تكييف الهواء
Air Conditioning

- فواقد الهواء الداخلية
  - من خلال الغلاف الخارجي — ف 3
  - من خلال التوازين — ف 2
- الانسان والبيئة المكيفة — ف 4
- حسابات حمل التدفئة — ف 5
- حسابات حمل التبريد — ف 6
- أنواع منظومات التكييف — ف 7
- تصميم منظومات توزيع الهواء — ف 8
- تصميم منظومات توزيع الماء — ف 9

التثليج أو التجميد
Refrigeration

- فوائد التثليج ومجالات استخدامها — ف 10
- دورة التثليج الانضغاطية — ف 11
- معدات دورة التثليج — ف 12
- دورة التثليج الامتصاصية — ف 13
- دورة التثليج بمرسبة الماء الامتصاصية — ف 13
- دورة الهواء للتثليج — ف 14

فواقد الهواء الداخلية بالتوازين ف 2

- الضغط P
- درجة الحرارة الجافة t_d أو t_w
- الرطوبة النسبية ϕ
- نسبة الرطوبة M
- المحتوى الرطوبي W
- الحجم النوعي V
- المحتوى الحراري h

الهواء الجاف

- معادلة الضغط الجزيئي
- معادلة الغاز المثالي

بخار الماء

- مشبع
  - $(0 \to 120)^\circ C$ جدول (2-1)
  - بالتوازين اللوغارتمية
    - $(-100 \to 0)^\circ C$
    - $(0 \to 200)^\circ C$
- غير مشبع
  - معادلة $P = P_{sw} - P_a A (t_d - t_w)$
    - $t_w < 0^\circ C$ — المعادلات اللوغارتمية
    - $t_w > 0^\circ C$ — جدول (2-1) $(0 - 120)^\circ C$ — المعادلات اللوغارتمية $(0 - 200)^\circ C$
  - قانون الغاز المثالي

Vapor + Air

- قانون الغاز المثالي

$(-10 \leq t_d < 0)^\circ C$

$(0 \leq t_d \leq 60)^\circ C$

$$h_2 = h_1 + (W_2 - W_1) h_{fw}$$

الحل بالبرنامج الحاسوبي

$$h_2 = (1.007 t_w - 0.026) + W (2501 + 1.84 t_w)$$

1- درجة الحرارة :- هي مقياس لمعدل الطاقة الحركية للجسيمات الجزيئية.

$$T(K) = T(°C) + 273$$
$$T(R) = T(F) + 460$$
$$T(F) = 1.8\ T(°C) + 32$$

مثال (1) :- يتم تسخين ماء مستخدم لتدفئة بناء إداري من 25 °C الى درجة حرارة 160F ويخرج منه بدرجة حرارة 180F حيث يضخ مرة ثانية الى المنظومة. ما هي درجة الحرارة الدخول والخروج بالسيليزي للتوي وما هو الفرق بينهما بالمئوية والفهرنهايت.

الحل :-

$$T(F) = 1.8\ T(°C) + 32$$
$$160 = 1.8\ T(°C) + 32$$
$$T_{in}(°C) = 71.11\ °C \quad \text{Ans.}$$
$$180(F) = 1.8\ T(°C) + 32$$
$$T_{out}(°C) = 82.22\ °C \quad \text{Ans.}$$
$$\Delta T(°C) = 82.22 - 71.11$$
$$\Delta T(°C) = 11.11°C \quad \text{Ans.}$$
$$\Delta T(F) = 180 - 160$$
$$\Delta T(F) = 20\ F \quad \text{Ans.}$$

يمكن ايجاد الفرق بين درجات الحرارة للتوي من خلال المعادلة الآتية :-

$$\Delta T(°C) = \frac{\Delta T(F)}{1.8}$$
$$\Delta T(°C) = \frac{180 - 160}{1.8}$$
$$\Delta T(°C) = 11.11°C \quad \text{Ans.}$$

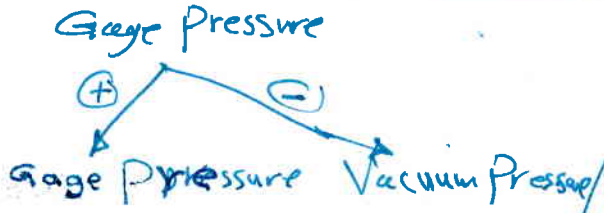
واجب :- ضـ 1 :- Q.1, Q.2, Q.3

الكتاب المنهجي :-
"اساسيات هندسة تبريد وتكييف الهواء"
د. خالد احمد المودي

2- الضغط :- هنا ما هو معروف سابقاً القوة المسلطة على وحدة مساحة ويقاس دائماً الى مرجع الاسناد "Refrence Datum" وهو الضغط الجوي القياسي الاعتيادي، والذي يساوي :

$P_o = 101.325\ Kpa$ or $760 mmHg$:- يساوي
$= 101325\ pa$ ، $10.329\ m\ H_2O$
$P_B = 1.01325\ bar$ ← الضغط الجوي البارومتري
$= 0.101325\ Mpa$

الضغط المقاس :- هو ذلك الضغط المتكاك او المؤشر الى ارتفاع الضغط او اختلافه عن الضغط الجوي الاعتيادي، Gage Pressure



$$P_{abs.} = P + P_{gage} \quad , \quad P_{abs.} = P - P_{vacuum}$$

$$\therefore P_{abs} = P_{total} = P \pm P_{gage}$$

الضغط المطلق :- هو ذلك الضغط المقاس بالنسبة الى ضغط الفراغ التام ويستخدم فيه وجود ذرات المائع، والذي يساوي صفراً.

$$P_{vacuum\ التام} = 0 \quad , \quad P_{abs.} > P$$

ضغط الفراغ التام :- هو ذلك الضغط الذي يساوي صفر عندما يتم فيه وجود ذرات المائع.

ضغط الفراغ :- هو ذلك الضغط الذي يكون أقل من الضغط الجوي.

$$P_{vac.} < P$$

مثال :- أوجد قيمة الضغط المطلق لمجرى الهواء عندما يكون الضغط المقاس في النقطة المحددة 3.5 bar.

الحل :-

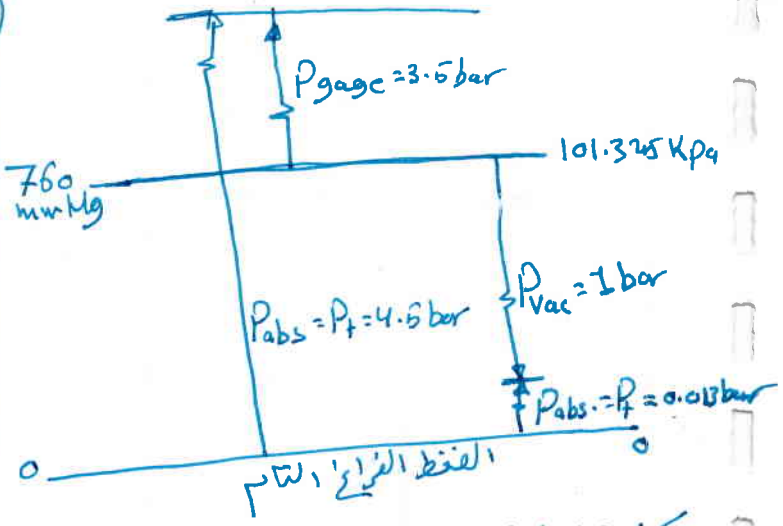
$$P_{abs.} = P_t = P + P_{gage} = 1.01325 + 3.5$$
$$P_{abs.} = P_t = 4.51325\ bar \quad \text{Ans.}$$

مثال :- أوجد قيمة الضغط المطلق عندما يكون الضغط فراغاً؟ ضغطاً 1bar = الضغط

الحل :-

$$P_{abs.} = P_t = P - P_{vac.} = 1.01325 - 1$$
$$P_{abs.} = P_t = 0.01325\ bar \quad \text{Ans.}$$

يمكن تمثيل الضغوط المذكورة سابقاً بالمخطط التوضيحي التالي :-



* يمكن قياس او تحديد قيمة الضغط بصورة عامة من خلال :-

- وحدات الضغط المعروفة سابقاً: $P = 101.325$ Kpa
- ارتفاع عمود مائع معين: $h = 760$ mm Mg, $h = 10.329$ m H_2O

يمكن ربط الطريقتين من خلال القانون الأساسي للضغط :-

$P = \frac{F}{A}$, $F = m.g$ → قانون نيوتن الثاني

$= \rho . A . h . g$

$P = \frac{\rho . A . h . g}{A}$

$P = \rho . g . h$

ρ : Kg/m³
g : 9.81 m/s²
h : m
P : N/m² or Pa

* كذلك يمكن تحويل الضغط من عمود مائع الى مائع آخر

$P_1 = \rho_1 . g h_1$

$P_2 = \rho_2 . g h_2$

∵ $P_2 = P_2$ الضغط يكون متساوي لكلا المائعين

∴ $\rho_1 g h_1 = \rho_2 . g h_2$

مثال ② :- أوجد الضغط الجوي الاعتيادي بوحدات مختلفة ومحدد من داخل الرئيبق .

الحل :- الماء

$P = 101325$ Pa (N/m²)

$\rho_w = 1000$ kg/m³

$g = 9.81$ m/s²

∴ $P = \rho . g . h \Rightarrow 101325 = 1000 (9.81) h \rightarrow$

$h_w = 10.329$ m H_2O Ans.

الزئبق

$P = 101325$ Pa (N/m²)

$\rho_{Hg} = 13600$ kg/m³

$g = 9.81$ m/s²

∴ $P = \rho . g . h \Rightarrow 101325 = 13600 (9.81) h \rightarrow$

$h_{Hg} = 0.76 = 760$ mm Mg Ans.

او من خلال القانون

$P_w = P_{Hg}$

$\rho_w g h_w = \rho_{Hg} . g h_{Hg}$

$1000 * 10.329 = 13600\ h_{Hg} \rightarrow$

$h_{Hg} = 0.76$ m $= 760$ mm Mg Ans.

س 4 / مول ضغطاً مقداره 80 Kpa الى ملحقات من عمود الزئبق بأعتبار الكثافة النوعية للزئبق = 13.6 27 °C

الحل :-

$P = \rho . g . h$

$80\,000 = 13.6 * 1000 * 9.81 * h \rightarrow$

$h = 0.599$ m Mg $= 599$ mm Mg Ans.

Q.5, Q.6

واجب :- ص 1 - 5

الكتاب المنهجي

---

* يتكون الهواء الجوي من N_2, O_2, H_2, CO_2, Ar (مرتبة تصاعدياً) حسب معدل الوزن الجزيئي (M) للهواء الجوي من خلال

$M = (\text{الوزن الجزيئي} * \%)O_2 + (\text{الوزن الجزيئي} + \%)N_2 +$ باقي مركبات الهواء الجوي

$= 28.02 * 78.03\% + 32 * 20.99\% + 39.9 * 0.94\% +$

$44 * 0.03\% + 2.02 * 0.01 \rightarrow M = 28.97$ Air

* يحسب (M) للماء من خلال مكوناته H_2O

$M = 2 * 1.01 + 1 * 16 \rightarrow M = 18.02$ Water

س/ ما هذا يقصد بالمصطلح (ASHRAE) ؟

American Society of Heating, Refrigeration & Air-Conditioning Engineers

جمعية امريكية للهندسي التدفئة والتبريد والتكييف والهواء تهتم بالدراسات والبحوث ومواصفات التصميم المختلفة بالوحدات العالمية والبريطانية

يعرف تكييف الهواء بأنه عملية تغيير خواص بروابط الهواء وجعله مناسب لتكييف ما والتحكم بحرارة وحركة وتوزيع الهواء داخل الحيز
إذن لابد من دراسة الخواص الأساسية للهواء قبل الخوض في عمليات تكييف الهواء، حيث لدينا مجموعة منها كما يلي:-

1- درجة الحرارة البصلة الجافة Dry Bulb Temperature
درجة الحرارة البصلة الرطبة Wet Bulb Temperature
2- ضغط خليط الهواء و بخار الماء Pressure of Air & Water Vapor
3- الرطوبة النسبية (Φ) Relative Humidity
4- المحتوى الرطوبي (W) Moisture Content
نسبة الرطوبة Humidity Ratio
الرطوبة النوعية Specific Humidity
5- درجة التشبع (μ) Degree of Saturation
نسبة التشبع Saturation Ratio
6- نقطة الندى (tp) Dew Point Temp.
7- الحجم النوعي للهواء وبخار الماء (v) Specific Volume
8- المحتوى الحراري (h) Enthalpy
9- الاجراء الاديباتيكي Adiabatic Process

* التعرف غير المثالي للهواء

1- درجة حرارة البصلة الجافة والرطبة (t_d , t_w)

t_d: هي درجة حرارة المقاسة بمحرار اعتيادي.
t_w: " " " " ملفوف بنهايته بفتيلة قطنية وترطب بالماء ليتعرض الى تيار هوائي غير مشبع.

* يمكن قياس (t_w , t_d) عمليا بأداة "المصود" أو "الموطاب" psychrometer وله عدة أنواع (ص 59-60) الكتاب المنهجي.
* حيث أن $t_d \geq t_w$

2- ضغط الخليط (P) (N/m^2 or Pa)

بخار الماء ← مشبع ← جدول (2-1) ← $(0-120)^\circ C$
مشبع ← المعادلات اللوغارتمية ← $(-100 \to 0)^\circ C$ ، $(0 \to 200)^\circ C$
بخار الماء ← غير مشبع (رطب) ← معادلة $P = P_{sw} - P_B A (t_d - t_w)$
بخار الماء ← $PV = mRT$ معادلة الغاز المثالي
الهواء الجاف ← $P_B = P + P_w$ معادلة الضغط البارومتري
الهواء الجاف ← $PV = mRT$ معادلة الغاز المثالي

A- بخار الماء المشبع: يمكن حساب ضغطه من الجدول (2-1) اذا كانت درجة حرارته تتراوح $(0-120)^\circ C$

* كذلك يمكن حساب ضغطه من المعادلات اللوغارتمية حسب درجة حرارته البصلة الجافة (t_d).

$(-100 \to 0)^\circ C$

$$\ln(P_s) = \frac{C_1}{T} + C_2 + C_3 \cdot T + C_4 \cdot T^2 + C_5 \cdot T^3 + C_6 \cdot T^4 + C_7 \cdot \ln T$$

$(0 \to 200)^\circ C$

$$\ln(P_s) = \frac{C_8}{T} + C_9 + C_{10} \cdot T + C_{11} \cdot T^2 + C_{12} \cdot T^3 + C_{13} \cdot \ln T$$

B- بخار الماء غير المشبع (رطب): يمكن حساب ضغطه من المعادلة

$$P = P_{sw} - P_B \cdot A \cdot (t_d - t_w)$$

P_{sw} ← ضغط بخار الماء المشبع بدرجة حرارة البصلة الرطبة ← جدول (2-1) $(0-120)^\circ C$ ، المعادلات اللوغارتمية $(0-200)^\circ C$

$A = 6.66 \times 10^{-4}\ ^\circ C^{-1}$, when ($t_w \geq 0^\circ C$)

المعادلات اللوغارتمية ← $5.94 \times 10^{-4}\ ^\circ C^{-1}$, when ($t_w < 0^\circ C$)

* يمكن حساب ضغط بخار الماء من خلال قانون الغاز المثالي وهو قليل الاستخدام.

13- ضغط الهواء: يمكن حساب ضغط الهواء من خلال قانون دالتون للضغوط الجزيئية والذي ينص على:-

(الضغط الكلي لخليط الهواء وبخار الماء يساوي مجموع الضغوط الجزيئية لمكوناته)

$$P = P_B = P_v + P_{O_2} + P_{N_2} + P_{other\ gases}$$

ضغط بخار الماء — ضغط الهواء الجاف

$$P_B = P_w + P_a$$

* كذلك يمكن حساب ضغط الهواء من خلال قانون الغاز المثالي وهو قليل الاستخدام.

$$PV = mRT$$

$$P\nu = RT$$

P: N/m^2 or Pa
V: m^3
ν: m^3/Kg
T: K
m: Kg
R: $J/Kg.K$

يمكن ايجاد ثابت الغاز العام (R) لأي خليط عند:

$P = 101325\ Pa$
$T = 273\ K$
$V = 22.4145\ m^3/Kmol$

$$R_o = \frac{\nu_m P}{T} = \frac{22.4145 * 101325}{273} \rightarrow$$

$$R_o = 8314.66\ J/Kmol.K$$

المطلوب ايجاد (R) بوحدات ($J/Kg.K$)

$$P\nu_m = R_o T \quad (\div M)$$

$$\frac{P\nu_m}{M} = \frac{R_o T}{M}$$

$$P\nu = \frac{R_o T}{M}$$

$$R_o = \frac{P\nu}{T} M$$

$$R_o = R M$$

$$\therefore R_{air} = \frac{R_o}{M} = \frac{8314.66}{28.97} \rightarrow R_{air} = 287\ \frac{J}{Kg.K}$$

$$R_{vapor} = \frac{R_o}{M} = \frac{8314.66}{18.02} \rightarrow R_{vapor} = 461\ \frac{J}{Kg.K}$$

* يسلك خليط الهواء وسلوك البخار المثالي ضمن حدود درجات حرارة الجيب وضغط بمقدار (3 bar) تقريبًا.

مثال (1) ص 32: هواء مشبع بدرجة حرارة 25°C وضغط جوي قياسي. أوجد الضغط الجزيئي لكل من الهواء وبخار الماء؟

الحل:-

$P_w = 3360\ Pa$, from table(2-1) at $t = 25°C$

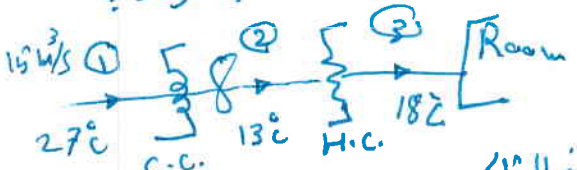
هواء مشبع — Ans.

$P = P_v + P_a$

$101325 = 3360 + P_a \rightarrow P_a = 97965\ Pa$ Ans.

مثال (2) ص 33: يمر هواء بمعدل ($15\ m^3/s$) بدرجة حرارة ($27°C$) كما ملئ تبريد حيث تنخفض درجة الحرارة الى ($13°C$) ثم يدفع بواسطة مروحة الملئ مما يرفع حرارته الى ($18°C$) ليدخل الهواء بعد ذلك غرفة ما. أحسب كمية الهواء المتوفرة مجمعًا في المروحة وعند دخوله الغرفة؟

الحل:-



حسب قانون الغاز المثالي + معطيات السؤال

$$PV = mRT \rightarrow \frac{V}{T} = \frac{mR}{T} = Cons \rightarrow$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \frac{15}{27+273} = \frac{V_2}{13+273} \rightarrow V_2 = 14.3\ \frac{m^3}{s}$$ Ans.

