التدفئة

المحاضرة الأولى

* الانتقال الحراري *

تهدف التدفئة إلى رفع درجة حرارة الهواء ضمن مكان مغلق سواء كان غرفة أم عدة غرف أم حتى بناء كامل وذلك للحفاظ على راحتنا الحرارية ضمن الأحوال الجوية المتغيرة.

1- الحرارة:

وهي شكل من أشكال الطاقة، تنتقل بين الحدود وتقطع الانتشار وبالتالي لكل جسم طاقة حرارية مختزنة فيه على شكل طاقة حركية لجزيئات مكونات الجسم طاقة كامنة مرتبطة بالتأثير المتبادل بين مختلف مكوناته.

واحدة الطاقة الحرارية "الكيلو جول أو الكيلو كالوري أو الواط".

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كيلو غرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة.

2- العلاقة بين الحرارة والعمل:

تعود العلاقة بين العمل والحرارة إلى الكافئ الميكانيكي للحرارة والتي بينها جول عام 1842 بالتجربة التالية:

دوران سائل ضمن مسعر حراري معزول يحتوي على الماء وتقلع ذراع يلتف حوله خيط يحمل كتلة تتحرك شاقولياً..

يتم لف الخيط حول الذراع وتعيين درجة حرارة الماء الابتدائية في المسعر ثم نترك الذراع تتحرك الكتلة تحت تأثير الجاذبية الأرضية بسرعة معينة، تقاس بعد ذلك درجة حرارة الماء، حيث جول فإنه كمية الحرارة التي اكتسبها المسعر Q بوحدة الحرارة والعمل الذي قامت به الكتلة بوحدة الجول يوجد بينهما نسبة عبارة عن مقدار ثابت مهما اختلفت شروط العمل وشروط التجربة أي أنه:

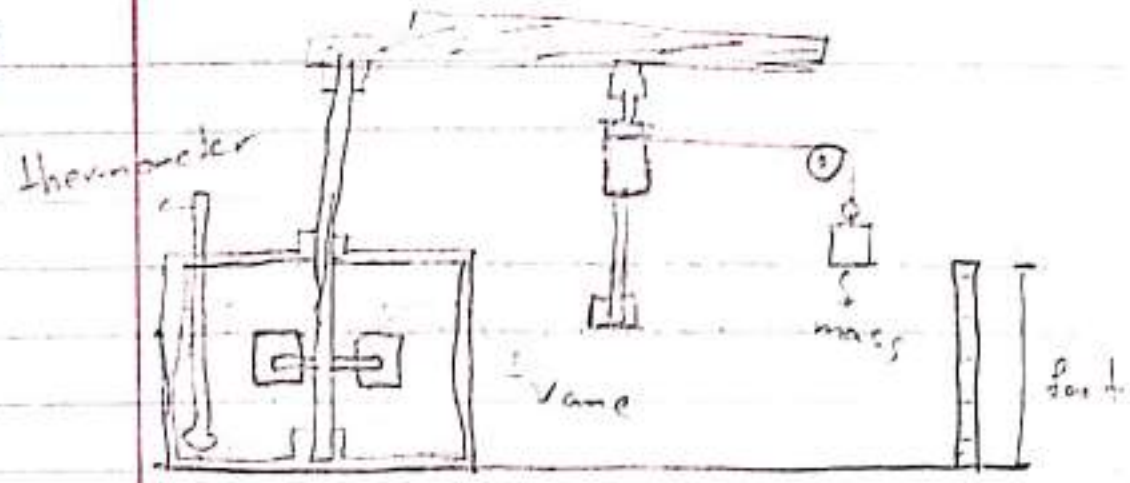
$$\frac{W}{Q} = const$$

$$C = 4,1868 \ [J/cal]$$

" مقدار العمل الذي يقوم به الجسم عند اعطائه كمية من الحرارة مقدارها واحد كالوري "

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner



٣- انتقال الحرارة :

تنتقل الحرارة من الجسم الأسخن ذي درجة الحرارة المرتفعة الى الجسم الأبرد ذي درجة الحرارة الأقل حتى يتم التوازن الحراري بينهما .

يتم انتقال الحرارة بـ :

١- الاشعاع

٢- الحمل .

٣- التوصيل .

