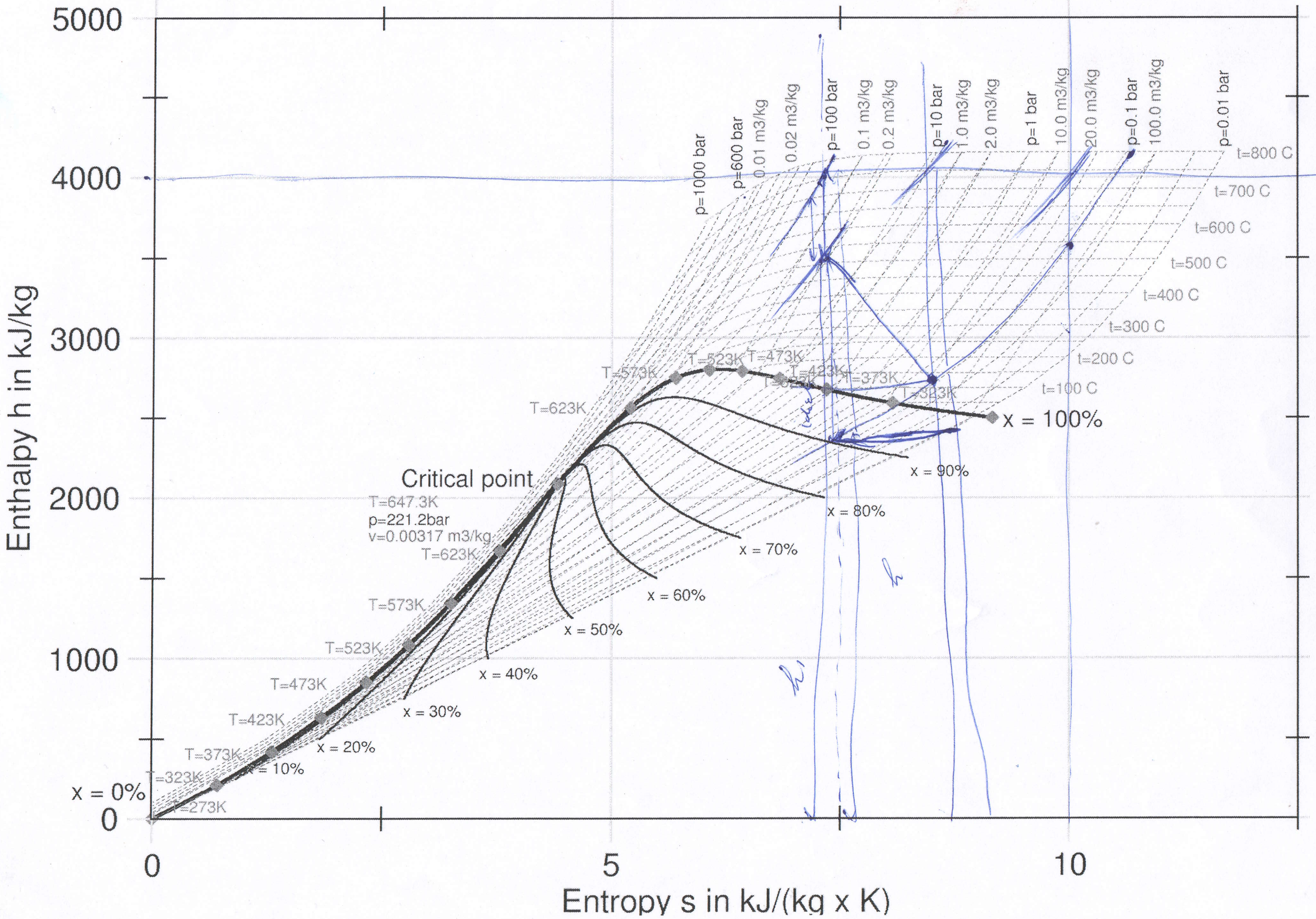
Parte 1

Turbomachine II

Mollier-h, s Diagram

for Water Steam



Definition :