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \rightarrow \frac{14.3}{13+273} = \frac{V_3}{18+273} \rightarrow V_3 = 14.55\ \frac{m^3}{s}$$ Ans.

مثال (3): أوجد ضغط بخار الماء المشبع بهواء رطب للحالتين:-

1- $40°C$ + ضغط بارومتري قياسي.

2- $15°C$ + ضغط بارومتري 95000

الحل:-

from table(2-1) by Interpolation between

$14°C \& 15°C \rightarrow P = 1.707\ Kpa$ Ans. ①②

هو نفسه للحالتين لان ضغط البخار المشبع لا يعتمد على الضغط البارومتري (P_B)

ولكن لو كان البخار غير مشبع فان ضغطه الجزئي يعتمد على الضغط البارومتري ودرجة الحرارة.

مثال (4) ص 41: أحسب ضغط بخار الماء في هواء رطب عندما $t_w = 15°C$ و $t_d = 20°C$ وضغط بارومتري مقداره $95\ kPa$

الحل:-

at $t_w = 15°C \rightarrow P_w = 1.707\ Kpa$ from table(2-1)

$P = P_w - P_B \cdot A \cdot (t_d - t_w) = 1.707 - 95 * 6.66 * 10^{-4} (20-15)$

$P = 1.391\ Kpa$ Ans.

د- نقطة الندى (°C) (t_d) Dew point Temp.

هي درجة حرارة التشبع المناظرة الى الضغط الجزئي لبخار الماء المشبع الموجود بالهواء.

* هي درجة حرارة التي يكون عندها بخار الماء مشبعاً ومستعداً للتكثف.
* يمكن تكثف بخار الماء على شكل قطرات صغيرة عند تبريد الهواء الى درجة حرارة اقل من درجة حرارة نقطة الندى.
* نستخرج من الجدول (2-1).

مثال (5) ص 43: احسب نقطة ندى لهواء بدرجة حرارة 20°c بحالة رطبة و 15°c بحالة رطبة، وضغط بارومتري = 95Kpa

الحل:

at $t_w = 15°c \rightarrow P_{sw} = 1.707$ Kpa from table (2-1)

$P = P_{sw} - P_B \cdot A(t_d - t_w)$

$= 1.707 - 95 * 6.66 * 10^{-4} (20 - 15) \rightarrow$

$P = 1.391$ Kpa

from table (2-1) by Interpolation

P (Kpa)	T (°c)	
1.2270	10	
1.3910	t_d	→ $t_d = 11.88°c$ Ans.
1.4014	12	

ب- الرطوبة النسبية (ϕ)

الرطوبة: هي بخار الماء المحمل او المشبع الموجود مع الهواء كما في الجو.

كثافة البخار: هي كتلة بخار الماء بالكيلوغرام الموجودة في متر مكعب واحد في الفضاء.

الرطوبة النسبية: النسبة بين كثافة بخار الماء في الهواء الرطب (d) وكثافة بخار الماء في الهواء المشبع (d_s) عند نفس درجة حرارة البيئة المحيطة.

$$\phi = \frac{d}{d_s}\Big|_{t_d} = \frac{P}{P_s}\Big|_{t_d} = \frac{X}{X_s}\Big|_{P_t}$$

او النسبة بين الضغط الجزئي لبخار الماء في الهواء الرطب (P) الى الضغط الجزئي لبخار الماء في الهواء المشبع (P_s)

او النسبة بين النسب المولي لبخار الماء في الهواء الرطب (X) الى النسب المولي لبخار الماء في الهواء المشبع (X_s) عند نفس درجة حرارة البيئة المحيطة والضغط الكلي.

مثال (6) ص 43: هواء رطب بدرجة حرارة 20°c بحالة رطبة وضغط بارومتري 95Kpa احسب كثافة البخار والرطوبة النسبية؟

الحل:

at $t_d = 20°c \rightarrow P_s = 2.337$ Kpa from table (2-1)

at $t_w = 15°c \rightarrow P_{sw} = 1.707$ Kpa from table (2-1)

$P = P_{sw} - P_B A(t_d - t_w)$

$= 1.707 - 95 * 6.66 * 10^{-4} (20 - 15)$

$P = 1.391$ Kpa

$\phi = \frac{P}{P_s}\Big|_{t_d} = \frac{1.391}{2.337} \rightarrow \boxed{\phi = 0.595}$ Ans.

$\phi = \frac{P}{P_s}\Big|_{t_d} = \frac{d}{d_s}\Big|_{t_d}$

at $t_d = 20°c \rightarrow v_s = 57.84$ m³/kg

$d_s = \frac{1}{v_s} \rightarrow d_s = 0.0173$ kg/m³

$0.595 = \frac{d}{0.0173} \rightarrow \boxed{d = 0.0103 \text{ kg/m}^3}$ Ans.

واجب: اعد حل المثال السابق مستخدماً خاصية الغاز المثالي

مثال (7) ص 44: وجد ان كثافة بخار الماء = 0.018 kg/m³ بدرجة حرارة 26°c بحالة رطبة وضغط بارومتري 90Kpa احسب الرطوبة النسبية؟

الحل: طريقتان للحل

1- $d = 0.018$ kg/m³

at $t_d = 26°c \rightarrow v_s = 41.03$ m³/kg, from table (2-1)

$d_s = \frac{1}{v_s} = \frac{1}{41.03} \rightarrow d_s = 0.02437$ kg/m³

$\phi = \frac{d}{d_s}\Big|_{t_d} = \frac{0.018}{0.02437} \rightarrow \boxed{\phi = 0.738 \text{ or } 73.8\%}$ Ans.

2- مستخدماً خاصية الغاز المثالي ← ضغط بخار الماء المشبع

at $t_d = 26°c \rightarrow P_s = 3.360$ Kpa, from table (2-1)

$PV = RT$ (بخار الماء)

$P = dRT = 0.018 * 461 * (26 + 273) \rightarrow$

$P = 2481$ Pa ← ضغط بخار الماء غير المشبع

$\phi = \frac{P}{P_s}\Big|_{t_d} = \frac{2481}{3360} \rightarrow \boxed{\phi = 73.8\%}$ Ans.

مثال 8 / ص 44

الهواء الجوي عند درجة حرارة 24°C ورطوبة نسبية 40% تحت ضغط جوي = 92 Kpa أوجد

1- كثافة بخار الماء 2- الضغط الجزئي لبخار الماء

الحل

1- at $t_d = 24°C \rightarrow v_s = 45.93 \ m^3/kg$

$\therefore d_s = 0.02173 \ kg/m^3$

$\phi = \frac{d}{d_s}\Big|_{t_d} \rightarrow 0.4 = \frac{d}{0.02173} \rightarrow d = 0.00871$ Ans

2- at $t_d = 24°C \rightarrow P_s = 2.982$ Kpa, from table (2-1)

$\phi = \frac{P}{P_s}\Big|_{t_d} \rightarrow 0.4 = \frac{P}{2.982} \rightarrow P = 1192.8$ Pa Ans

مراجعة واعمل المثال السابق بدلالة فاقد الضغط

5- المحتوى الرطوبي (W) (kg/kg dry air)

هي كتلة بخار الماء بالكيلوغرام المتحدة بكيلوغرام واحد من الهواء الجاف في خليط الهواء وبخار الماء.

$$W = \frac{m_v}{m_a} = \frac{d_v}{d_a} = 0.622 \frac{P}{P_B - P}$$

$$W = \frac{d_v}{d_a} = d_v \cdot v_a$$

مثال 9 / ص 48

9- احسب المحتوى الرطوبي لهواء درجة حرارته 25°C جافة و 15°C رطبة وضغط بارومتري 950 mb

الحل

at $t_w = 15°C \rightarrow P_{sw} = 1.707$ Kpa, from table (2-1)

$P = P_{sw} - P_B A (t_d - t_w)$

$= 1.707 - 95 * 6.66 * 10^{-4} (25 - 15)$

$P = 1.391$ Kpa

$W = 0.622 \frac{P}{P_B - P} = 0.622 \frac{1.391}{95 - 1.391}$

$W = 0.00924$ kg/kg dry air

$W = 9.24$ g/kg dry air Ans

* المحتوى الرطوبي = نسبة الرطوبة = الرطوبة النوعية

مثال 10 / ص 49

9- احسب المحتوى الرطوبي لهواء مشبع بالرطوبة وتحت ضغط بارومتري 95 cm Hg و 25°C

الحل

at $t_d = 25°C \rightarrow P_s = 2.337$ Kpa ← الهواء مشبع

from table (2-1)

$\therefore W = 0.622 \frac{P}{P_B - P} = 0.622 \frac{2.337}{95 - 2.337}$

$W = 0.0157$ kg/kg d.a.

$= 15.7$ g/kg d.a Ans.

مثال 11 / ص 50

تبلغ درجة حرارة غرفة مكيفة 24°C والرطوبة النسبية 30% والضغط الجوي 0.95 Kpa احسب (W) ما مثلان فاقدان الكتلة في أرطال الهواء وفاقدان الطاقة الحرارية؟

الحل

at $t_d = 24°C \rightarrow v_s = 45.93 \ m^3/kg$, from table (2-1)

$d_s = \frac{1}{v_s} = 0.02177 \ kg/m^3$

$\phi = \frac{d}{d_s}\Big|_{t_d} \rightarrow 0.3 = \frac{d}{0.02177} \rightarrow d = 0.00653 \ kg/m^3$ ← كثافة بخار الماء

الآن يجب استخراج كثافة الهواء الجاف (d_a) ومن ثم استخراج (W)

at $t_d = 24°C \rightarrow P_s = 2.982$ Kpa, from table (2-1)

$\phi = \frac{P}{P_s}\Big|_{t_d} \rightarrow 0.3 = \frac{P}{2.982} \rightarrow P = 0.8946$ Kpa ← الضغط الجزئي لبخار الماء

$P_B = P + P_a$

$95 = 0.8946 + P_a \rightarrow P_a = 94.1054$ Kpa ← الضغط الجزئي للهواء الجاف

$P_a V = RT$, for Dry air

$94.1054 \ v_a = 287 (24 + 273) \rightarrow$

$v_a = 0.9058 \ m^3/kg$

$d_a = \frac{1}{v_a} = \frac{1}{0.9058} \rightarrow d_a = 1.104 \ kg/m^3$

$\therefore W = \frac{d_v}{d_a} = \frac{0.00633}{1.104} \rightarrow$

$W = 0.0058$ kg/kg d.a. Ans.

* هذه الطريقة غير شائعة الاستخدام.

6 - درجة التشبع (μ) ، نسبة التشبع

هي نسبة المحتوى الرطوبي للهواء رطب في درجة حرارة معينة (t_d) الى المحتوى الرطوبي للهواء مشبع في نفس تلك درجة الحرارة.

$$\mu = \frac{W}{W_s}\Big|_{td} = \phi\left[\frac{1-\frac{P_s}{P_B}}{1-\phi\left(\frac{P_s}{P_B}\right)}\right]$$

$$\phi = \frac{\mu}{1-(1-\mu)(P_s/P_B)}$$

مثال (13) ص 54

أحسب درجة تشبع لهواء رطب درجة حرارته 24°c ورطوبة نسبية 40٪ عند الضغط الجوي 100kPa

الحل :-

at $t_d = 24°c \rightarrow P_s = 2.982$ kPa

$P_B = 100$ kPa

$\phi = 40\%$

$$\mu = \phi\left[\frac{1-(P_s/P_B)}{1-\phi(P_s/P_B)}\right] = 0.4\left[\frac{1-\frac{2.982}{100}}{1-0.4\left(\frac{2.982}{100}\right)}\right]$$

$\mu = 0.982 * 0.4 \rightarrow \boxed{\mu = 0.393}$ Ans.

طريقة: اعد حل المثال اعلاه باستخدام العلاقة $\mu = \frac{W}{W_s}\Big|_{td}$

7 - الحجم النوعي للهواء وبخار الماء (m^3/kg) (v)

هو الحجم بالامتار المكعبة لكيلوغرام واحد من الهواء وبخار الماء مع كتلة بخار الماء الذي يحويه

كيفية حسابه

استعمال كتلة بخار الماء وتحقيق الجزيئي

$PV = mRT)_{vapor}$

$T = 273 + t_d$

$R = 461$ J/kg.K

$m = W$

$P =$ ضاغط بخار الماء

$V = ?$

$cp = 1.89 \frac{kg}{kg \cdot K}$

استعمال كتلة الهواء وبخار الماء وتحقيق الجزيئي

$PV = mRT)_{air}$

$T = 273 + t_d$

$R = 287$ J/kg.K

$m = 1$ kg

$P_B = P + P_{vapor}$

$V = ?$

$cp = 1.005 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

$cp_{water} = 4.2$ kJ/kg.K

$cp_{mix} = 1.017$ kJ/kg.K

مثال (12) ص 51

هواء جوي بدرجة حرارة 40°c ورطوبة نسبية 80٪ يمر في ملف تبريد ثم فرن هواء ويعد تكييفه يخرج منها بدرجة حرارة 16°c ورطوبة نسبية 96٪. أوجد كمية بخار الماء المزالة من الهواء بواسطة ملف التبريد. الضغط الجوي = 100kPa

الحل :-

$P_B = 100$ kPa

كمية بخار الماء المزالة من ملف التبريد = الفرق بين المحتوى الرطوبي ② ، ①

$\phi_1 = \frac{P_1}{P_{s_1}}\Big|_{td_1}$, at $td_1 = 40°c \rightarrow P_{s_1} = 7.375$ kPa from table (2-1)

$0.8 = \frac{P_1}{7.375} \rightarrow P_1 = 5.9$ kPa

$W_1 = 0.622\frac{P_1}{P_B - P_1} = 0.622\frac{5.9}{100-5.9} \rightarrow$

$\boxed{W_1 = 0.03899 \text{ kg/kg d.a.}}$

$\phi_2 = \frac{P_2}{P_{s_2}}\Big|_{td_2}$, at $td_2 = 16°c \rightarrow P_{s_2} = 1.8168$ kPa from table (2-1)

$W_2 = 0.622\frac{P_2}{P_B - P_2} = 0.622\frac{1.744}{100-1.744} \rightarrow$

$\boxed{W_2 = 0.01104 \text{ kg/kg d.a.}}$

كمية بخار الماء المزالة $= W_1 - W_2$

Remove water $= 0.3899 - 0.01104$

$\boxed{R.W. = 0.02795 \text{ kg/kg d.a.}}$ Ans.

مثال (1) ص 57: أوجد حجم الهواء الرطب بدرجة حرارة 40°C ورطوبة نسبية 80% وضغط بارومتري 100 kPa وكتلة الجزء الغير رطب 1 kg.

الحل:- 1- عن طريق الهواء الجاف وضغطه الجزيئي

$PV = mRT)_{air}$, $T = 40 + 273 = 313K$

$R = 287 \ J/Kg.K$

at $t_d = 40°C \rightarrow P_s = 7.375$ kPa

$m = 1$ kg → الهواء الجاف الغير رطب

$V = ?$

$P_{air} = ?$

$\phi = \frac{P}{P_s}\Big|_{t_d}$

$0.8 = \frac{P}{7.375} \rightarrow P = 5.9$ kPa

$P_B = P_v + P_{air} \Rightarrow 5.9 = 100 - P_{air} \Rightarrow$

$P_{air} = 94.1$ kPa

$\therefore 94100 V = 1 * 287 * 313 \rightarrow V = 0.955 \ m^3$ Ans.

هذا الحجم = الحجم النوعي للهواء الرطب

2- عن طريق بخار الماء وضغطه الجزيئي

$PV = mRT)_{vapor}$, $T = 313$

$R = 461 \ J/Kg.K$

$m = W = ?$

$V = ?$

$P = 5.9$ kPa

$m_{vapor} = W = 0.622 \frac{P}{P_B - P}$

$= 0.622 \frac{5.9}{100 - 5.9}$

$m_v = W = 0.03899 \ Kg/Kg \ d.air$

$\therefore 5900 * V = 0.03899 * 461 * 313 \rightarrow$

الحجم للهواء الرطب $V = 0.955 \ m^3$ Ans.

$VP = RT \rightarrow 5900 V = 461 * 313$

الحجم النوعي للهواء الرطب $v = 0.04088 \ m^3/Kg$ Ans.

8- المحتوى الحراري (h) (Kj/Kg)

يمثل المحتوى الحراري للهواء الرطب من المحتوى الحراري للهواء الجاف وما من الهواء الجاف من المحتوى الحراري لبخار الماء المختلط به،

ويكون مجموعها هو المحتوى الحراري للهواء الرطب (المختلط من الهواء الجاف + بخار الماء)

$h = h_a + W h_v \Rightarrow$

$(0 \leq t_a \leq 60)°C$

$h = (1.007 t + 0.026) + W(2501 + 1.84 t)$

$(-10 \leq t_a < 0)°C$

$h = 1.005 t + W(2501 + 1.84 t)$

مثال (2) ص 57: أوجد المحتوى الحراري لهواء رطب عند درجة حرارة 20°C مشبع جزئياً و 15°C رطبة مع ضغط جوي قياسي.

الحل:-

at $t_w = 15°C \rightarrow P_{sw} = 1.707$ kPa from table (2-1)

$P = P_{sw} - P_B A(t_a - t_w)$

$= 1.707 - 101.325 * 6.66 * 10^{-4} (20 - 15)$

$P = 1.3696$ kPa

$W = 0.622 \frac{P}{P_B - P} = 0.622 \frac{1.3696}{101.325 - 1.3696}$

$W = 0.00853 \ Kg/Kg \ d.air$

$\therefore h = (1.007 t - 0.026) + W(2501 - 1.84 t)$

$= (1.007 * 20 - 0.026) + 0.00853 (2501 - 1.84 * 20)$

$h = 20.114 + 21.65$

$h = 41.764 \ Kg/Kg$ Ans.

* نلاحظ أن المحتوى الحراري لبخار الماء أكبر من المحتوى الحراري للهواء الجاف.