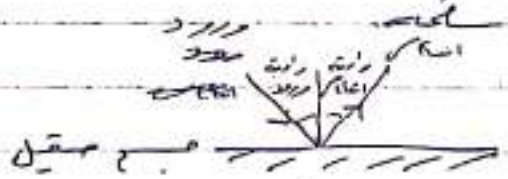
١- انتقال الحرارة بالاشعاع Heat Transfer Radiation:

الاشعاع الحراري هو موجات كهرومغناطيسية تشبه موجات الضوء ولكنها تختلف عنها في طول الموجة

الضوء موجة كهرومغناطيسية مرئية يحالها بين (٠,٤ - ٠,٩) ميكرون

أما الموجة الحرارية - يحالها بين (٠,٨ - ٢٥) ميكرون .

- يمكن تطبيق قوانين الضوء نفسها على الاشعاعات الحرارية فعندما تسقط الاشعاعات الحرارية على جسم فإنه جزء منها ينفذ وتخترق الجسم جزء القسم الباقي ينعكس على السطح



Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

- الانعكاس:

اذا سقط شعاع على سطح فانه هذا الشعاع :

① زاوية الورود = زاوية الانعكاس ، اذا كان السطح صقيل "

② تتبعثر الشعاع عشوائيا بباقي الاتجاهات ، " " " غير صقيل "

- الامتصاص:

انه جزء الاشعاع الذي يتبقى داخل الجسم :

① إما أن يختار الجسم دون تغير حتى وتلون الجسم عندئذ من لون الضوء الساقط

② أو أن يتبقى الجسم ويتحول الى حرارة وتلون الجسم حاتمي

يتعلق مقدار الاشعاع او امتصاصه :

- طبيعة الجسم الفيزيائية

- طول موجة الاشعاع

مثال

الكوارتز يمرر الاشعاعات الضوئية " شفاف "

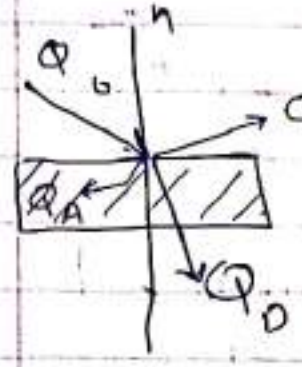
لا يمرر الاشعاعات فوق البنفسجية " غير شفاف "

الزجاج يمرر الاشعة المرئية و يمتص الأشعة فوق البنفسجية

- قوة الاشعاع:

هي مقدار الطاقة الصادرة عن واحدة السطح في واحدة الزمن

$$E = \frac{Q}{A} \left[Kcal/m^2 \right]$$



$$Q_o = Q_R + Q_A + Q_D$$

Q_o ← الطاقة الساقطة على الجسم

Q_R ← المنعكسة

Q_A ← الممتصة

Q_D ← النافذة

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

نقسم على Q_0 :

$$1 = \frac{Q_R}{Q_0} + \frac{Q_A}{Q_0} + \frac{Q_D}{Q_0}$$

$$1 = R + A + D$$

R ← الانعكاسية ، A ← الامتصاصية ، D ← النفوذية

اذا كان :

$$A = 1 \Rightarrow R = D = 0$$

اي الاشعاع الوارد على الجسم يمتص الجسم كلياً ويسمى هذا

« الجسم الأسود »

هو الجسم الذي يمتص كل الاشعاع الساقط عليه .

اذا كان :

$$R = 1 \Rightarrow A = D = 0$$

اي الاشعاع الوارد على الجسم ينعكس كله ويسمى هذا

« الجسم الأبيض أو الجسم العاكس »

اذا كان :

$$D = 1 \Rightarrow A = R = 0$$

اي الاشعاع الوارد على الجسم ينفذ بالكله ويسمى هذا

« الجسم الشفاف »

⇐

الجسم جيد الانعكاس رديء الامتصاص والعكس صحيح

نستفيد من هذه الخاصية في تحديد ألوان الأشياء

حالة السطح « ملوث ، خشن » مثل السطح الناعم يعكس الاشعاع أفضل بكثير من السطح الخشن .