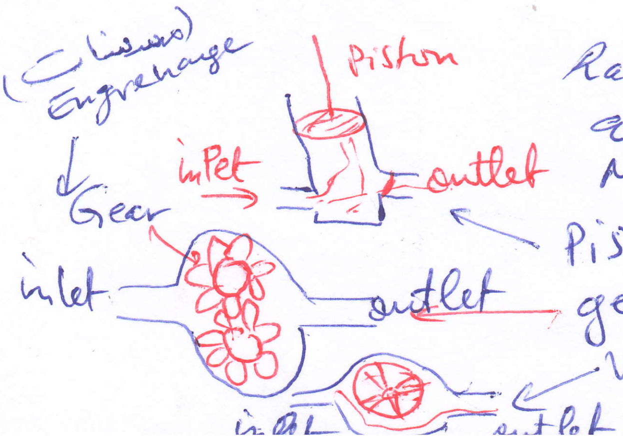
· Turbomachinery I → Partie I. ①

كل المعدات التي تنقل الطاقة من أو إلى المائع وذلك عن طريق حركة ريش
ذي المضخة مثلا الريشة تعطي طاقة للمائع والعكس في التوربينة طاقة المائع تؤدي
لحركة الريش عاكسة تدور

· All those devices in with energy is Transfered either to or from a Continuously flowing fluid by the dynamic action of one or more moving blade rows.

Types of Turbomachine

- Thermal (compressible fluid)
  - Turbines → Steam, gas
  - Compressor → pressure ratio
  - Fans → flow rate
  - Blowers → pressure ratio (Soufflants)
- Hydraulic (incompressible fluid)
  - Turbines Hydr
    - (Impulse) Pelton
    - Reaction: Kaplan, Francis
  - Pompe
    - Rotodynamic: Radial, axial, Mixed
    - Positive Displacement (alternative): Piston, gear, vane



Classification of Turbomachine

a) According to energy transfer =

1) Power producing machines [Turbine]

2) Power absorbing machine
Pump, fan, Blower, Compressor

b) According to type of fluide =

1- Compressible flow

2- incompressible flow

c) According to number separate raws

1) single rotor

2) single stage

3) Multistage

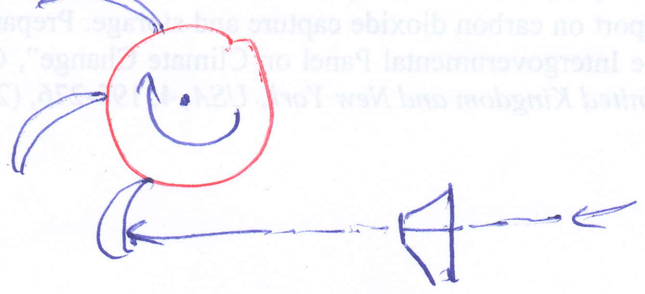
D) According to admission

① full admission

* يتم دخول المائع خلال محيط الريشة بالكامل اي ان يغمر المائع ملامس الريشة دائماً اثناء دورانها

② Partial admission =

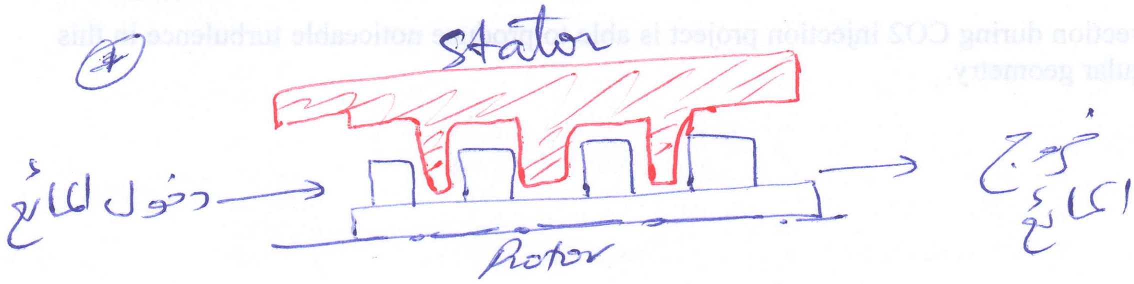
* يتم دخول المائع خلال قطاع محدود من محيط الريشة
تعرض الريشة بالمائع فقط اثناء مكان دوران وليس
باقي الدورة لا ملامس المائع الريشة مثال :- ⟵ PELTON TURBINE