* يحسب من الجداول P_{sw} عند $t_a > 0$

أو يستخرج من الجدول (2-1) مباشرة عند $t_a = t_w$

* في حالة الهواء كونه هواء مشبعاً فإن h_v = يحسب من الجدول (2-1) عند $t_a = t_w$

مثال 17 / احسب المحتوى الحراري لهواء رطب بدرجة حرارة 66 °F (-10°C) جافة و (-12°C) رطبة و مفقود جوية شاكو

الحل :- نحسب ضغط بخار الماء الموجود في الهواء الرطب من العلاقة

$P_{sw} = 5.94 \times 10^{-4}$ ج$^{-1}$

$\because t_d < 0 \quad \therefore P_{sw} \rightarrow$ نحسب ضغط بخار الماء

$\ln(P_{sw}) = \frac{C_1}{T} + C_2 + C_3 \cdot T + C_4 T^2 + C_5 \cdot T^3 + C_6 \cdot T^4 + C_7 \ln(T)$

$T = t_w + 273 = -12 + 273 \rightarrow T = 261\ K$

$\ln(P_{sw}) = 5.368$

$P_{sw} = e^{5.368} \rightarrow P_{sw} = 214.4\ Pa = 0.2144\ KPa$

$P = P_{sw} - P_B A (t_d - t_w)$

$= 0.2144 - 101.325 * 5.94 * 10^{-4} (-10+12)$

$P = 0.0907\ KPa \rightarrow$ الضغط الجزيئي لبخار الماء

$W = 0.622 \frac{P}{P_B - P}$

$= 0.622 \frac{0.0907}{101.325 - 0.0907}$

$W = 5.573 * 10^{-4}$ Kg/Kg d.air

$\because t_d < 0 \rightarrow h = 1.005 t_d + W(2501 - 1.84 t_d)$

$h = 1.005(-10) + 5.573 * 10^{-4} (2501 - 1.84(-10))$

$h = -8.666$ Kg/Kg

* درجة التشبع :- لاحظ المثال 8

at $t_d = 24°C \rightarrow P_s = 2.982$ KPa ← ضغط بخار الماء المشبع from table (2)

at $t_d = 24°C$ & $\phi = 40\% \rightarrow$

$P = 1.192$ KPa

at $P = 1.192$ KPa $\rightarrow t_p = 9.5°C$ ← نقطة الندى

هذا يدل على ان بخار الماء غير مشبع موجود مع الهواء عند درجة حرارة 24°C ورطوبة نسبية (40) فهمس منه ان

درجة التبريد $= t_d - t_p$

$= 24 - 9.5 =$

$= 14.5°C$

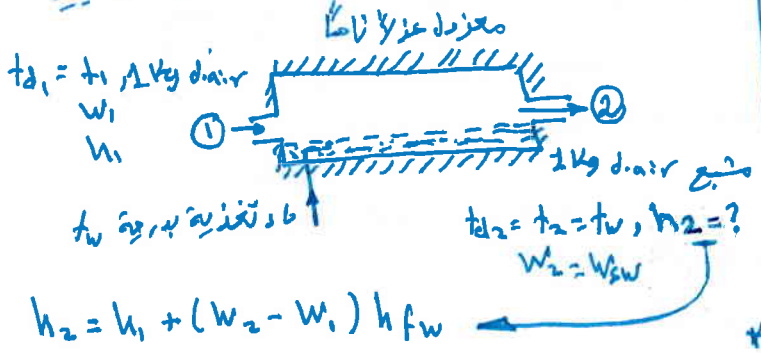
[Superheated degree $= t_d - t_p$]

9- الأنشباع الاديباتي

العملية الاديباتية :- هي تلك العملية التي تجري بدون تبادل حرارة الى الخارج او نقلها منه اثناء تغير الحالة التي يمر بها.

درجة حرارة الانشباع الاديباتي :- هي درجة حرارة الذي يتبخر عندها الماء في تيار من الهواء الرطب بحيث يجعل الهواء في حالة أنشباع اديباتي بدرجة حرارة ضمنيا. (t_w)

* درجة حرارة الانشباع الاديباتي = درجة حرارة المعلقة الرطبة الترموديناميكية في حالة التوازن الترموديناميكي



$h_2 = h_1 + (W_2 - W_1) h_{fw}$

* المحتوى الحراري لماء مشبع عند درجة حرارة الانشباع الاديباتي (t_w) h_{fw} :-

* المحتوى الحراري لكمية الماء المتبخرة في تيار الهواء $(W_2 - W_1) h_{fw}$:- والمعوضة بماء التغذية.

* تكون قيمة $[(W_2 - W_1) h_{fw}]$ قليلة جداً لهذا من على درجات الحرارة المعتادة في تكييف الهواء والذي يهمل في بعض الاحيان لتطبيع المعادلة الى :-

$h_2 = h_1$

حسب ما يطلب منك في السؤال

* كذلك يمكن حساب (h_2) من :-

$h_2 = (1.007 t_w - 0.026) + W(2501 + 1.84 t_w)$

* يمكن القول بأن الانشباع الاديباتي يحدث عندما :-

وحسب الحالة

$h_1 \simeq h_2$

$t_{w_1} = t_{d_2} = t_{w_2}$, (100%) التشبع

* كل مجموعة من الحالات سوف يتم مناقشتها في النصف القادم.

مثال (18) ص 74

هواء رطب عند 26°C جافة و 16°C رطبة يدخل جهاز التكييف الموضح بالشكل ويخرج منه بحالة تشبع تام بالضغط الجوي فيتكاثف ويزود بماء التغذية عند 16°C ليعوض ما يفقده من كمية التبخير. أوجد:

1- المحتوى الرطوبي للهواء قبل وبعد التبخير.
2- درجة تشبع كمية الدخول والخروج
3- الحجم النوعي للهواء كمية الدخول والخروج.
4- المحتوى الحراري للدخول والخروج.

الحل:-

$t_1 = 26°C$ ① ② $t_2 = t_w = 16°C$
$t_{w_1} = 16°C$ → $W_2 = W_{sw}$
$h_1 = ?$ ماء التغذية $h_2 = ?$
$M_1 = ?$ $t_w = 16°C$ $V_2 = ?$

1- حالة الدخول هواء غير مشبع

at $t_w = 16°C \rightarrow P_{sw} = 1.8168$ Kpa from table (2-1)

$P_1 = P_{sw} - P_B A (t_d - t_w)$

$= 1.8168 - 101.325 * 6.66 * 10^{-4} (26 - 16)$

$P_1 = 1.1420$ Kpa

$W_1 = 0.622 \dfrac{P_1}{P_B - P_1} = 0.622 \dfrac{1.1420}{101.325 - 1.1420}$

$W_1 = 0.00709$ Kg/Kg d.air Ans.①

2- حالة الخروج هواء مشبع تماماً

$P_2 = P_{sw} = 1.8168$ Kpa
$t_{w2} = t_w = 16°C$ from table (2-1)

$W_2 = W_{sw} = 0.622 \dfrac{P_{sw}}{P_B - P_{sw}}$

$= 0.622 \dfrac{1.8168}{101.325 - 1.8168}$

$W_2 = W_{sw} = 0.01136$ Kg/Kg d.air Ans.②

$M_1 = \left.\dfrac{W}{W_s}\right|_{t_d} = \left.\dfrac{W_1}{W_{s_1}}\right|_{t_d}$ -2

$W_1 = 0.00709$ Kg/Kg d.air

at $t_d = 26°C \rightarrow P_{s_1} = 3.360$ Kpa, from table (2-1)

$W_s = 0.622 \dfrac{P_s}{P_B - P_s} = 0.622 \dfrac{3.360}{101.325 - 3.360}$

$W_s = 0.0213$ Kg/Kg d.air

$M_1 = \dfrac{0.00709}{0.0213} \rightarrow \boxed{M_1 = 0.333 = 33.3\%}$ Ans.②

$M_2 = \left.\dfrac{W_2}{W_{s_2}}\right|_{t_d}$

$t_{d_2} = t_w = 16°C \rightarrow W_2 = 0.01136$ Kg/Kg d.air

$W_{s_2} = 0.01136$ Kg/Kg d.air في حالة تشبع تام

$\boxed{M_2 = 1 = 100\%}$ Ans.②

3- كما قلنا سابقاً هذه الحالة لا تتبع قانون الحجم النوعي

1- حالة الدخول

$PV = mRT)_{air}$, $T = 26°C + 273$
$R = 287$ J/Kg.K
$m = 1$ Kg
$P_{air} = P_B - P = 101.325 - 1.142 = 100.183$ Kpa
$V_1 = ?$

$100.183 * V = 287 * 299$

$\boxed{V_{a_1} = 0.857 \text{ m}^3/\text{Kg}}$ Ans.③

* واجب: أستنتج (V) من $PV = mRT)_{vapor}$

2- حالة الخروج

$PV = mRT)_{air}$, $T = 16 + 273 = 289$K
$R = 287$ J/Kg.K
$m = 1$ Kg

$P_{air} = P_B - P_{w2} = P_B - P_{sw2}$
$= 101.325 - 1.8168$
$P_{air} = 99.508$ Kpa

عند $t_w = 16°C$

$\therefore 99.508 * V = 1 * 287 * 289$

$\boxed{V_{a_2} = 0.834 \text{ m}^3/\text{Kg}}$ Ans.③

4- حالة الرفوف

$h_1 = (1.007t + 0.026) + W_1(2501 + 1.84t)$

$= 1.007(26) + 0.026) + 0.00709(2501 + 1.84 * 26)$

$\boxed{h_1 = 44.279 \text{ KJ/Kg}}$ Ans. ②

حالة الرذ تشبع تام

$h_2 = h_1 + (W_2 - W_1) h_{fw}$

$h_{fw} = 67.13 \text{ KJ/Kg}$ at $t_w = 16°C$, from table (2-1)

$W_1 = 0.00709 \text{ Kg/Kg d.air}$

$W_2 = W_{sw} = 0.01136 \text{ Kg/Kg d.air}$

$\boxed{h_2 = 44.566 \text{ KJ/Kg}}$ Ans. ③

لاحظ الفرق بين h_1, h_2 قليل جداً

$h_2 = (1.007 t_w + 0.026) + W_2(2501 + 1.84 t_w)$

$t_w = 16°C$

$W_2 = W_{sw} = 0.01136 \text{ KJ/Kg d.air}$

$\boxed{h_2 = 44.883 \text{ KJ/Kg}}$ Ans. ④

التعريف في المثالين السابقين

أن تطبيق قوانين الغاز المثالي على الخلائط مثل الغازات والأبخرة يتفق تماماً مع فرضية دالتون ومع القوانين المثالية ونظرية الحركية للغازات والتي تهمل تأثير القوى بين الجزيئات ولكن الطرق الحديثة للميكانيك الإحصائي تعطينا نظرية لديناميك الحرارة التي تأخذ بنظر الاعتبار القوى ما بين جزيئات الخلائط بواسطة " معاملات معدل الطاقة الحركية " وصفة القوى تكون غير متماثلة بواسطة " معاملات الفعل المتبادل " أو " معاملات التجاذب ". وقد أعطت الأساليب الميكانيك الإحصائي بالاتزان الأفضل للنتائج المختبرية لخواص الهواء الجاف وبخار الماء.

مثال على ذلك :-

يعرف المحتوى الحراري بدلالة المعامل " f_s " بدقة أكثر مما هو عليه الحال بقوانين الغاز المثالي السابقة :-

$$\left[W = 0.62197 \frac{P_s \cdot f_s}{P_B - P_s \cdot f_s} \right]$$

حيث يعتمد هذا المعامل على كل من ١- الضغط البارومتري
٢- درجة الحرارة

والموضح في الجدول (2-2)

مثال 19/ أحسب المحتوى الحراري ودرجة التشبع لعينة هواء رطب عند $20°c$ و ضغط بارومتري $82.5 KPa$ عندما يكون الهواء ١- هواء مشبع ٢- $\phi = 50\%$

الحل :-

١- هواء مشبع

at $t_d = 20°c \rightarrow P = 2.337 KPa$, from table (2-1)

at $t_d = 20°c$, $P_B = 82.5$ $\rightarrow f_s = 1.0039$, from table (2-2)

$$\therefore W = 0.62197 \frac{2.337 * 1.0039}{82.5 - 2.337 * 1.0039}$$

$\boxed{W = 0.0182205 \text{ Kg/Kg d.air}}$

$h = h_a + W h_v$, $h_v = 2538.2 \text{ KJ/Kg.K}$ at $t_d = 20°c$, from table (2-1)

$h = (1.007t - 0.026) + W h_v$

$= (1.007 * 20 - 0.026) + 0.0182205 * 2538.2$

$\boxed{h = 66.322 \text{ KJ/Kg}}$ Ans. ①

$\boxed{\mu = 1}$ هواء مشبع

* $h_2 = h_1 + (W_2 - W_1) h_{f\,water}$ t_w — عند التشبع الديناميكي

* t_{dp} from (2-1) at "P"

$t_{dp}, t_c \leq t_w, t_g$. — عند التشبع -8

* Superheated Degree $= t_d - t_{dp}$

-2 عند ما تكون $\phi = 50\%$ (غير مشبع)

at $t_d = 20°C \rightarrow P_s = 2.337$ Kpa, from table (2-1)

$\phi = \frac{P}{P_s}\Big|_{td} \rightarrow 0.5 = \frac{P}{2.337} \rightarrow P = 1.1685$ Kpa

at $t_d = 20°C = P_B = 82.5$ Kpa $\rightarrow \delta_s = 1.0039$,
from table (2-2)

$$W = 0.62197 \frac{1.1685 * 1.0039}{82.5 - 1.1685 * 1.0039}$$

$W = 0.00897$ Kg/Kg d.air

$h = (1.007t - 0.026) + W(2501 + 1.84t)$

$= (1.007 * 20 - 0.026) + 0.00897(2501 + 1.84 * 20)$

$\boxed{h = 42.878 \text{ KJ/Kg}}$ Ans. (2)

$\mu = \frac{W}{W_s}\Big|_{td} = \frac{0.00897}{0.018295} \rightarrow \boxed{\mu = 0.493}$ Ans. (1)

"نأخذ صيغ القوانين الأساسية"

* $P = P_{sw} - P_B A (t_d - t_w)$ → تجاربها وتغيرت

* $P_B = P + P_w$

* القوانين الأخرى

* $\phi = \frac{P}{P_s}\Big|_{td} = \frac{d}{d_s}\Big|_{td} = \frac{X}{X_B}\Big|_{td}$

* $W = 0.622 \frac{P}{P_B - P} = \frac{m_v}{m_{air}} = \frac{d_v}{d_a}$

* $\mu = \frac{W}{W_s}\Big|_{td} = \phi\left[\frac{1 - \frac{P_s}{P_B}}{1 - \phi\left(\frac{P_s}{P_B}\right)}\right]$

* $\phi = \frac{\mu}{1 - (1 - \mu)\left(\frac{P_s}{P_B}\right)}$

* $PV = mRT$ Vapor or air

* $h = h_a + W h_v$

$= (1.007t - 0.026) + W(2501 + 1.84t)$ 0 < t < 100

$= 1.005t + W(2501 + 1.84t)$ -10 < t < 0

تمارين الفصل الأول ص 27

-: 15

$T_\circ = 20^\circ C \rightarrow T(F) = 1.8\,T(^\circ C) + 32$

$T(F) = 1.8 * 20 + 32$

$\boxed{T(F) = 68\,F}$ Ans.

$T(R) = 460 + T(F)$

$= 460 + 68$

$\boxed{T(R) = 528}$ Ans.

-: 25

$T(F) = 1.8\,T(^\circ C) + 32$

$+1 = 1.8 * T(^\circ C) + 32$

$\boxed{T(^\circ C) = -10}$ Ans.

$200 = 1.8 * T(^\circ C) + 32$

$\boxed{T(^\circ C) = 93.3^\circ C}$ Ans.

-: 35

$\Delta T(^\circ C) = \frac{\Delta T(F)}{1.8} = \frac{8}{1.8}, \frac{10}{1.8}, \frac{12}{1.8}$

$\boxed{\Delta T(^\circ C) = 4.44^\circ C, 5.55^\circ C, 6.66^\circ C}$ Ans.

-: 55

$P = \rho g h)_{air} = \rho g h)_{water}$

$1.2 * 300 = 1000 * h_{water}$

$\boxed{h_{water} = 0.36\ m}$ Ans.

-: 65

$P = \rho g h)_{water} = \rho g h)_{Hg}$

$1000\,h_{water} = 13600 * 500 * 10^{-3}$

$\boxed{h_{water} = 6.8\ m}$ Ans.

$P = \rho g h)_{water}$

$= 1000 * 9.81\ 6.8$

$= 66708\ Pa$

$\boxed{P = 66.708\ KpaCkN/m^2}$ Ans.

-: 3ر

P_a = ؟
$t_d = 25°c$
$t_w = 20°c$
$P_B = 100 Kpa$
and
P_B = ثابت

1- الضغط الجوي = ضغط البخار المشبع عند $P_B = 100 Kpa$

at $t_w = 20°c \rightarrow P_{sw} = 2.337$ Kpa from table (2-1)

$P = P_{sw} - P_B A (t_d - t_w)$

$= 2.337 - 100 * 6.66 * 10^{-4} (25 - 20)$

$P = 2.004$ Kpa Ans. ب

2- عند الضغط الجوي القياسي والبخار مشبع

$P = 2.337 - 101.325 * 6.66 * 10^{-4} (25 - 20)$

$P = 1.999$ Kpa Ans. ج

-: 4ر

ϕ = ؟ , $t_d = 40°c$, $t_w = 30°c$, P_B = ثابت

at $t_d = 40°c \rightarrow P_s = 7.375$ Kpa, from table(2-1)

$t_w = 30°c \rightarrow P_{sw} = 4.241$ Kpa, " " "

$P = P_{sw} - P_B A (t_d - t_w)$

$= 4.241 - 101.325 * 6.66 * 10^{-4} (40 - 30)$

$P = 3.5661$ Kpa

$\therefore \phi = \left.\frac{P}{P_s}\right|_{t_d} = \frac{3.5661}{7.375} \rightarrow \phi = 48.35$ Ans.

-: 5ر

v = ؟ , $t_d = 30°c$ & $t_w = 20°c$, $P_B = 95$ Kpa

1- كتلة الهواء في ضغط البخار

$PV = mRT)_{air}$, $T = 30 + 273 = 303K$

$R = 287$ J/Kg.K

$m = 1$ Kg

at $t_w = 20°c \rightarrow P_{sw} = 2.337$ Kg, from table (2-1)

$P = P_{sw} - P_B A (t_d - t_w)$

$= 2.337 - 95 * 6.66 * 10^{-4} (30 - 20)$

$P = 1.7043$ Kpa

$P_B = P + P_{air} \rightarrow 95 = 1.7043 - P_{air}$

$P_{air} = 93.3$ Kpa

$\therefore 93.3 v = 287 * 303$

$v = 0.933$ $m^3/Kg_{d.air}$ Ans. ب

-: 2ر

$PV = mRT)_{vapor}$, $T = 30 + 273 = 303K$

$R = 461$ J/Kg.K

$w = m = 0.622 \frac{P}{P_B - P} = 0.622 \frac{1.7043}{95 - 1.7043}$

$w = m = 0.01136$ Kg/Kg d.air

$1.7043 v = 461 * 0.01136 * 303$

$v = 0.939$ $m^3/Kg_{dry\ air}$ Ans. ج

-: 6ر

$d = \frac{15.9 * 10^{-3}}{1\ m^3} \rightarrow d = 0.015$ Kg/m^3. بخار ماء

$t_d = 24°c$
P_B = ثابت

P_{air} = ؟ -1

$PV = mRT)_{vapor}$, $T = 24 + 273 = 297K$

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

$P = d RT$

$= 0.015 * 461 * 297$

$P = 2053$ Pa

$R = 461$ J/Kg.K

$m = 1$ Kg

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

$P_B = P + P_{air} \rightarrow 101.325 = 2.053 + P_{air} \rightarrow$

$P_{air} = 99.27$ Kpa Ans. ج

2- يجب ايجاد (ϕ) او (t_w) عن طريق (t_d) فان الهواء يكون مشبعا والعكس:

at $t_d = 24°c \rightarrow P_s = 2.982$ Kpa, from (2-1)

$\phi = \left.\frac{P}{P_s}\right|_{t_d} = \frac{2.053}{2.982} \rightarrow \phi = 68.8\%$

∴ الهواء غير مشبع Ans. د

3- at $P = 2.053$ Kpa $\rightarrow t_p = 17.9°c$, from (2-1)

∴ درجة التشبع $= t_d - t_p = 24 - 17.9$

$= 6.1°c$ = ∴ درجة التشبع Ans. ج

-: 95

$h = ?$

$t_d = 25°C$ ← $P_B = 101.325$ KPa

$h = (1.007t - 0.026) + w h_v$

-: الحل

h_v ← at $t_d = 25°C$ → $h_v = 2547.3$ KJ/Kg from table(2-1)

P_{sw} ← at $t_d = 25°C$ → $P_{sw} = 3.171$ KPa from table(2-1)

$$\therefore w = 0.622 \frac{P_{sw}}{P_B - P_{sw}} = 0.622 \frac{3.171}{101.325 - 3.171}$$

$w = 0.0201$ Kg/Kg d.air

$h = (1.007 * 25 - 0.026) + 0.0201 * 2547.3$

$\boxed{h = 76.35 \text{ KJ/Kg}}$ Ans.