"PELTON Wheel Turbine"

E- According To direction of flow :

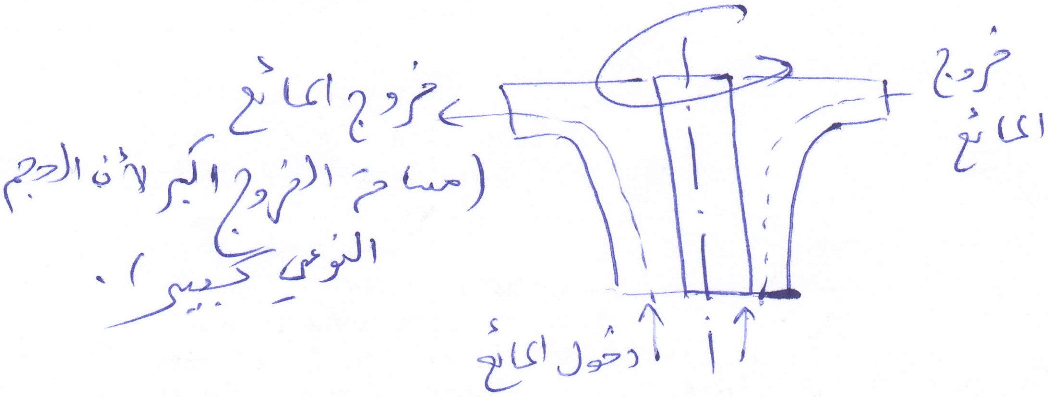
1) Axial Turbomachine :



يدخل ويخرج المائع موازي لمحور دوران الآلة التربينية .

2- out ward Radial flow :

* يدخل المائع موازي لمحور الدوران ويخرج عمودي على محور الدوران والأكثر استخداما في التربينات البخارية وذلك بسبب زيادة الحجم النوعي عند المخرج



3 - Mixed

* Entropy =

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{gen}$$

يعبر عن الطاقات الغير مستغلة بالنظام فمثلا لو معاك

50 جنيها ودفع 10 جنيهات فقط في المبلغ الذي يصلح للعرض

فقط هو 40 جنيها و10 جنيها غير قابلين للاشتغال.

(CNAS / CASNOS) مثلا

Entropy مثل (work)

المركبة الأولى = $\int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$ وهي المتحكم بها دوال الغالبا

ذلك لعزل النظام وهي تعبر عن انتقال الحرارة من وإلى

النظام عبر الأجزاء ومنها تكون

heat transfer from system (−)

heat transfert to system (+)

(Adiabatic) النظام لو كانت (0)

المركبة الثانية [S_{gen}] قد يكون لها لكن لا يمكن إلا أن تكون موجبة.

تعبر عن الطاقة التي تنتج الحركة العشوائية للجزيئات وتصادمها

مع بعضها وحركتها وتنتج عن الطاقة الحرارية تزيد من الانتروبي

وهي تعبر عن IRREVERSIBILITY في النظام لأن النظام لو كان

Reversible لا يكون فيه تصادم

= الجزيئات ثم تصادم فتكون irreversible (+)

S_{gen}: (2) − (1)

لا يمكن أن ترجع إلى النقطة رقم (1) أن إلى له رقم (1)، فإنه لا يمكن

إرجاع هذه الطاقة المفقودة للجزيئات

0 Reversible = معناه أنه لا يوجد تصادم داخل النظام

وهذا نظري تخيلي

− " IMPOSSIBLE = لا يمكن حدوثه لا نظريا ولا تطبيقيا.

لأنه لا يمكن أن تكون فيه تصادم مع أنه تكون فيه إضافة طاقة للنظام هي (+) لاستغلال الأنتروبي (−) هو أنه الطاقة ستستغل في النظام وهذا لا يمكن حصوله

* الـ Isentropic يشترط أن تكون المركبتان ب zero

adiabatic + reversible

لأن ليس معناه أنه في كل حالة ($\Delta S = 0$) يعني هو أن هذا الإجراء Isentropic، وذلك لأنه في الحالة التالية:

$$S_2 - S_1 = \int \frac{dQ}{T} + S_{gen}$$

- $\int \frac{dQ}{T}$ → −ve : heat from system (non adiabatic)
- S_{gen} → +ve : irreversible
- $= 0$

وبالتالي

يعني أن هذا الإجراء ✗ adiabatic و ✗ reversible ولكن

$\Delta S = 0$

* لأنه يمكن أن تكون المركبة الأولى (−) والأخرى (+) بنفس المقدار فيعطي (ΔS = zero) ولكن الإجراء ليس adiabatic ولا حتى Reversible.

* يتناسب الضغط عكسياً مع الأنتروبي وذلك بسبب أن زيادة الضغط تقلل الحركة العشوائية للجزيئات وبالتالي ينخفض الأنتروبي $\left(P \propto \frac{1}{S}\right)$

على العكس يتناسب طردياً مع الأنثالبي:

$$P \propto h \Rightarrow h = PV + U$$

* مثال: تشبيه الضغط زحمة (compressed) — تقل التصادمات حتماً.
[illegible] : step by step. [illegible]

2- T. ds Relation for ideal gas:

from 1st law of thermodynamic:

$$\delta Q_{rev} - \delta W_{rev} = dU_{rev}$$

$\delta Q_{rev} \to T.ds$ (for reversible system)

$\delta W_{rev} \to P.dV$

$W = \int PdV \leftarrow$ نظام مغلق

$W = \int VdP \leftarrow$ نظام مفتوح

$$\boxed{T.ds = PdV + dU} \quad (1)$$

from Gibbs eq — نظام مغلق

$h = PV + U$; PV → flow energy ; U → internal energy

$$\boxed{dh = PdV + VdP + dU} \quad (2)$$

from (1) and (2)

$$\boxed{T.ds = dh - VdP} \quad (3)$$ ← نظام مفتوح

~~ds = f(dP, dV, dU, dh)~~

ds → dP, dV, dU, dh ← حروف أنشطرت بعضهم لما الحرارة

$S = f(P, V, \ldots)$

$$ds = \frac{dU}{T} + \frac{P}{T}\,dV \quad (*)$$

$PV = nRT = m\frac{R}{M}T$

$PV = mRT$

$R = 8.31$ J/mol.K

$r = \frac{J}{kg \cdot K}$

$dU = C_v \cdot dT$; ~~$P = \rho RT$~~

$\frac{P}{T} = \rho R = \frac{P}{V}$

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

$\boxed{P = \rho rT}$

~~PV = mRT~~

$PV = mRT$

$$\frac{P}{T} = \frac{mR}{V}$$

* Entropy $= S_2 - S_1 = \int^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{gen}$

يعبر عن الطاقات الغير مستغلة بالنظام فمثلاً لو كان هناك جسم
ويتم دفعه من جنبيه باتجاهين متعاكسين بنفس المبلغ الذي يصلح للعزم فقط
ولا دوران هنا يكون غير قابل للاستغلال .

الحركة الأولى = [$\int \frac{\delta Q}{T}$] يمكن التحكم بها ،
وتعبر عن انتقال الحرارة من أو إلى النظام عبر الأجزاء
ويمكن التحكم به

heat transfer from system → (−)
heat transfer TO system → (+)
0 → تعزل النظام [adiabatic]

* الحركة الثانية [S_{gen}] فهذا لا يمكن التحكم بها ولا يمكن إلغاؤها .