-: 96

$t_d = 30°C$, $\phi = 60\%$ ← $P_B = 101.325$ KPa

-: الحل

at $t_d = 30°C$ → $P_s = 4.241$ KPa from table(2-1) -1

$$\phi = \frac{P}{P_s}\Big|_{td} \rightarrow 0.6 = \frac{P}{4.241} \rightarrow P = 2.5446 \text{ KPa}$$

at $P = 2.5446$ KPa → $\boxed{t_{dp} = 21.35°C}$ Ans. ①

$$w = 0.622 \frac{P}{P_B - P} = 0.622 \frac{2.5446}{101.325 - 2.5446}$$ -2

$\boxed{w = 0.01601 \text{ Kg/Kg d.air}}$ Ans. ②

$h = (1.007 t_d - 0.026) + w(2501 + 1.84 t_d)$ -3

$\boxed{h = 71.1 \text{ KJ/Kg}}$ Ans. ③

$PV = mRT)_{air}$ or $PV = mRT)_{vapor}$ -4

$m = 1$ Kg

$R = 287$ J/Kg.K

$T = 30°C + 273 = 303$ K

$P_B = P + P_{air} \rightarrow 101.325 = 2.5446 - P_{air} \rightarrow$

$P_{air} = 98.78$ KPa

$98780 V = 1 * 303 * 287 \rightarrow$

$\boxed{V = 0.88 \text{ m}^3/\text{Kg d.air}}$ Ans. ④

-: 97

-1 حساب ضغوط الهواء الجاف

$PV = mRT)_{air}$, $T = 28°C + 273 = 301$ K

$R = 287$ J/Kg.K

$m = 1$ Kg

$P_B = P + P_{air}$

$V = ?$

$P_B = P + P_{air}$

$101.325 = 1.926 + P_{air}$

$P_{air} = 99.4$ KPa

$\therefore 99.4 V = 1 * 287 * 301$

$V_{air} = V_{vapor} = 0.87$ m³/Kg dry air

$PV = mRT)_{vapor}$, $T = 301$ K

$1926(.87) = m(461)(301)$ $R = 461$ J/Kg.K

$m = W = 0.01207$ Kg/Kg d.air $m = W = ?$

$P = 1.926$ KPa

$V = 0.87$ m³/Kg

$\therefore h = (1.007t - 0.026) + W(2501 + 1.84t)$

$= (1.007 * 28 - .026) + 0.01207 * (2501 + 1.84 * 28)$

$\boxed{h = 59 \text{ KJ/Kg}}$ Ans. ①

-2 لكن الضغط الجوي البارومتري قد انخفض الى (95 KPa) أعد حساب المقدار الكراري الجديد وقارن مع المقدار الكراري المستمر في السؤال (واجب)

-: 98

$t_{d_1} = 30°C$, $\dot{V} = 200$ m³/h, $t_{w_1} = 20°C$

① $t_{d_2} = 20°C = t_{w_2}$

هواء رطب — هواء مشبع — ماء سائل

-: الحل

$P = P_{sw} - P_B A (t_d - t_w)$

P_{sw} ← at $t_w = 20°C$ → $P_{sw} = 2.337$ KPa, from(2-1)

$= 2.337 - 101.325 * 6.66 \times 10^{-4} (10)$

$P = 1.662$ KPa

$$W_1 = 0.622 \frac{P}{P_B - P} = 0.622 \frac{1.662}{101.325 - 1.662}$$

$W_1 = 0.01037$ Kg/Kg d.air

$$W_2 = W_{sw2} = 0.622 \frac{P_s}{P_B - P_s}$$

$$= 0.622 \frac{2.337}{101.325 - 2.337} \rightarrow W_2 = 0.0146 \text{ Kg/Kg d.air}$$

Ans. ←

$\Delta W = W_2 - W_1 \rightarrow$ كمية بخار الماء المضافة $= 0.00423 * 200 = 0.846$ Kg

-5

$$M = \phi \left[\frac{1 - \frac{P_s}{P_B}}{1 - \phi \frac{P_s}{P_B}} \right] \quad , P_s = 4.241 \text{ KPa}$$

$\phi = 0.6$

$P_B =$ نهمل

$$= 0.6 \left[\frac{1 - \frac{4.241}{101.325}}{1 - 0.6 * \frac{4.241}{101.325}} \right]$$

$M = 0.589$ Ans. (E)

-6

$$P = P_{sw} - P_B A (t_d - t_w)$$

يتم استخراج قيمة (t_w) بالمحاولة والخطأ للمعادلة اعلاه:

بفرض قيمة $(t_w) = 24^\circ C$ حيث :-

$t_w < t_d$ & $t_w > t_{dp}$

at $t_w = 24^\circ C \rightarrow P_{sw} = 2.982$ KPa, from (2-1)

$P = 2.982 - 101.325 * 6.66 \times 10^{-4} (30 - 24)$

$P = 2.577 \simeq P_{\text{المعطى}} = 2.5446$ KPa

$\therefore t_w \simeq 24^\circ C$ Ans. (6)

-: 13-5

$t_d = 28^\circ C$

$t_w = 21^\circ C$ & $877 \text{ mbar} = P_B$

-: الحل

$$P = P_{sw} - P_B A (t_d - t_w)$$

at $t_w = 21^\circ C \rightarrow P_{sw} = 2.4895$ KPa

from table (2-1)

$P = 2.4895 - 87.7 * 6.66 \times 10^{-4} (28 - 21)$

$P = 2.08$ KPa →

t	P
18	2.062
t_{dp}	2.080
20	2.337

$t_{dp} = 18.11^\circ C$ Ans.

$$W = 0.622 \frac{P}{P_B - P}$$

$$= 0.622 \frac{2.08}{87.7 - 2.08}$$

$W = 0.1511$ Kg/Kg.da

$h = (1.007 t - 0.026) + W(2501 + 1.84 t)$

$= (1.007 * 28 - 0.026) + 0.01511 (2501 + 1.84 * 28)$

$h = 66.75$ Kg/Kg Ans.

$t_d = 21°C$
$\phi = 55\%$ $\Rightarrow P_B = 740\ mmHg$ — 12-

$P_B = \rho \cdot g \cdot h = 13600 * 9.81 * 740 * 10^{-3}$ — 14-1

$P_B = 98727\ Pa$

$\phi = \left.\frac{P}{P_s}\right|_{t_d}$

at $t_d = 21°C \rightarrow P_s = 2.49\ Kpa$, from table (2-1)

$0.55 = \frac{P}{2.49} \rightarrow P = 1.3695\ Kpa$

$W = 0.622 \frac{P}{P_B - P} = 0.622 \frac{1.3695}{98.727}$

$W = 8.747\ g/Kg.dry\ air$ Ans. ②

at $P = 1.3695\ Kpa \rightarrow t_{dp} = 11.63°C$ Ans. ② -2

at $t = 4°C \rightarrow P = 0.8129\ Kpa$, from table -3

$W_2 = 0.622 \frac{P}{P_B - P} = 0.622 \frac{0.8129}{98.727 - 0.8129}$

$W_2 = 5.164\ g/Kg\ d.air$

$\Delta W = W_2 + W_1 = -5.164 + 8.747 \rightarrow$

$\Delta W = 3.583\ g/Kg\ d.air$ Ans.

* لمنع عملية التكثف على سطح الزجاج يجب أن -

$t_{dp} \leqslant t_{Wall} \rightarrow$ Let $t_{dp} = t_w = 4°C$

at $t_{dp} = 4°C \rightarrow P = 0.8129\ Kpa$
$t_d = 21°C \rightarrow P = 2.49\ Kpa$ } from table (2-1)

$\phi = \left.\frac{P}{P_s}\right|_{t_d} = \frac{0.8129}{2.49}$

$\phi = 32.5\%$ Ans.

$t_d = 30°C$ ① ② $t_w = 17°C$ — 11-

$P_B = 1050\ mbar$, $W_1 = ?$, $\phi_1 = ?$

$\Delta W = 5\ g/Kg\ d.air$, $h_2 = ?$, $t_{dp} = ?$

$P_B = 1050\ mbar * 10^{-3} * 10^2 \rightarrow P_B = 105\ KPa$ — 8-

at $t_w = 17°C \rightarrow P_{sw} = 1.9397\ Kpa$, from (2-1) -1

$P = P_{sw} - P_B A (t_d - t_w)$

$= 1.9397 - 105 * 6.66 * 10^{-4} (30 - 17)$

$P = 1.03\ Kpa$

$W = 0.622 \frac{P}{P_B - P} = 0.622 \frac{1.03}{105 - 1.03} \rightarrow$

$W = 0.00616\ Kg/Kg\ d.air = 6.16\ g/Kg_{d.air}$ Ans. ①

at $t_d = 30°C \rightarrow P_s = 4.241\ Kpa$, from (2-1)

$\phi = \left.\frac{P}{P_s}\right|_{t_d} = \frac{1.03}{4.241} \rightarrow \phi = 0.243$ Ans. ①

$h_1 = (1.007t - 0.026) + W_1 (2501 + 1.84t)$ -2

$= 1.007 * 30 - 0.026) + 0.00616 (2501 + 1.84 * 30)$

$h_1 = 45.93\ KJ/Kg$, $\Delta W = W_2 - W_1 \rightarrow W_2 = 0.01116\ Kg/Kg\ d.air$

$h_2 = h_1 + (W_2 - W_1) h_{fg}$

$h_2 = 45.93 + 0.0005 * ?$ يهمل

$h_2 = 45.93\ KJ/Kg$

لتسهيل الحل لإيجاد قيمة h_{fg} لعدم وجود قيمة (t_w)

$\therefore h_2 = h_1 = (1.007 t_d - 0.026) + W_2 (2501 - 1.84 t_d)$

$45.93 = (1.007 t_d - 0.026) + 0.01116 (2501 - 1.84 t_d)$

بالمحاولة والخطأ نستخرج (t_d) من ⑤ : ⑥

نعوض $t_w = 17°C$ نستخرج h_2 مقارب

إذا كانت متساويتان فإن $t_d = 17°C$ هي قيمة الصحيحة

أما إذا كانت غير متساويتان فإن ناخذ قيمة أخرى

لـ $(t_w = 18)$ أكبر من $(17°C)$ لكن يجوز أصغر كذا ؟؟

$t_d = 18°C$ Ans. ②

$t_w = t_d = 18°C$ الحقيقة عند (h_2) نستخرج قيمة

من العلاقة هي اتباع أدبياتي

$h_2 = h_1 + (W_2 - W_1) h_{fg}$

$= 45.93 + 5 * 10^{-3} * 75.5$ at $t_w = 18°C \rightarrow h_{fg} = 75.5$

$h_2 = 46.3\ KJ/Kg$ Ans. ②

"ملاحظات" لخواص الهواء الجوية كخليط + بخار الماء "

المخطط السيكرومتري

لتسهيل عمليات الحسابات وبيان عمليات تكييف الهواء وتغير الخواص المختلفة للهواء، تم أعداد مخطط يبين خواص خليط الهواء والبخار ويسمى بـ:

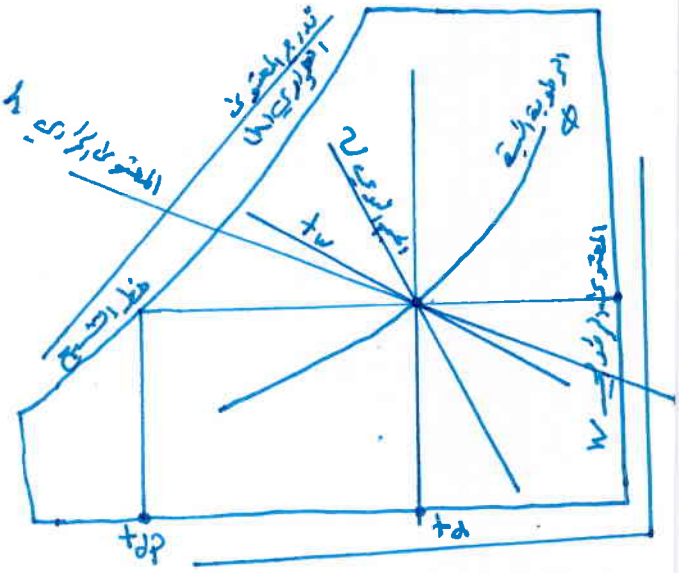
المخطط السيكرومتري Psychrometric Chart

الذي يحوي جميع خواص الهواء الجوية عند ضغط جوي معين وغالبيتها عند الضغط الجوي القياسي للبارومتر القياسي وكذلك يحتوي على منطقة داخل الجانب الأيسر السفلي من المخطط المعد لدراستنا الحالية، والتي تحتوي على تدريجين:-

١- خط أفقي: النسبة بين الزيادة المحسوسة لكمية الحرارة الكلية

٢- خارجي: النسبة بين الفرق في المحتوى الحراري إلى الفرق في المحتوى الرطوبي.

* جاءت كلمة السيكرومتري من كلمة (مقياس) هي أداة لقياس درجتي (tw & td) والتي من خلالها يتم حساب جميع خواص الهواء الآخرى.



* أول من أعد مخططاً سيكرومترياً هو (كاريير Carrier) عام 1906 ثم قام بتطويره (موليير Mollier) عام 1923 الذي أعتمد على المحتوى الحراري أفقياً أما هو، وبصورة مائلة ليعطي المخطط السيكرومتري الحالي.

* محددات المخطط السيكرومتري الحالي المعد لظروف:

١- عند الضغط الجوي البارومتري القياسي 101.325 KPa

٢- حديات المعدة لجميع خواص الهواء.

* يمكن معرفة جميع خواص الهواء من خلال أعطاء أي خاصيتين للهواء الرطب.

* توجد برامج جاهزة للمخطط السيكرومتري.

مثال ①:- أوجد خواص الهواء الآتية عند الضغط القياسي لـ:

وما هي حالة الهواء؟

١- $t_w = 20°C$, $t_d = 25°C$

٢- $t_d = t_w = 25°C$

٣- $t_w = 0.04$, $t_d = 30°C$

الحل:-

١- at $t_d = 25°C$, $t_w = 20°C$ →
$w = 0.0126$ Kg/Kg.da
$\phi = 63\%$
$V = 0.861\ m^3/Kg$
$h = 56$ Kg/Kg
$t_{dp} = 17.5°C$
(from psychrometric chart)

حالة الهواء هي: هواء رطب

٢- at $t_d = t_w = 25°C$ → $w = 0.02$ Kg/Kg.da
$\phi = 100\%$
$V = 0.87\ m^3/Kg$
$h = 76$ Kg/Kg
$t_{dp} = 25°C$
(from psychrometric chart)

حالة الهواء هي: هواء مشبع

٣- at $t_d = 30°C$, $w = 0.04$ Kg/Kg.da → لا يمكن استخراج خواص الهواء من خلال المخطط السيكرومتري لأن (w) خارج مدى المخطط المسموح به.