تعبر عن الفاعلية التي تنتج من الحركة العشوائية للجزيئات وتصادم بعضها مع بعض وتولد الحرارة وتنتج عنه الطاقة الحرارية التي تزيد من الانتروبي .

S_{gen} →
- (+) irreversible
- (0) reversible
- (−) impossible.

الإجراء " Isentropic " = تشترط أن تكون الحركتان = 0

- adiabatic
- reversible

$$\int_1^2 ds = C_v \int_1^2 \frac{dT}{T} + R \int_1^2 \frac{dV}{V}$$ → pour m = 1kg (8)

$$S_2 - S_1 = C_V \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + R \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

from (3)

$$dS = \frac{dh}{T} - \frac{V}{T} dP \quad , \quad dh = c_p\, dT$$

$$\frac{V}{T} = \frac{R}{P}$$

$$\int_1^2 ds = C_p \int_1^2 \frac{dT}{T} - R \int_1^2 \frac{dP}{P}$$

$$S_2 - S_1 = C_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$PV = RT \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1}$$

$$S_2 - S_1 = C_p \ln\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right)\right] - R \ln\frac{P_2}{P_1}$$

$$= C_p \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) + C_p \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$= (C_p - R) \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) + C_p \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$S_2 - S_1 = C_V \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) + C_p \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \rightarrow (*)$$

$$C_p - R = C_V$$

for Isentropic Process = [adiabatic + Reversible] = (B)

(*) $S_2 - S_1 = 0 + 0 = \text{Zero} \Rightarrow$ $\frac{C_p}{C_v} = \gamma$

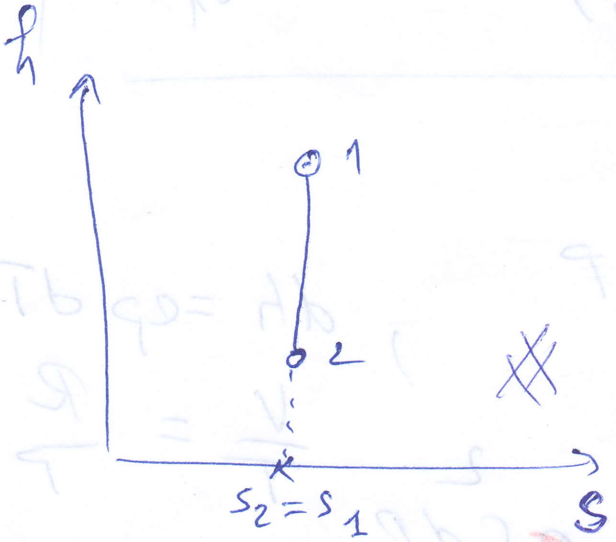
$C_p \ln \frac{V_2}{V_1} = -C_v \ln \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow \gamma \ln \left(\frac{V_2}{V_1}\right) = -\ln \frac{P_2}{P_1}$

$\Rightarrow \ln \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma} = + \ln \frac{P_1}{P_2}$

$\Rightarrow \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma} = \frac{P_1}{P_2}$

$\Rightarrow P_2 V_2^{\gamma} = P_1 V_1^{\gamma} = cte$

$\Rightarrow \boxed{P V^{\gamma} = cte}$



Stagnation Property = the Total (stagnation)

3) Stagnation state is obtained Decelerating the gas isentropically to zero velocity. This state is defined by the stagnation properties:

Properties
- → Enthalpy
- → Temperature
- → Pressure

الشرح = عربية بها 30 ل في البنزين تقابل التحول إلى حركة : الطاقة الكلية = 30 ل.

* السيارة تتحرك بسرعة ما فمثلاً لو كان الطاقة الحركية فيها 5 ل وطاقة داخلية 25 ل.

* من الآخر لو عندك جزء ووقفته (Isentropic) حتى وصل إلى الصفر عندها في الطاقة الكلية.

Stagnation is Isentropic process.