واجب: استخرج خواص الهواء الآتية لكل حالة من الحالات الآتية عند الضغط الجوي القياسي لـ:-

وما هي حالات الهواء؟

١- $t_w = 15°C$, $t_d = 20°C$

٢- $t_w = t_d = 15°C$

٣- $w = 0.011$ Kg/Kg.da , $h = 60$ Kg/Kg

٤- $V = 0.89$, $\phi = 50\%$

٥- $t_d = 25°C$, $t_{dp} = 15°C$

٦- $h = 70$ Kg/Kg , $t_{dp} = 20°C$

٧- $P_B = 95$ KPa عند $t_w = 20°C$, $t_d = 20°C$

٨- $t_w = 10°C$, $t_{dp} = 10°C$

٩- $h = 55\ \frac{Kg}{Kg}$, $t_d = 55°C$

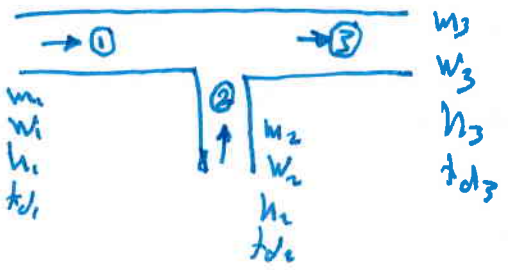
١٠- $h = 150\ \frac{Kg}{Kg}$, $V = 0.96\ \frac{m^3}{Kg}$

عمليات المعظم المصدري

١- خلط الهواء

Mixing Air Processes

هي عملية خلط تيارين من الهواء كل منهما يمتلك خواص وصفات مستقلة عن الآخر وهي تحدث في معظم عمليات تكييف الهواء المركزية



هواء جاف $\quad m_1 + m_2 = m_3$

بخار الماء $\quad m_1 w_1 + m_2 w_2 = m_3 w_3$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{w_1 + w_2}{w_3 + w_2}$$

حفظ الطاقة Energy Conservation

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = m_3 h_3$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{h_1 + h_3}{h_3 + h_2}$$

بصورة تقريبية من معادلة الكتلة ودرجة الحرارة

$$m_1 t_1 + m_2 t_2 = m_3 t_3$$

مثال ② ص 97 ج ١- تيار هواء كمية (32.1°C)، (60°C) يخلط أديباتيًا مع تيار آخر (5°C)، (0.5°C) عند الضغط الجوي المعتاد، فإذا كان معدل التدفق الكتلي لكل من التيارين (2 Kg/s)، (3 Kg/s) على الترتيب

أطلب :- ١- المحتوى الرطوبي
٢- المحتوى الحراري
٣- درجة حرارة البصلة الجافة
للخليط الناتج بصورة دقيقة وبصورة تقريبية

الحل :- لاحظ أن $t_{d1} = 60°C$ هي خارج مدى (t_{da}) الضغط المصدري المسموح به لذلك نلجأ الى القوانين لاستخراج القيم المطلوبة

$$P_1 = P_{sw} - P_B A (t_d - t_w)$$

- $t_d = 32.1°C$
- $t_w = 60°C$
- $A = 6.66 \times 10^{-4}\ °C^{-1}$
- $P_B = 101.325$ kPa
- at $t_w = 32.1°C \Rightarrow P_{sw} \cong 4.753$ kPa

$$\therefore P_1 = 4.753 - 101.325 \times 6.66 \times 10^{-4} (60 - 32)$$

$$P_1 = 2.863 \text{ kPa}$$

$$w_1 = 0.622 \frac{P_1}{P_B - P_1} = 0.622 \frac{2.863}{101.325 - 2.863}$$

$$w_1 = 0.01804 \text{ kg/kg d.air}$$

$$h_1 = (1.007 t - 0.026) + w_1 (2501 + 1.84 t)$$

$$= 1.007 \times 60 - 0.026 + 0.01804 (2501 + 1.84 \times 60)$$

$$h_1 = 108.4 \text{ kJ/kg}$$

أما الحالة الثانية فهي أحد مدخلات المعظم المصدري :-

$t_d = 5°C$, $t_w = 0.5°C$ $\Rightarrow$ $w_1 = 0.002061$ kg/kg d.air, $h_1 = 10.2$ kJ/kg

$$w_3 = \frac{m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2}{m_1 + m_2} = \frac{3 \times 0.01804 + 2 \times 0.002061}{2 + 3}$$

$$\boxed{w_3 = 0.011648 \text{ kg/kg d.air}} \quad \text{Ans. ①}$$

$$h_3 = \frac{m_1 h_1 + m_2 h_2}{m_1 + m_2} = \frac{3 \times 108.4 + 2 \times 10.2}{3 + 2}$$

$$\boxed{h_3 = 69.12 \text{ kJ/kg}} \quad \text{Ans. ②}$$

$$h_3 = (1.007 t_3 - 0.026) + w_3 (2501 + 1.84 t_3)$$

$$69.12 = (1.007 t_3 - 0.026) + 0.011648 (2501 + 1.84 t_3)$$

$$\boxed{t_3 = 38.4°C} \quad \text{Ans. ③}$$

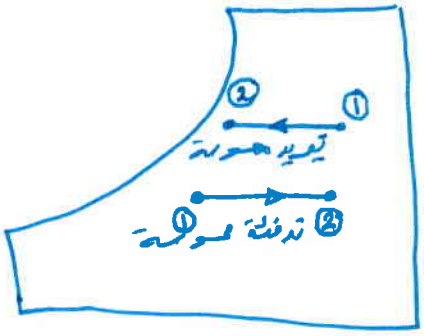
بصورة دقيقة

كذلك يمكن إيجاد (t_3) بصورة تقريبية من خلال

2- عملية التدفئة المحسوسة
Sensible Heating pro.

3- عملية التبريد المحسوس
Sensible Cooling pro.

هما اللتان تقومان بإضافة بخار ماء أو ازالته من الهواء الرطب، وتسمى أيضاً عملية ثابتة المحتوى الرطوبي (w) وتمثل على المخطط السيكرومتري بخط أفقي ثابت المحتوى الرطوبي. وهما أيضاً عمليتان تغيران درجة الحرارة فقط.

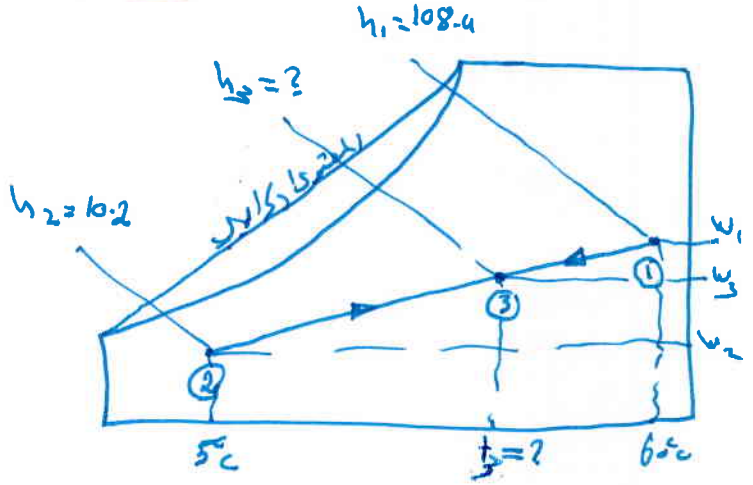


$$\left[q = \dot{m} \cdot c_{pm} \cdot \Delta T = \dot{m} \cdot \Delta h \right]$$ كمية الحرارة المضافة أو المزالة للمكيف

$$t_3 = \frac{m_1 \cdot t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2}$$

$$= \frac{3*60 + 2*32.1}{3+2}$$

$$\boxed{t_3 = 38^\circ C}$$ Ans. (2)

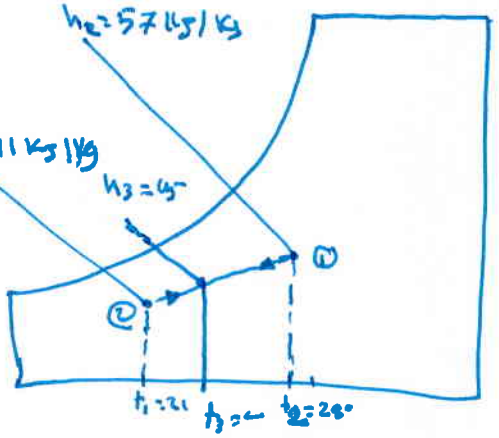


المخطط السيكرومتري

مثال (3) ص 105

تيار هواء رطب ($15^\circ C$)(21°C) يختلط adiabatically مع تيار هواء رطب ثاني ($28^\circ C$)، ($20^\circ C$) بمعدل تدفق (3 kg/s) و (1 kg/s) على التوالي. أحسب (t_3) بصورة دقيقة وبصورة تقريبية.

الحل:-



$$h_3 = \frac{m_1 h_1 + m_2 h_2}{m_1 + m_2} = \frac{3*41 + 1*57}{3+1}$$

$$h_3 = 45 \text{ kJ/kg}$$

عند (h_3) في المخطط السيكرومتري يتم تقاطعه مع الخط ② ① للحصول على (t_3) بصورة دقيقة

$$\boxed{t_3 = 22.5^\circ C}$$ Ans.

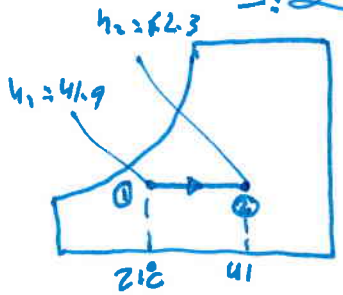
$$t_3 = \frac{m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2}{m_1 + m_2} = \frac{3*21 + 28*1}{3+1} \rightarrow$$

$$\boxed{t_3 = 22.75^\circ}$$ بصورة تقريبية Ans.

مثال (4) ص 110

أحسب حمل التدفئة لمكيف يدفع 1.5 kg/s من الهواء الرطب حالته الابتدائية ($15^\circ C$)(21°C) بدفئه بعنصر تدفئة كهربائية وأحسب معدل تدفق الماء اللازم تجهيزه لملف التسخين الذي يدخل عنه ($85^\circ C$) ويخرج بـ ($75^\circ C$)

الحل:-



$$q = \dot{m} \cdot c_{pm} \cdot \Delta T$$

$$= \frac{1.5}{0.844} * 1.017 * 20$$

$$\boxed{q = 36.15 \text{ kW}}$$ Ans

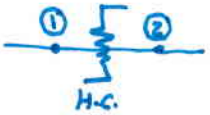
or

$$q = \dot{m} \cdot \Delta h$$

$$= \frac{1.5}{0.844} (62.6 - 41.9)$$

$$\boxed{q = 36.3 \text{ kW}}$$ Ans.

$v_1 = 0.844 \text{ m}^3/\text{kg}$



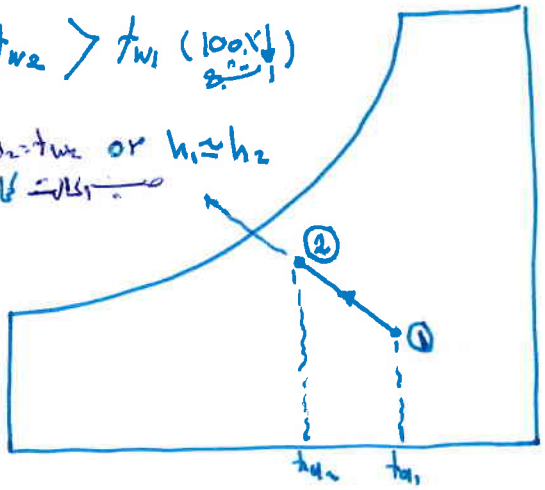
$$q_{water} = q = \dot{m}_w \cdot c_{pw} (t_{out} - t_{in})$$

$$36.3 = \dot{m}_w * 4.2 * (85 - 75)$$

$$\boxed{\dot{m}_w = 0.864 \text{ kg/s}}$$ Ans.

4. الإنباع الأديباتي (أو التبخير الأديباتي)
Adiabatic Humidification Pro.

تم التطرق الى هذه العملية في الفصل السابق، حيث يمكن ان تمثل على المخطط السيكرومتري :-



$\rightarrow t_{d_2} = t_{w_2} > t_{w_1}$ (100% تشبع)

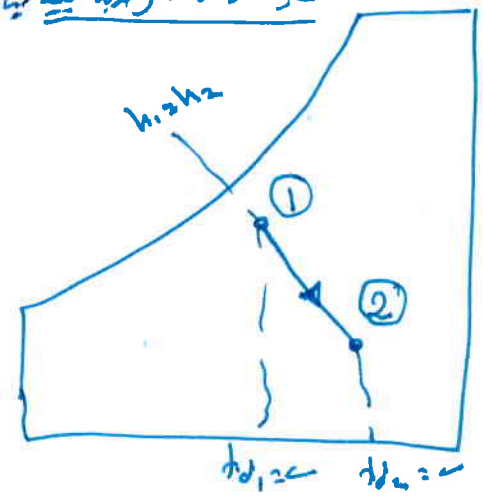
$\rightarrow t_{w_1} = t_{d_2} = t_{w_2}$ or $h_1 \simeq h_2$
حيث الحالات كما سابقاً

وتتسم أيضاً عملية ثابتة المحتوى الحراري، حيث ان درجة حرارة البصلة الرطبة تبقى ثابتة تقريباً في هذه العملية وكما هو موضح في الفصل السابق.

مثال: عملية تكييف الهواء برذاذ الماء أو حقن الماء بدرجة حرارة مساوية الى درجة حرارة البصلة الرطبة للهواء (أ)، وكذلك في مجموعات الهواء (مجموعات الهواء الشتوية) (مجموعات الصحراوية) تناقش التي في ص 7 .

---

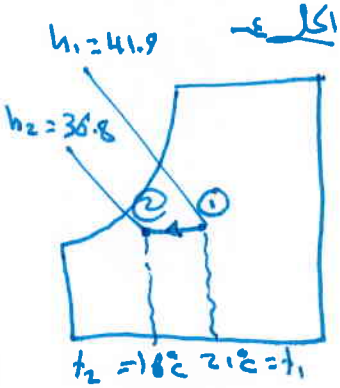
* عملية معاكسة الى الإنباع الأديباتي :- والتي تتم عن طريق مواد كيميائية خاصة للرطوبة الموجودة في الهواء الرطب ضمن حيز معين والتي تسمى "عملية ازالة الرطوبة كيميائياً"



واجب: اعادة حل مثال (18) بالمخطط السيكرومتري وجميع الأسئلة المتعلقة بالإنباع الأديباتي الفصل السابق.

مثال (5) ص 111 أسخن هواء الغرفة على ملف يزود تيار الهواء للمثال السابق نفس درجات الحرارة المعطاة، احسب معدل تدفق الكتلي للماء المتبخر الداخل في ملف التبريد اذا كان (t_{in}) (17°c) و (t_{out}) في ملف التبريد (12°c)

الحل :-



$\dot{q}_{sen} = \dot{m} \cdot c_{p_m} \cdot \Delta T$

$= \frac{1.5}{0.844} * 1.017 * 5$

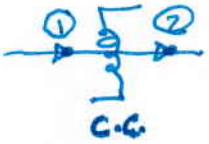
$\dot{q}_{sen} = 9.037$ kw Ans.

or

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

$= \frac{1.5}{0.844} (41.9 - 36.8)$

$\dot{q}_{sen} = 9.1$ kw Ans.



$\dot{q}_{water} = \dot{q}_{sen} = \dot{m}_w \cdot c_{p_w} \cdot \Delta T_w$

$9.1 = \dot{m}_w * 4.2 * 5$

$\dot{m}_w = 0.433$ kg/s Ans.

مثال: هواء خارجي عند (35°c)(10°c) يمر بمعدل (3kg/s) ليعتمد (ديباتيكياً) مع هواء آخر عند (28°c) بمعدل (1kg/s) بعد ذلك يمر على ملف تدفئة محسوس فقط (38.5 kw)، ما هي خواص الهواء بعد ملف التدفئة ؟

الحل

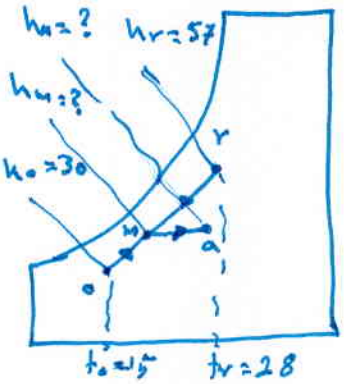
من المخطط السيكرومتري نستخرج قيم المحتوى الحراري :-

$h_o = 30$ kJ/kg

$h_r = 57$ kJ/kg

$h_m = \frac{m_o \cdot h_o + m_r \cdot h_r}{m_o + m_1}$

$= \frac{3 * 30 + 1 * 57}{3 + 1}$



$h_m = 36.75$ kJ/kg, at this value $\rightarrow$

$t_m = 19°c$ from psychrometric chart

$\dot{q}_{sen} = \dot{m} \cdot c_{p_m} \cdot (t_a - t_m)$, $\dot{m} = m_r + m_o = 4$ kg/s

$38.5 = 4 * 1.017 (t_a - 19)$

$t_a = 27°c$ $\rightarrow$ from chart $h_a = 47$ kJ/kg

$t_w = 16°c$ $w_a = 0.00602$ kg/kg عند $\dot{v}_a = 0.86$ kg/s ، $\phi_a = 33\%$ Ans.

5- عملية التوطيب فقط Humidification Pro.

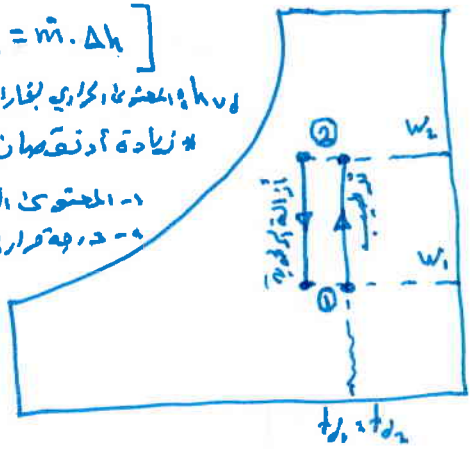
هي عملية ثبوت درجة حرارة البصلة الجافة (الحرارية) التي يحس بها الانسان بارتفاعها او انخفاضها، والتي تمثل بخط محدود تقريبًا على المخطط السيكرومتري

مثل: عملية توطيب الهواء بالبخار او أزالة الرطوبة من الهواء.
بدرجة حرارة بصلة جافة ثابتة.

$$[q = \dot{m} \cdot \Delta w \cdot h_{vd} = \dot{m} \cdot \Delta h]$$

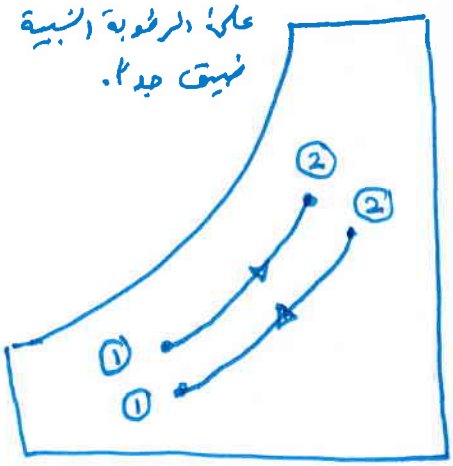
h_{vd}: المحتوى الحراري لبخار الماء عند (t_{dp_1}).

* زيادة أو نقصان تبعًا كل من:-
1- المحتوى الرطوبي
2- درجة حرارة البصلة الرطبة
3- ϕ
4- h
5- v
6- $t_{d.p.}$



6- عملية ثابتة الرطوبة النسبية Relative Humidity Pro.

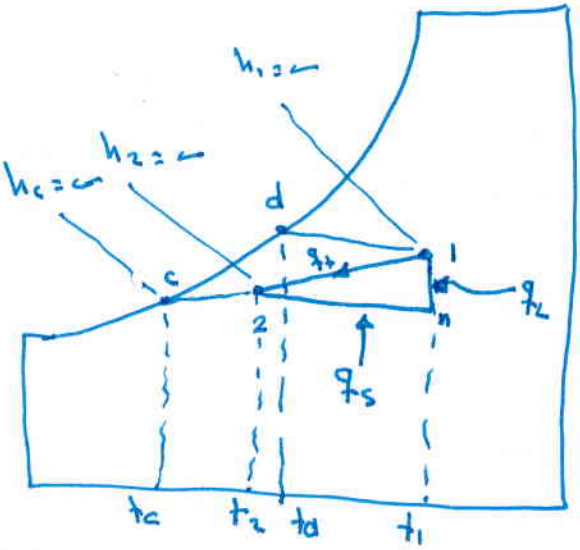
عمليًا، تكون هذه العملية صعبة التنفيذ ولا توجد حقيقة عملية تكيف هواء تجري على خط ثابت الرطوبة النسبية، إذ تتطلب تغير كافة خواص الهواء الأخرى وهي ممكنة نظريًا. ولكن هذا لا يعني وجود تطبيقات تتطلب الحفاظ على الرطوبة النسبية ضمن مدى تفاوت ضيق جدًا.



7- عملية التبريد وازالة الرطوبة

Cooling & Dehumidification pro.

هنالك عدة من الطرق لإزالة الرطوبة من الهواء الرطب، ولكن الطريقة التي تهمنا حاليًا هي: تبريد الهواء الى درجة حرارة أوطأ من نقطة الندى وكما يلي:-

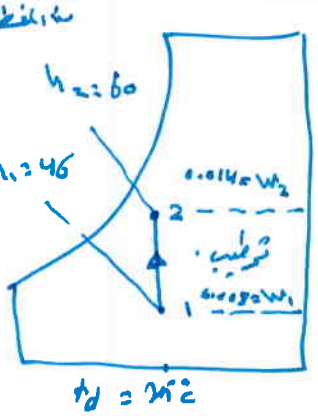


حيث يتم تبريد الهواء في الحالة ① الى درجة حرارة أوطأ من نقطة الندى للحالة ① اي أقل من درجة حرارة (t_d) حيث أن $t_2 < t_d$، والحالة ② تسمى نقطة ندى الجهاز وهي معدل درجة حرارة الماء المرشوش أو معدل درجة حرارة السطح البارد للجهاز.

مثال أحسب مقدار الحرارة لعملية ترطيب هواء عند (163°F)، (25°C) الى (21°C) اذا علمت ان معدل التدفق (2 kg/s).

الحل:-

$h_1 = 46$ kJ/kg
$h_2 = 60$ kJ/kg
$w_1 = 0.008$ kg/kg d.a
$w_2 = 0.014$ kg/kg d.a
at $t_d = 21°C$ من المخطط السيكرومتري



$q = \dot{m} \Delta h$
$= 2 (60 - 46)$
$q = 28$ kw Ans.

or from

$q = \dot{m} \cdot h_{vd} \cdot \Delta w$
at $t_{dp} = 10.6°C$ → from table (2-1)

$q = 2 * 2521.01 (.008 - .014)$

$q = 30.25$ kJ/kg

Ans.

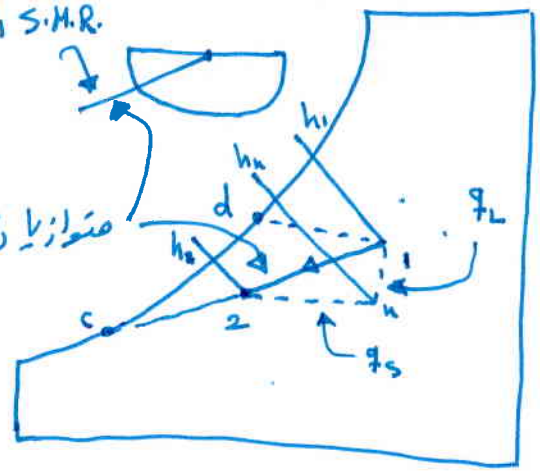
t	h_v
10	2519.9
10.6	h_{vd}
12	2523.6

$h_{vd} = 2521.01 \frac{kJ}{kg}$

$$S.H.R. = \frac{q_s}{q_s + q_L} = \frac{\Delta h_s}{\Delta h_t} = \frac{q_s}{q_t}$$

Sensible Heat Ratio نسبة الحرارة المحسوسة

يمكن تمثيلة على المخطط السيكرومتري كما يلي :-



$q_s = \dot{m} \cdot c_{pm} \cdot \Delta t = \dot{m}(h_m - h)$

$= \dot{m}[(h_1 - h_2) - (W_1 - W_2)(h_{vd} + h_{fd})]$

* كمية الحرارة المحسوسة الناتجة من تغير في متدار درجة حرارة البصلة الجافة .

$q_L = \dot{m} \cdot h_{vd} \cdot \Delta W = \dot{m}(h_1 - h_m)$

* كمية الحرارة الكامنة الناتجة من خلال عملية التكثيف أو إزالة الرطوبة من الهواء .

h_{vd} : المحتوى الحراري لبخار الماء عند t_{dp_1} (الحالة الابتدائية)

h_{fd} : المحتوى الحراري للماء عند t_{dp_1} (الحالة الابتدائية)

$c_{pm} : (c_{p_{air}} + c_{p_{vapor}} \cdot W) = 1.017$ KJ/Kg.°C

$c_{p_{air}} : 1.005$ KJ/Kg.°C

$c_{p_{water}} : 4.2$ KJ/Kg.°C

$c_{p_{vapor}} : 1.89$ KJ/Kg.°C كمية حرارة بخار الماء المتزالة كامنة مائيا

$q_t = \dot{m}(h_1 - h_2) = \dot{m}[(h_1 - h_m) - (W_1 - W_2) h_{fc}]$

* كمية الحرارة الكلية : هي الحمل الكلي للمنف أو الحمل المتطلب تحت عملية التبريد وازالة الرطوبة .

$q_{s\,water} = \dot{m}_w \cdot c_{p_w} (t_d - t_c)$

$= \dot{m}_w \cdot (W_1 - W_2)(h_{fd} - h_{fc})$

$(h_{fd} - h_{fc})$ تمثل المحتوى الحراري للماء بين درجتي حرارة التشبع ودرجة حرارة نقطة ندى الجهاز

h_{fc} : المحتوى الحراري للماء عند (t_c) نقطة ندى الجهاز

$$\text{By-pass factor (B.F.)} = \frac{h_2 - h_c}{h_1 - h_c} = \frac{W_2 - W_c}{W_1 - W_c} = \frac{t_2 - t_c}{t_1 - t_c}$$

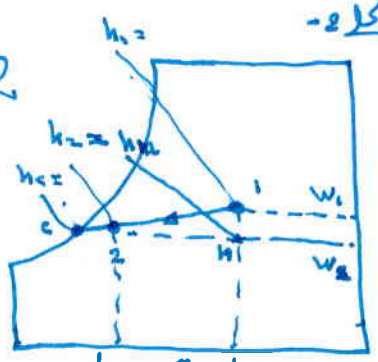
$$\text{Contact factor} = 1 - B.F. = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_c} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_c} = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_c}$$

التركيب $= \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_{dp}} \% = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_c} \% = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_c} \%$

مثال 6 :- هواء رطب عند (28 °C) و (20.6 °C) يجري تبريده وتجفيفه بجهاز تكييف بمعدل 120 م³/د (1.5 م³/ث) ليخرج منه عند (12.5°C) بطاقة ومحتوى حراري رطوبي (8.369 KJ/Kg) أوجد :-

1- نقطة ندى الجهاز
2- معامل التلامس
3- معامل التبريد
4- الحمل الكلي من المحتوى الحراري

الحل :-



$v_1 = 0.869 \frac{m^3}{Kg}$

$t_{dp_c} = 10.2°c$ Ans. ①

$h_1 = 59$ KJ/Kg

$h_2 = 33.5$ KJ/Kg

$h_c = 30$ KJ/Kg

$$1 - B.F. = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_c} = \frac{59 - 33.5}{59 - 30}$$

$1 - B.F = 0.879$ Ans ②

$$q_t = \dot{m}(h_1 - h_2) = \frac{1.5}{0.869}(59 - 33.5)$$

$q_t = 44.01$ Kw Ans. ③

or

$q_t = \dot{m}[(h_1 - h_2) - (W_1 - W_2) h_{fc}]$

$h_{fc} = 42.83$ KJ/Kg at $t_{dp} = 10.2°c$, from table (2nd)

واجب: هواء رطب عند (30°C) و (21°C) يجري بمعدل ($2\frac{m^3}{s}$) خلال ملف تبريد، إذا علمت أن الحرارة المحسوسة المزالة هي (117 kW) والكلية (144 kW) أوجد

١- نقطة ندى الجهاز ٢- نقطة الندى لحالة الهواء الابتدائية

٣- نقطة الندى لحالة خروج الهواء من ملف التبريد

٤- معامل الانصراف ٥- معامل التلامس

٦- كفاءة الاشباع

الحل:-

$$q_t = \frac{1.5}{0.869}\left[(59-33.6)-(0.01225-0.00835)42.83\right]$$

$$\boxed{q_t = 43.72\ KW}$$ Ans. ②

$$q_s = \dot{m}.cp_m(t_1-t_2)$$

$$= \frac{1.5}{0.869}*1.017(28-12.5)$$

$$\boxed{q_s = 27\ KW}$$ Ans. ③

or

$$q_s = \dot{m}(h_n-h_2),\ h_n = 50\ KJ/Kg,\ from\ chart$$

$$= \frac{1.5}{0.869}(50-33.5)$$

$$\boxed{q_s = 28.5}$$ Ans. ④

or

$$q_s = \dot{m}\left[(h_2-h_2)-(W_1-W_2)(h_{vd}-h_{fd})\right]$$

$h_{vd} = 2533.3\ KJ/Kg$, at $t_{dp_1} = 17.3°C$

$h_{fd} = 73.826\ KJ/Kg$, at $t_{dp_1} = 17.3°C$

$$q_s = \frac{1.5}{0.869}\left[(59-33.5)-(0.01225-0.00835)*(2533.3+73.826)\right]$$

$$\boxed{q_s = 26.5\ KW}$$ Ans. ⑤

$$q_L = q_t - q_s = 44-27$$

$$\boxed{q_L = 17\ KW}$$ Ans. ⑥

or

$$q_L = \dot{m}(W_1-W_2)h_{vd}$$

$$= \frac{1.5}{0.869}(0.01225-0.00835)2533.3$$

$$\boxed{q_L = 17.05\ KW}$$ Ans. ⑦

or

$$q_L = \dot{m}(h_1-h_n) = \frac{1.5}{0.869}(59-50)$$

$$\boxed{q_L = 15.5\ KW}$$ Ans. ⑧

8- عملية التدفئة والترطيب
Heating & Humidification Pro.

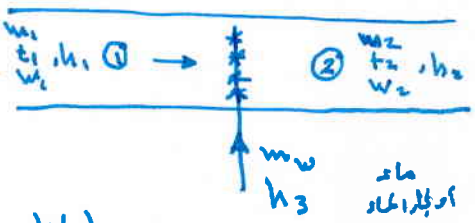
أن عملية تدفئة المسوسة في بعض الأحيان تؤدي إلى عدم الشعور بالراحة مما قبل الإنسان بسبب الزيادة في درجة الحرارة مع انخفاض في مقدار الرطوبة النسبية مع بقاء المحتوى الرطوبي ثابتاً لذا تتم عملية الترطيب لزيادة المحتوى الرطوبي والرطوبة النسبية لتوفير جو ملائم لشاغلي الحيز المكيف أو توفير جو مناسب لتطبيق معين.

تتم عملية الترطيب بطريقتين:

1- أضافة البخار: - من خلال إمرار البخار في غرفة رش تحتوي على عدد كبير جداً من قطرات الماء الصغيرة جداً.

أو من خلال إمرار الهواء على أسطح مبللة بكمية كبيرة.

2- بخار الماء: - يتم الحصول عليه إما من خلال غلي الماء بالتسخين (Boiling) أو يحقن بواسطة النوزلات (Nozzles) داخل مجرى الهواء.

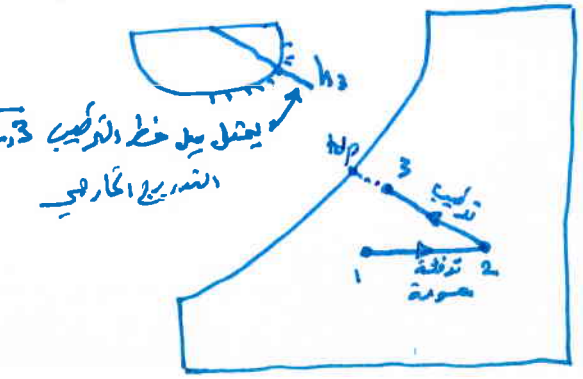


$$m_w = m(W_2 - W_1)$$

$$m_w \cdot h_3 = m(h_2 - h_1)$$

$$h_3 = \frac{h_2 - h_1}{W_2 - W_1}$$ و المحتوى الحراري لعملية الترطيب

والذي يمكن تمثيله على المخطط السيكرومتري بالتدريج الخارجي للمنطقة



مثال 7 هواء رطب $(15°C)_1$ و $(21°C)_2$ يمر على حجرة ركن. فإذا كان 127 م كمية الماء المرشوشة والمتبخرة كلياً في $0.002\ Kg/Kg_{d.air}$ عند $(100°C)$ أحسب المحتوى الرطوبي والحراري ودرجة حرارة البصلة المبللة للهواء الخارج من الحجرة.

الحل: - من المعادلات التالية:

at $t_{w_1} = 15°C \rightarrow P_{sw_1} = 1.707\ Kpa$, from table(2-)

$$P_1 = P_{sw_1} - P_B \cdot A(t_{d_1} - t_{w_1})$$

$$= 1.707 - 101.325 * 6.66 * 10^{-4}(21 - 15)$$

$$P_1 = 1.302\ Kpa$$

$$W_1 = 0.622 \frac{P_1}{P_B - P_1} = 0.622 \frac{1.302}{101.325 - 1.302}$$

$$W_1 = 0.0081\ Kg/Kg_{d.air}$$

$$\Delta W = W_2 - W_1$$

$$0.002 = W_2 - 0.0081$$

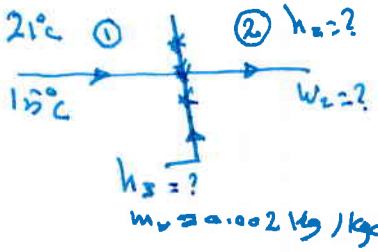
$$\boxed{W_2 = 0.0101\ Kg/Kg_{d.air}}$$ Ans.

$$h_1 = (1.007t_1 - 0.026) + W_1(2501 + 1.84t_1)$$

$$h_1 = 41.7\ KJ/Kg, \quad h_2 = 419.06\ KJ/Kg \text{ from (2-1)}$$

$$h_3 = \frac{h_2 - h_1}{W_2 - W_1} \rightarrow 419.06 = \frac{h_2 - h_1}{0.002} \rightarrow$$

$$\boxed{h_2 = 42.54\ KJ/Kg}$$ Ans



حالات ترطيب الهواء :-

ترطيب بالماء ← عملية ثبات المحتوى الحراري (1-2)

$t_{water} = 0°C \rightarrow h_{water} \cong 0 \rightarrow h_1 = h_2$

عملية ما بين (1-2) و (1-4)

$t_{water} = (1-99)°C \rightarrow h_3 = h_f$ (2-1) جدول

عملية ثبات درجة حرارة البصلة الرطبة (1-3)

عملية أشباع أديباتي أو ترطيب أديباتي : والتي تحدث العزل الحراري التام ، تبخر جميع ماء الترطيب وتعويضة بماء بدرجة حرارة مساوية الى (t_{w_1})

* مراجعة جميع الامثلة في الفصل السابقة المتعلقة بهذا الموضوع

أو (1-3) $t_{water} = t_{w_1(air)} = t_{w_2} \neq t_{d_2}$ ← عملية ترطيب غير أديباتي : والتي تحدث عندما عدم توفر شروط الترطيب الأديباتي السابقة الذكر .

عملية (1-4)

$t_{water} = 100°C \rightarrow h_3 = h_f$ (2-1) جدول

* مثال (7) سؤال (3)

ترطيب بخار الماء ← عملية ثابتة درجة حرارة البصلة الجافة (1-5)

$t_{d_1} = t_{d_2}$ ← $h_3 = h_v$ (2-1) جدول (بخار مشبع)

$h_3 = h_f + X h_{fg}$ (بخار مخلص)

عملية بدون ثبوت درجة حرارة البصلة الجافة (1-6)

$t_{d_1} \neq t_{d_2}$ ← $h_3 = h_v$ (2-1) جدول (بخار مشبع)

$h_3 = h_f + X h_{fg}$ (بخار مخلص)

* مثال (8)

ملاحظة المقصود بـ (h_3) هو (h_v) المحتوى الحراري للماء أو بخار الماء المعتمد بالتدريج الخارجي للمنطقة الموجودة في المخطط المصرحي .

2- من المخطط المصرحي :-

$h_3 = 419.02$ KJ/Kg

at $t_{water} = 100°C$ from (2-1)

$W_1 = 0.0082$ Kg/Kg d.air

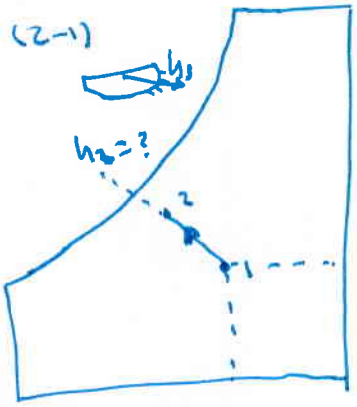
$h_1 = 41.15$ KJ/Kg

$\dot{m}_w = \dot{m}(W_2 - W_1)$

$0.002 = W_2 - 0.0082$

$W_2 = 0.0101$ Kg/Kg d.air

$h_2 = 42.5$ KJ/Kg ← from chart Ans.



مثال (8) بخار ماء مشبع بمحتوى حراري (2803 KJ/Kg) يحقن بمعدل (0.01 Kg/s) في تيار هواء يمر بمبرد بارد (1 Kg/s) من الهواء الجاف عند حالة ابتدائية (28°C) و (12°C) أوجد حالة التيار النهائية بعد عملية التحقق .

الحل

at $t_1 = 28°C \neq t_{w_1} = 12°C \rightarrow W_1 = 0.0022$ Kg/Kg d.air from chart

$\dot{m}_w = \dot{m}(W_2 - W_1)$

$0.01 = W_2 - 0.0022$

$W_2 = 0.0122$ Kg/Kg d.air Ans.