**

* أي أن خط الصعود من حالة الجزئي , الى الكلي
(h-s)

3- Stagnation Property =

The Total (Stagnation) state is obtained Decelerating the gas isentropically To zero velocity. This state is defined by the Stagnation Properties =
- → Enthalpy
- → Temperature
- → Pressure

(Arabic note: [illegible])

① Stagnation Temperature

$$T_0 = T_\infty + \frac{C_\infty^2}{2 C_P} \; [K, {}^\circ C]$$

- T_0 → Stagnation Temperature
- T_∞ → Static Temperature
- $\frac{C_\infty^2}{2C_P}$ → velocity Temperature

(Arabic notes: [illegible])

② Stagnation enthalpy =

$$h_0 = h_\infty + \frac{C_\infty^2}{2} \quad KJ/Kg$$

- h_0 → stagnation enthalpy
- h_∞ → static enthalpy
- $\frac{C_\infty^2}{2}$ → Dynamic enthalpy

(Arabic note: [illegible]) (W) Flow energy [illegible]

③ Stagnation Pressure

$$P_0 = P_\infty + \frac{\rho}{2} C_\infty^2 \quad [N/m^2 \text{ or } Pa]$$

- P_0 → Stagnation Pressure
- P_∞ → Static Pressure
- $\frac{\rho}{2} C_\infty^2$ → Dynamic Pressure

9

* L'enthalpie totale (stagnation) est définit comme étant la somme de l'enthalpie et de l'énergie cinétique, soit :

$$h_0 = h + \frac{v^2}{2}$$, pour un gaz parfait, avec C_p = cte

et donc : $h = C_p T$ et $h_0 = C_p T_0$

h_0 → stagnation enthalpie ; h → static enthalpie ; $\frac{v^2}{2}$ → Dynamic enthalpie.

* Température de stagnation :

$$C_p T_0 = C_p T + \frac{v^2}{2} \Rightarrow T_0 = T + \frac{v^2}{2 C_p} \quad (K)$$

T_0 → Température de stagnation ; T → Température static ; $\frac{v^2}{2C_p}$ → Température Dynamique

$C_p = \left[\frac{J}{kg \cdot K}\right]$

$v^2 = \left[\frac{m^2}{s^2}\right] \Rightarrow \left[\frac{J}{kg}\right]$

~~* Stagnation pressure~~ :

$$a = \sqrt{\gamma r T} \qquad C_p = \frac{\gamma r}{\gamma - 1} \qquad \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

(r = constante spécifique du gaz, pour l'air : $r = 287 \frac{J}{kg \cdot K}$ ← pour l'air)

$$M = \frac{V}{a}$$

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{V^2}{2 c_p T} = 1 + \frac{(\gamma - 1) V^2}{2 \gamma R a^2 / \gamma R}$$

$$= 1 + \frac{(\gamma - 1)}{2} \frac{V^2}{a^2}$$

Rapport de Température ← $$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{(\gamma - 1)}{2} M^2$$

* Stagnation Pressure:

$$P V^{\gamma} = cte \qquad PV = RT$$

$$V \Rightarrow \frac{RT}{P}$$

$$P R \left(\frac{T}{P}\right)^{\gamma} = cte \Rightarrow P^{1-\gamma} \cdot T^{\gamma} = cte$$

$$P^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \cdot T = cte$$

$$\Rightarrow T = cte \cdot P^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$T_0 = T + \frac{V^2}{2C_p}$$

$$P V^{\gamma} = cte$$

$$\frac{P_0}{P} = \left(\frac{T_0}{T}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \qquad V = \frac{m}{\rho}$$

$$\frac{P_0}{P} = \left(\frac{T + \frac{C^2}{2c_p}}{T}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$\frac{P_0}{P} = 1$$

Stagnation Pressure:

$$P_0 = P + \frac{\rho V^2}{2}$$

P_0: Stagnation Pressure; P: static Pressure; $\frac{\rho V^2}{2}$: Dynamic Pressure

$$\left(\frac{P_0}{P}\right) = \left(\frac{T_{0s}}{T}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} ; \quad \left(\frac{\rho_0}{\rho}\right) = \left(\frac{T_0}{T}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$