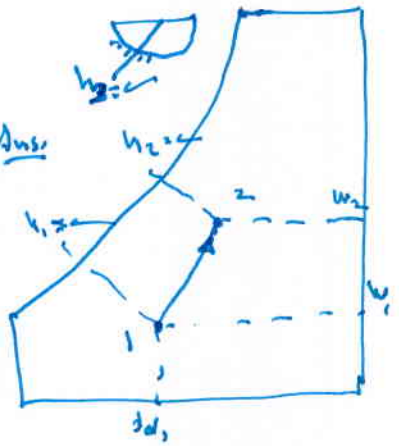
$h_2 = 62.5$ KJ/Kg

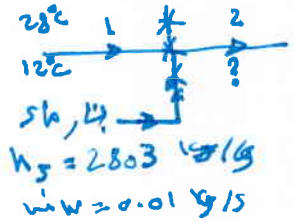
$t_2 = 30°C$

$\phi_2 = 43\%$

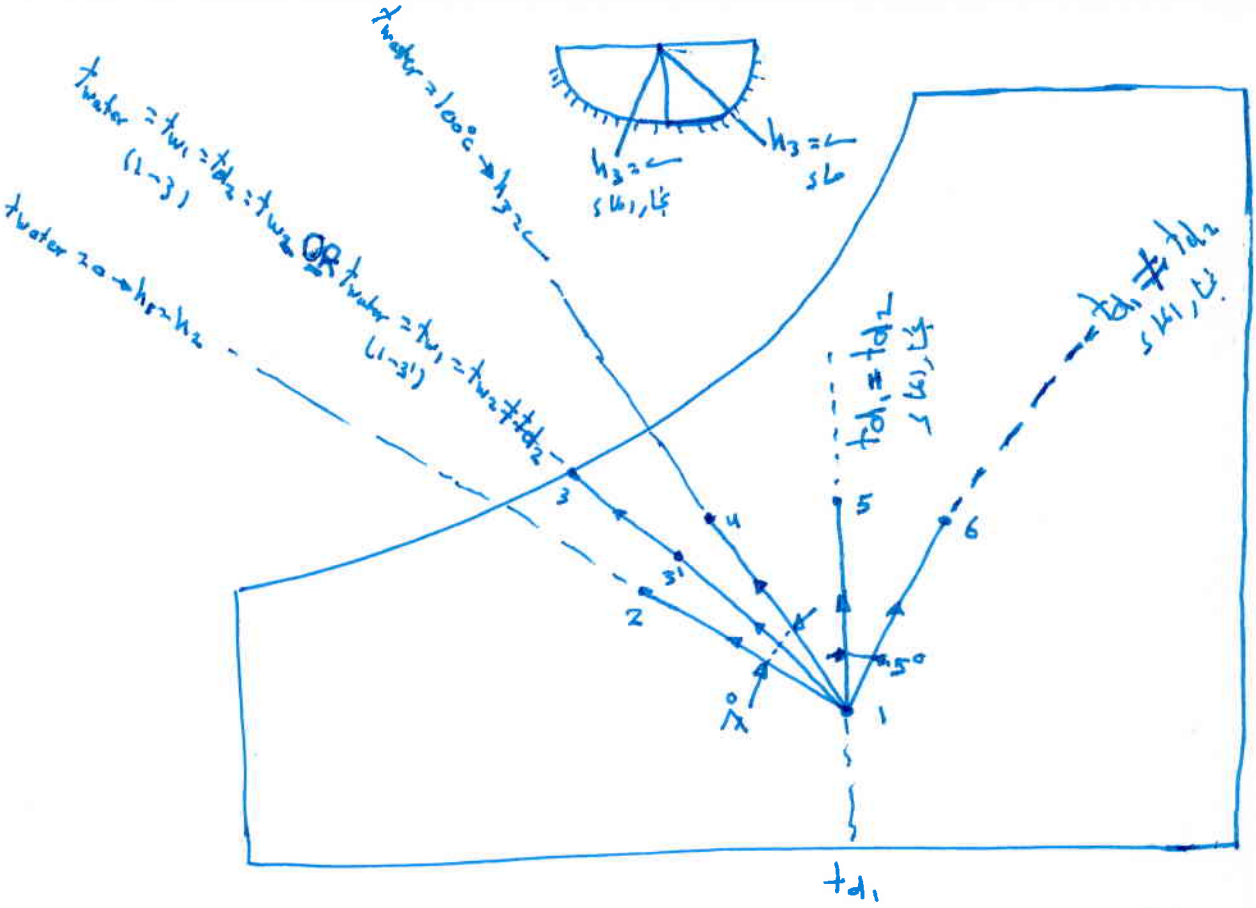
$t_{w_2} = 21.8°C$

from chart





واجب : إعادة المثال أعلاه بواسطة استخدام برنامج الرسم البياني للهواء .



" حالات تركيب السداد بالماء أو بخار الماء "

مثال مطلوب من مهندس تنفيذ إجراء عملية تركيب هواء (30% ≈ 20°C) من خلال مجموعة من الاختبارات الآتية :-

1- رش ماء مثلج بدرجة حرارة (0 °C).
2- رش ماء عند ثبوت درجة حرارة (t_w) لعملية تركيب ادياباتي .
3- " " " " " " (t_w) لعملية تركيب فير ادياباتي .
4- رش ماء بدرجة حرارة (100°C).
5- رش ماء بدرجة حرارة (50°C).
6- رش بخار ماء بدرجة حرارة (100°C).
7- " " " " " (120°C).
8- رش بخار الماء عند ثبوت درجة حرارة الصالة لكافة الهواء.

أوجد حالة الهواء الخارج من عملية التركيب لجميع الحالات السابقة مع الرسم على المخطط المصري ، اذا علمت أن معدل تبخر الماء في حالات التركيب هو (0.002 kg/s).

*واجب بيتي لمهندسي السنة "طلاب الرابع مكانيك / صيانة الانبار".

مع تحياتي

Amer M-ani
2011/8/15

$h_2 = (1.007 t_2 - 0.026) + w_2 (2501 + 1.84 t_2)$

$76.14 = (1.007 t_2 - 0.026) + 0.0191 (2501 + 1.84 t_2)$

$\therefore$ **$t_2 \simeq 27^\circ C$** Ans. ①

$w_2 = 0.622 \dfrac{P_2}{P_B - P_2}$

$0.0194 = 0.622 \dfrac{P_2}{101.325 - P_2} \rightarrow P_2 = 3.0647 \text{ Kpa}$

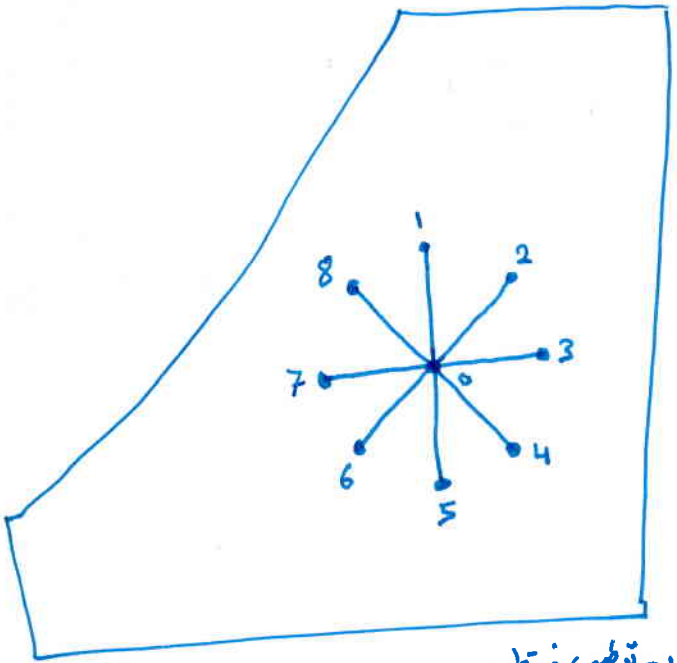
at $t_2 = 27^\circ C \rightarrow P_{s2} = 3.569 \text{ Kpa}$

$\phi_2 = \left.\dfrac{P_2}{P_{s2}}\right|_{t_{d_2} = 27^\circ C} = \dfrac{3.0647}{3.569}$

$\phi_2 = 85.8\%$ Ans. ②

واجب: حل س٤ بالضغط المصروف ثم قارن النتائج.

مراجعة مادة الضغط المصروف



٠,١ - تبريد فقط.
٠,٢ - تدفئة + ترطيب.
٠,٣ - تدفئة حسية فقط.
٠,٤ - ازالة الرطوبة كيميائياً.
٠,٥ - ازالة الرطوبة فقط.
٠,٦ - تبريد + ازالة رطوبة.
٠,٧ - تبريد حسي فقط.
٠,٨ - تبريد تبخيري. (برودة الهواء)

135 KJ

الحل بالتعاقب

at $t_{w_1} = 20^\circ C \rightarrow P_{sw_1} = 2.337 \text{ Kpa}$ from table (2-1)

$P_1 = P_{sw_1} - P_B \cdot A (t_{d_1} - t_{w_1})$

$= 2.337 - 101.325 * 6.66 * 10^{-4} (30 - 20)$

$P_1 = 1.662 \text{ Kpa}$

$w_1 = 0.622 \dfrac{P_1}{P_B - P_1} = 0.622 \dfrac{1.662}{101.325 - 1.662}$

$w_1 = 0.0104 \text{ kg/kg d.a}$

$\dot{m}_w = \dot{m}_a (w_2 - w_1)$

$\dot{m} = \dfrac{\dot{V}}{v} \rightarrow PV = mRT)_{air}$

$P_B = P + P_{air}$ ≅ Vapor

$101.325 = 1.662 + P_{air}$

$P_{air} = 99.663 \text{ Kpa}$

$\therefore 99663 * V = 1 * 287 (30 + 273)$

$v = 0.872 \text{ m}^3/\text{kg}$

$\dot{m} = 2.3 \text{ kg/s}$

$\therefore 0.02 = 2.3 (w_2 - 0.0104)$

$w_2 = 0.0191 \text{ kg/kg d.a}$

$h_3 = h_g + h_{fv} \cdot x = h_g + (h_v - h_f) x$

$= 419 + (2676 - 419) * 0.8$

$h_3 = 2224 \text{ KJ/kg}$

$h_3 = \dfrac{(h_2 - h_1)\dot{m}}{\dot{m}_w} \rightarrow 2224 = \dfrac{2.3 (h_2 - h_1)}{0.02}$

$h_1 = (1.007 t_1 - 0.026) + w_1 (2501 + 1.84 t_1) = 56.8 \text{ KJ/kg}$

$\therefore h_2 = 76.14 \text{ KJ/kg}$

دورات تكييف الهواء العملية

١- دورة التبريد الهواء الصيفية الفوق جية :-

تمثل الحالة (r) ظروف الغرفة الداخلي ، الحالة (o) ظروف التصميم الخارجي يتم خلط الظرفين للحصول على حالة الخليط (m) قبل ملف التبريد، حيث تجري عملية تبريد وازالة الرطوبة ويخرج من الملف في الحالة (s) والتي يعتمد موقعها في المخطط الحديدي على "معامل الأمرار" والنقطة (c) هي نقطة ندف الجهاز، حيث هنالك احتمالين بعد ملف التبريد

١- أما أن يجهز الهواء الخارج من الملف مباشرة الى الحيز، إذ يمثل الخط (rs) نسبة الحرارة المحسوسة (SHR). الشكل (1)، (A)

٢- أو يتم تسخين الهواء الخارج من ملف التبريد بصورة مقصودة أو غير مقصودة الى الحالة (s)، إذ يمثل الخط (rs) نسبة الحرارة المحسوسة (SHR).

* التسخين المحسوس المقصود: تتم من خلال وضع السخانات بعد ملف التبريد لتفاعل رطوبة الهواء الخارج من ملف التبريد Reheat Pro. حيث:

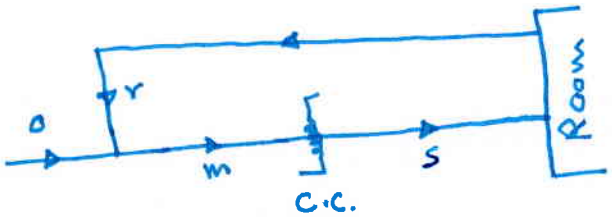
$$\Delta t = t_s - t_a = (1-3)^\circ c$$

* التسخين المحسوس غير المقصود: بسبب الترتيب الكامل في اجزاء المنظومة نتيجة وجود المراوح الكهربائية التي تولد حرارة دفع الهواء او نتيجة مرور جداري الهواء في مسافات ذو فرق حرارة اعلى من (t_a) حيث:

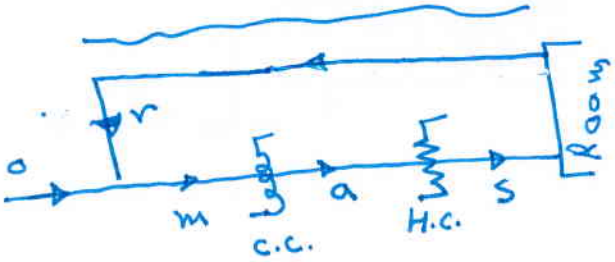
$$\Delta t = t_s - t_a = (5-10)^\circ c$$

لحالتي الشكل (2) (B)

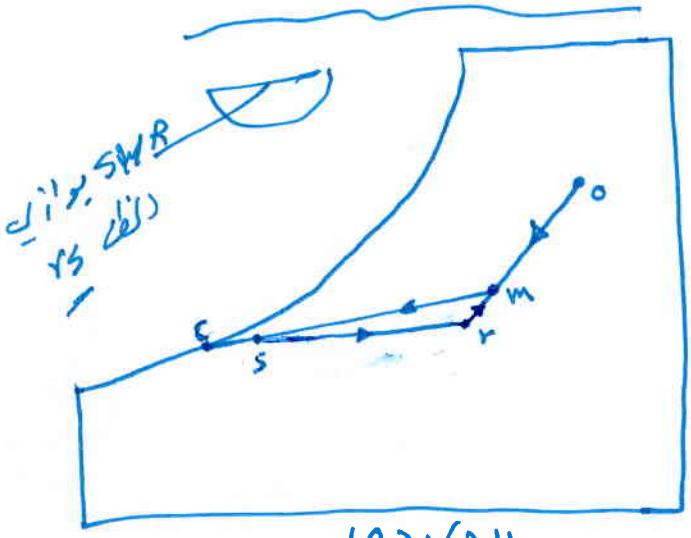
الشكل (1)



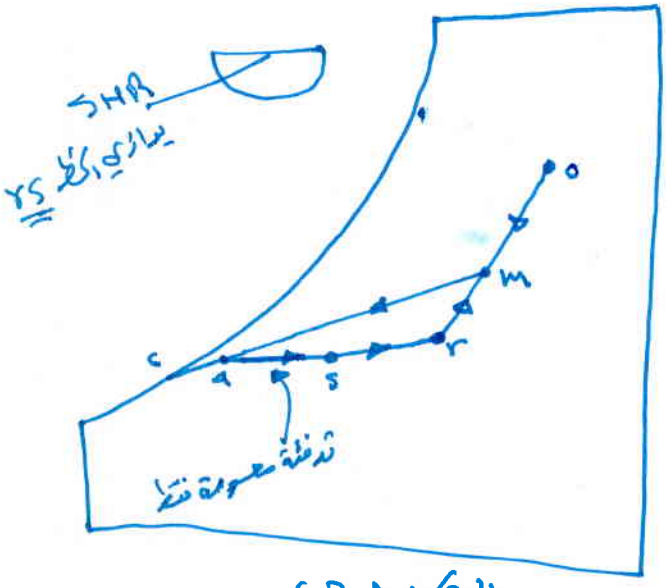
الشكل (2)

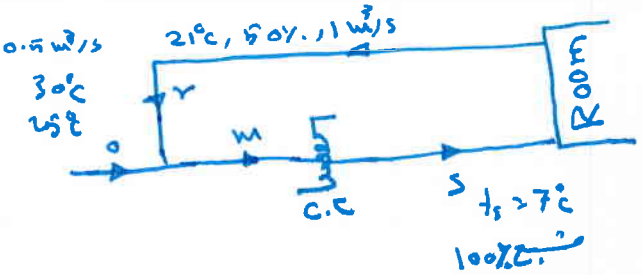


الشكل (A)



الشكل (B)





-1

$v_r = 0.84\ m^3/kg \rightarrow \dot{m}_r = \frac{\dot{V}_r}{v_r} = \frac{1}{0.844} \rightarrow \dot{m}_r = 1.133\ kg/s$

$v_o = 0.882\ m^3/kg \rightarrow \dot{m}_o = \frac{\dot{V}_o}{v_o} = \frac{0.5}{0.882} \rightarrow \dot{m}_o = 0.5669\ kg/s$

$\dot{m}_m = \dot{m}_s = \dot{m}_o + \dot{m}_r = 0.5669 + 1.1848 \rightarrow$

$\boxed{\dot{m}_m = \dot{m}_s = 1.755\ kg/s}$ Ans. ⑤

-2

$W_o = 0.018\ kg/kg\ d.a$

$W_r = 0.0078\ kg/kg\ d.a$

$W_m = \frac{\dot{m}_r \cdot W_r + \dot{m}_o \cdot W_o}{\dot{m}_m}$

$= \frac{1 * 0.0078 + 0.5 * 0.018}{1.755}$

$\boxed{W_m = 0.01\ kg/kg\ d.a}$ Ans.

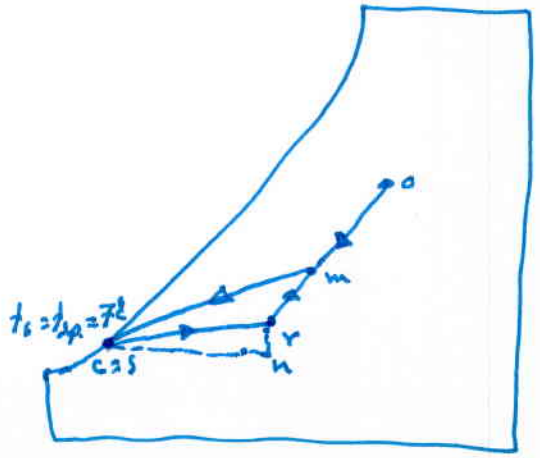
-3 معدل تكثف بخار الماء على سطح ملف التبريد هو :-

$\dot{m} = \dot{m}_s (W_m - W_s)$

$W_s = 0.0063$ ← from psychrometric chart at $t_s = 7°C$ منحنى

$\dot{m} = 1.7517 (0.01 - 0.0063)$

$\boxed{\dot{m} = 0.0065\ kg/s}$ Ans ⑦



(SHR) ٤- أوجد نسبة الحرارة المحسوسة

$\dot{q}_t = \dot{m}_s (h_r - h_s)$

$h_r = 22\ kJ/kg$, $h_s = 41\ kJ/kg$] from Chart

1.755

$\dot{q}_t = 33.345\ kw$

$\dot{q}_s = \dot{m}_a c_{pm} (t_r - t_s)$ or $\dot{q}_s = \dot{m} (h_m - h_s)$

$= 1.755 * 1.017 (21 - 7)$

$\dot{q}_s = 25\ kw$

$S.H.R = \frac{\dot{q}_s}{\dot{q}_t} = \frac{25}{33.345} \rightarrow$

$\boxed{S.H.R = 0.75}$ Ans ④

٥- نقطة ندى الجهاز

$\boxed{t_{dp} = t_s = t_c = 7°C}$ Ans ⑤

٦- الحرارة والكمامة للجهاز

$\dot{q}_t = \dot{q}_s + \dot{q}_L \rightarrow 33.345 = \dot{q}_L + 25 \rightarrow$

$\boxed{\dot{q}_L = 8.345\ kw}$ Ans ③

or $\dot{q}_L = \dot{m} (W_r - W_s) h_{wd}$

$h_{wd} \simeq 2519\ kJ/kg$ at $t_{d.p_1} = t_{dp_r} = 9.8°C$

$\dot{q}_L = 1.755 (0.0078 - 0.0063) * 2519.53$

$\boxed{\dot{q}_L = 6.6\ Kw}$ Ans. ⑥ الإجابة كبيرة بسبب عدم الدقة في القيم الأولية

or $\dot{q}_L = \dot{m} (h_r - h_m)$ ← واجب

واجب ٤ سؤال 137 ثم أوجد

٣- معدل تكثف بخار الماء على سطح ملف التبريد.

٤- قدرة ملف التبريد.

٥- عمل الملف المحسوس والكامن.

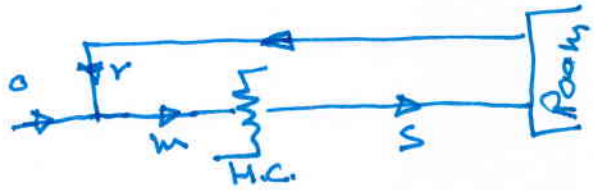
2- دورة تدفئة الهواء الشتوية المفتوحة :-

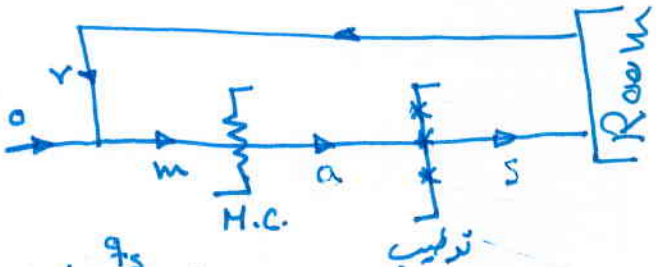
تمثل الحالة (٢) ظروف الفرنة الداخلي، الحالة (٥) ظروف الفرنة الخارجي حيث يتم خلط الظرفين للحصول على حالة الخليط (m) قبل ملف التدفئة، إذ تجري على خليط الهواء (m) عملية تدفئة محسوسة (s) التي تمثل ظروف تجهيز الهواء الى الحيز ويمثل الخط (٢s) نسبة الحرارة المحسوسة شتاءً (SHR) حيث :-

١- اما أن يجهز الهواء من الحالة (s) مباشرة الى الحيز الحالة (٢) حيث حال وجود كسب حراري محسوس وكامن .

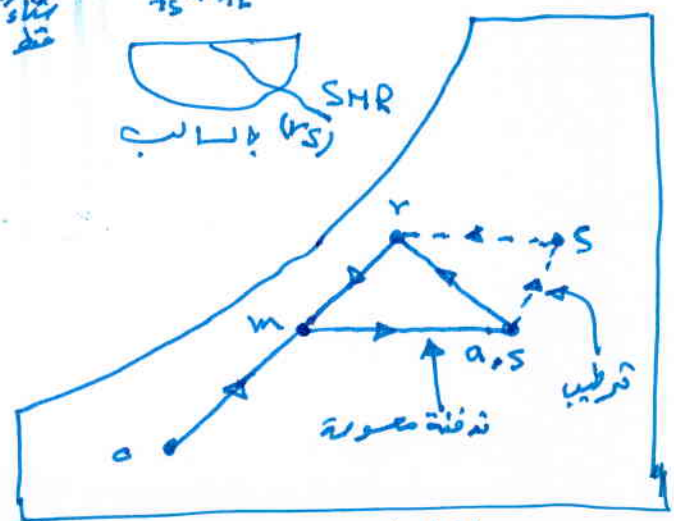
٢- أو يجهز الهواء من الحالة (s) الى الحالة (a) في عملية ترطيب ومن ثم يجهز الهواء الى الحيز الحالة (٢) حال ظروف انعدام الكسب الحراري الكامن .

كما هو مبين في الشكل





$SHR = -\left(\frac{q_s}{q_s + q_L}\right)$ شتاءً فقط



المخطط السيكرومتري

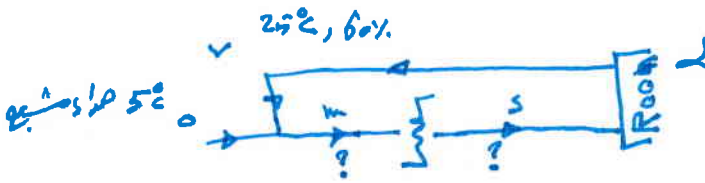
مثال :- منظومة تدفئة تعمل على ظروف داخلي (25°C) و (50%) عندما تكون الظروف الخارجية هو (5°C) مشبع يتم خلط الظرفين بنسبة (1/3) هواء راجع الى الحيز و (2/3) هواء خارجي، بعدها يتم تدفئة الهواء بصورة محسوسة ثم يجهز الى الحيز، اذا علمت أن الحرارة الكلية (9.5KW) و الحرارة المحسوسة (3KW) فأوجد :-

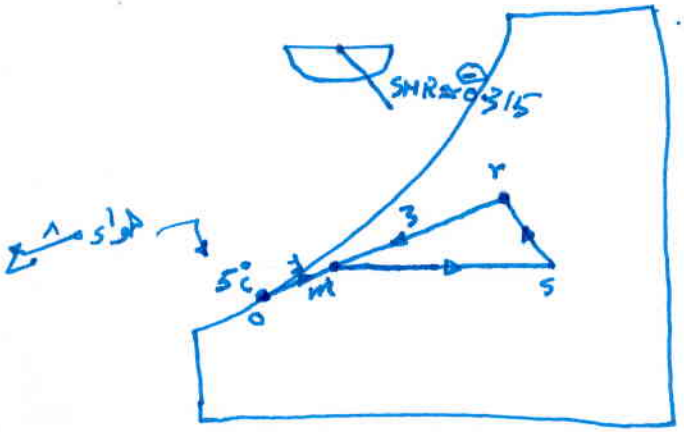
١- حالة الخليط قبل ملف التدفئة .

٢- حالة الهواء المجهز الى الحيز .

٣- سعة ملف التدفئة الكلي والمحسوس والكامن .

الحل





نسبة الخلط هي $\frac{1}{3} = \frac{\text{هواء راجع}}{\text{هواء خارجي}}$ ← يتم استخراج الحالة (m)

$t_m = 10.2°C$
$h_m = 28.5\ KJ/Kg$
$\phi_m = 92\%$
} Ans. ①

-2

$S.H.R. = \frac{q_s}{q_t} = \frac{3}{9.5} \rightarrow S.H.R = 0.315$

من المخطط السيكرومتري و حالة الخليط (m) ←

$t_s = 28°C$
$h_s = 46\ KJ/Kg$
$\phi_s = 30\%$
} Ans. ②

-٣ لكن $\dot{m} = 2\ Kg/s$

$q_{H.C.} = \dot{m}(h_s - h_m) = 46 - 28.5$

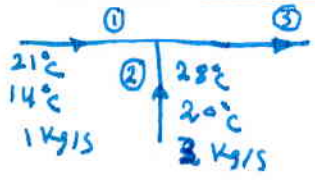
$q_{H.C.} = 17.5\ KW = q_t = q_s$

$q_L = Zero$

Ans. ③

ذيبه : اذا علمت أن الهواء الخارج من ملف التدفئة تم ترطيبه بواسطة بخار الماء عند (118°C) أوجد حالة الهواء بعد عملية الترطيب علماً بأن :- درجة حرارة الهواء الخارج من ملف التدفئة هي (28°C) .

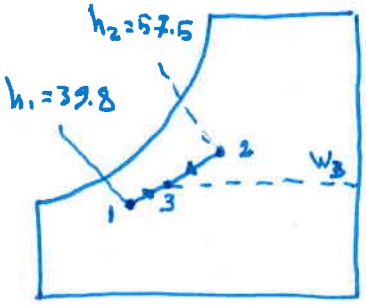
3



1- من قانون حفظ الطاقة

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

$$= \frac{1*39.8 + 3*57.5}{1+3}$$



$h_3 = 44.225$ Kg/Kg

$W_3 = 0.0103$ Kg/Kg d.a

$h_3 = (1.007 t_3 - 0.026) + W_3 (2501 + 1.84 t_3)$

$44.225 = (1.007 t_3 - 0.026) + 0.0103 (2501 + 1.8 t_3)$

$t_3 = 26°C$ Ans.

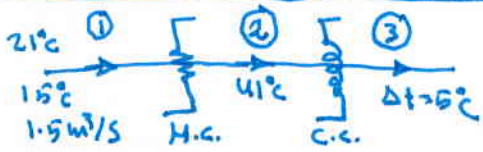
2- من درجة حرارة وكتلة الهواء

$$t_3 = \frac{\dot{m}_1 t_1 + \dot{m}_2 t_2}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2}$$

$$= \frac{1*21 + 3*28}{1+3} \rightarrow t_3 = 26.25$$ Ans.

* عند عكس قيم ($\dot{m}_3$=1 kg/s, $\dot{m}_1$=3 kg/s) نحصل على نفس الجواب السؤال الثالث.

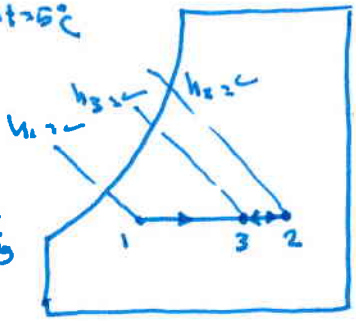
4



$v_1 = 0.845$ m³/kg

$h_1 = 42.5$ KJ/Kg

$h_2 = 66$ KJ/Kg , $h_3 = 58$ KJ/Kg



-1

$q_{H.C.} = \dot{m} c_{pm} (t_2 - t_1)$

$= \frac{1.5}{0.845} * 1.017 (41 - 21) \rightarrow q_{H.C.} = 36.1$ KW Ans.

or $q_{H.C.} = \dot{m}(h_2 - h_1)$

$= \frac{1.5}{0.845} (63 - 42.5) \rightarrow q_{H.C.} = 36.4$ KW Ans.

$q_{water} = q_{H.C.} = \dot{m}_w \cdot c_{pw} (t_{w_2} - t_{w_1})$ -2

$36.4 = \dot{m}_w * 4.2 * (85 - 70) \rightarrow \dot{m}_w = 0.866$ Kg/s Ans.

$q_{C.C.} = \dot{m} \cdot c_{pm} (t_2 - t_3) = \frac{1.5}{0.845} * 1.017 (5)$ -3

or $q_{C.C.} = \dot{m}(h_2 - h_3)$

$= 1.775 (63 - 58) \rightarrow$

$q_{C.C.} = 9.02$ KW Ans.

$q_{C.C.} = 8.87$ KW Ans.

14

15

$t_d = 30°C$, $t_w = 25°C$, P_B = عادي

$W = 0.018$ Kg/Kg d.a

$\Phi = 66\%$

$h = 77$ KJ/Kg

$v = 0.881$ m³/Kg

$t_{d.p} = 23°C$

from chart Ans.

- التحقق من النقطة على الرسم؟

هواء غير مشبع

$P_2 = P_{sw} - P_B A (t_d - t_w)$

A ثابت $= 6.66 * 10^{-4}$ عند t_w = 25°C, 30°C

at $t_w = 25°C \rightarrow P_{sw} = 3.171$ Kpa

$P = 2.833$ Kpa

$$W = 0.622 \frac{P}{P_B - P} = 0.622 \frac{2.837}{101.326 - 2.833}$$

$W = 0.0179$ Kg/Kg d.a

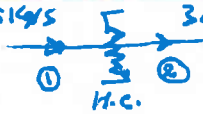
$h = (1.007 t - 0.026) + W (2501 + 1.84 t)$

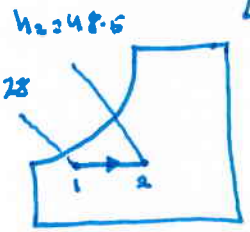
$h = 76$ KJ/Kg Ans.

at $P = 2.833$ Kpa $\rightarrow t_{d.p} = 23.12°C$ Ans.

from table (2-1)

5





$q_{H.C.} = \dot{m} c_{pm} (t_2 - t_1)$

$= 4.5 * 1.017 (30 - 10)$

$q_{H.C.} = 91.5$ KW Ans.

or $q_{H.C.} = \dot{m}(h_2 - h_1) = 4.5 (48.5 - 28)$

$q_{H.C.} = 92.25$ KW Ans.

$h_1 = 72.75$ kJ/kg

$0.001\,8419 = 0.16(h_2 - 72.75) \rightarrow$

$h_2 = 75.36$ kJ/kg

$h_2 = (1.007t_2 - 0.026) + W_2(2501 + 1.84t_2) \rightarrow$

$\boxed{t_2 = 30.^\circ C}$ Ans. ①

$$W_2 = 0.622\,\frac{P_2}{P_B - P_2}$$

$$0.016\,65 = 0.622\,\frac{P_2}{101.325 - P_2} \rightarrow$$

$P_2 = 2.641$ kPa

$P_2 = P_{sw_2} - P_B A(t_{d_2} - t_{w_2})$

$2.641 = P_{sw_2} - 101.325 \times 6.66 \times 10^{-4}(30 - t_{w_2})$

$(t_{d_2}) > (t_{w_2})$ این نتیجه را قبول نمی‌کنیم

$\boxed{t_{w_2} = 21^\circ C}$ Ans. ②

$$\phi_2 = \frac{P_2}{P_{s2}}\Big|_{t_{d_2}=30^\circ C}$$

$\rightarrow P_{s2} = 4.241$ kPa at $t_{d_2} = 30^\circ C$, from (2-1)

$$\phi_2 = \frac{2.641}{4.241} \rightarrow \boxed{\phi_2 = 62\%}$$ Ans ②

$q_{water} = \dot{m}_w \cdot c_{p_w} \cdot \Delta t$ -4

$9.02 = \dot{m}_w \times 4.2 \times 5 \rightarrow \boxed{\dot{m}_w = 0.43\ kg/s}$ Ans.

$t_{d_1} = 30^\circ C$ ① ② $t_{d_2}, t_{w_2}, \phi_2 = ?$ ⑤

$t_{w_1} = 20^\circ C$

$\dot{m} = 500\ m^3/hr$

$100^\circ C$, $\dot{m}_w = 3.6$ kg/hr

$\rightarrow h_3 = 419$ kJ/kg from table (2-1)

$P_1 = P_{sw_1} - P_B A(t_{d_1} - t_{w_1})$

$20^\circ C$

$30^\circ C$

$6.66 \times 10^{-4}\ ^\circ C^{-1}$

$P_B = 101.325$ kPa

at $t_{w_1} = 20^\circ C \rightarrow P_{sw_1} = 2.337$ kPa

$P_1 = 1.662$ kPa

$$W_1 = 0.622\,\frac{P_1}{P_B - P_1} = 0.622\,\frac{1.662}{101.325 - 1.662}$$

$W_1 = 0.0104$ kg/kg d.air

$\dot{m}_w = 3.6$ kg/hr $/3600 \rightarrow \dot{m}_w = 0.001$ kg/s

$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 = \dot{V} = 500\ m^3/hr / 3600 \rightarrow \dot{V} = 0.139\ m^3/s$

$P_B = P_1 + P_{air} \rightarrow 101.325 = 1.662 + P_{air}$

$P_{air} = 99.663$ kPa

$PV = mRT)_{air}$

$99663 \times V = 1 \times 287 \times (30 + 273) \rightarrow$

$v = 0.872\ m^3/kg$

$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v} = \frac{0.139}{0.872} \rightarrow \dot{m} = 0.16$ kg/s

$\dot{m}_w = \dot{m}(W_2 - W_1)$

$0.001 = 0.16(W_2 - 0.0104) \rightarrow$

$W_2 = 0.016\,65$ kg/kg d.air

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

$h_1 = (1.007t_1 - 0.026) + W_1(2501 + 1.84t_1) \rightarrow$

$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{\nu} \rightarrow 1.71 = \frac{\dot{V}}{0.905} \rightarrow \dot{V} = 1.55\ m^3/s$

$\dot{V} = 1.55 * 3600 \rightarrow \boxed{\dot{V} = 5580\ m^3/hr}$ Ans. ٩

$\dot{m}_w = \dot{m}(W_s - W_a)$

$= 1.71\ (0.0088 - 0.0077)$

$\dot{m}_w = 0.001881\ kg/s * 3600$

$\boxed{\dot{m}_w = 6.77\ kg/hr}$ Ans. ٨

١٧

$h_3 = 419\ kJ/kg$ at $(100°C)$ from $(2-1)$

$W_1 = 0.0103\ kg/kg\ d.air$

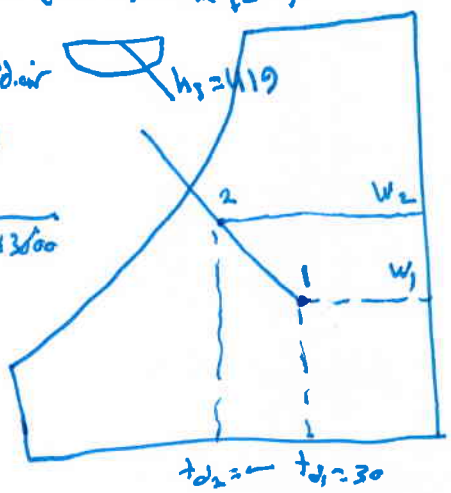
$V_1 = 0.872\ m^3/kg$

$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{\nu} = \frac{500}{0.872 * 3600}$

$\dot{m} = 0.16\ kg/s$

$\dot{m}_v = 3.6/3600$

$\dot{m}_v = 0.001\ kg/s$



$\dot{m}_w = \dot{m}(W_2 - W_1) \rightarrow$

$0.001 = 0.16(W_2 - 0.0103) \rightarrow$

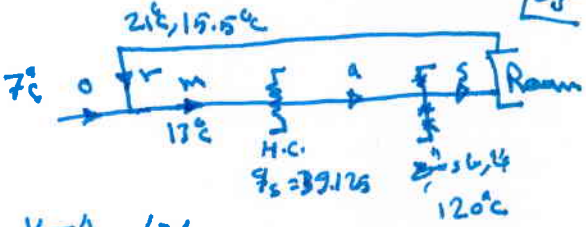
$W_2 = 0.01655\ kg/kg\ d.air$, from chart $\rightarrow$

$\boxed{t_{d_2} = 30°C,\ t_{w_2} = 24°C,\ \phi_2 = 60\%}$ Ans.

١٥

١٦

١٨



$q_s = 140850\ kJ/hr / 3600$

$q_s = 39.125\ kW$

$q_s = \dot{m} \cdot c_{p_m}(t_s - t_r)$

$39.125 = \dot{m} * 1.017(43.5 - 21) \rightarrow$

$\dot{m} = 1.71\ kg/s$

$h_3 = 270.8\ kJ/kg$

at $(120°)$ from $(2-1)$

from chart $\rightarrow$

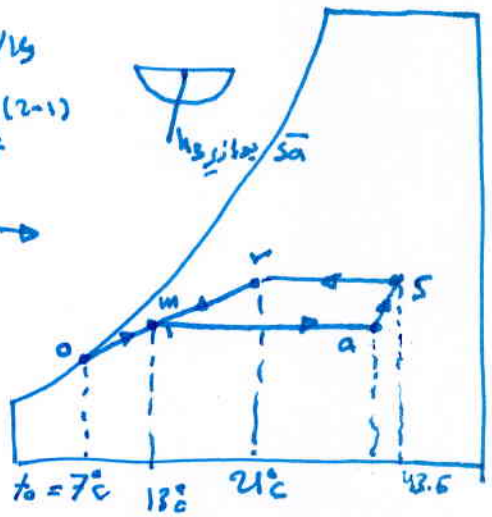
$t_a = 43.1°C$

$t_{wa} = 22.8°C$

$t_{w_o} = 7°C$

$t_{wm} = 11°C$

Ans. ٢



$v_s = 0.905\ m^3/kg$

١٦