تزيد الامتصاصية اذا كان السطح خشن بدل الناعم

تزيد الانعكاسية ← ← ← الناعم بدل الخشن

الطاقة ضياء ← الطاقة ضياء

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

- قوانين الاشعاع الحراري :

1- قانون ستيفان - بولتزمان :

يعبر عن العلاقة بين الطاقة الاشعاعية الاجمالية ودرجة الحرارة المطلقة للجسم

$$E = \varepsilon C_0 \left(\frac{T}{100}\right)^4 = C \left(\frac{T}{100}\right)^4$$

حيث :

E : الطاقة الاشعاعية وتقدر بـ $[W/m^2]$

ε : درجة سواد الجسم : $\varepsilon = \frac{E}{E_0}$

E_0 : الاشعاعية الجسم المطلقة الاسود

C_0 : معامل الاشعاع للجسم المطلقة السواد : $C_0 = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4}\right]$

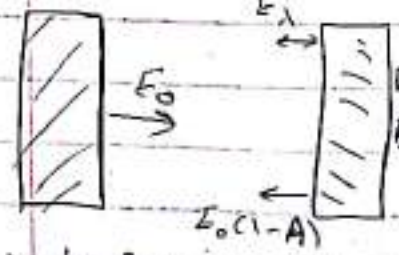
C : معامل الاشعاع

T : درجة الحرارة المطلقة .

2- قانون كيرشوف :

يدرس التبادل الحراري الاشعاعي بين سطحين صلبين ومتوازيين ودات درجات حرارة متساوية أحدهما رمادي والآخر مطلقة السواد

في حالة : $T_1 = T_2$:



اذا كانت الجسم المطلقة السواد يطلق كمية الاشعاع (E_0) حيث تمتص الجسم الرمادي $E_0(A)$ وتنعكس الكمية المتبقية $E_0(1-A)$ حيث تمتص الجسم الاسود شكل كامل

اذا كانت كمية الطاقة الاشعاعية الذاتية للجسم الرمادي E_λ فإن كمية الحرارة المنطلقة بالاشعاع عندما $T_1 = T_2$ ⟸

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

$$q = E_\lambda - AE_0 = 0$$
$$E_\lambda = AE_0 = \varepsilon E_0$$

أي أن:

"كمية الاشعاع التي يطلقها الجسم شاوي الى حاصل جداء معامل الامتصاص لهذا الجسم في كمية الاشعاع التي يطلقها الجسم المطلقة السوداء"

$$E_0 = E_\lambda + E_0(1-A)$$

٣- قانون لامبرت:

ادرس تغير الطاقة الاشعاعية التي ينشرها الجسم في مختلف الاتجاهات

الطاقة التي ينشرها الجسم بالاتجاه الناظمي شاوي:

$$E_N = \frac{E}{\pi} = \frac{C\left(\frac{T}{100}\right)^4}{\pi} \quad ; \quad C = \varepsilon \cdot C_0$$

حيث:

E: الطاقة الاشعاعية الصادرة عن الجسم خلال واحدة الزمن في جميع الاتجاهات ضمن مجال سطحي نصف كرة مساحته (m^2) 1

أما:

الطاقة الاشعاعية التي ينشرها الجسم بزاوية مع الناظم

$$E_\varphi = E_n \cos\varphi = \frac{E}{\pi} \cos\varphi$$

$$E_\varphi = \frac{\varepsilon C_0 \left(\frac{T}{100}\right)^4}{\pi} \cos\varphi$$

هذه المعادلة صحيحة بالنسبة للأجسام المطلقة السوداء.

- لذا كان $\varphi \leq 60$ يمكن استخدام القانون للأجسام الرمادية.

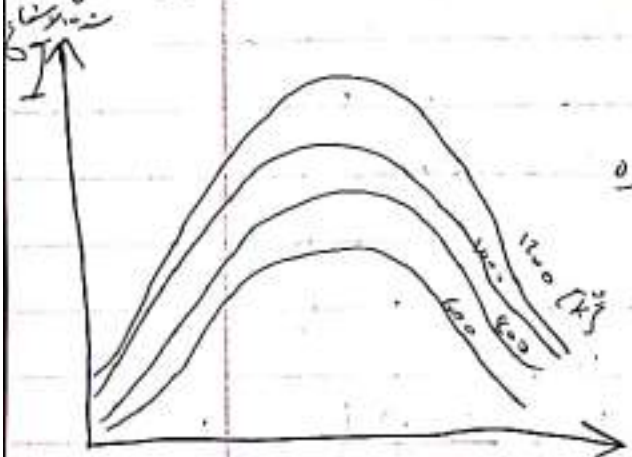
Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

٤- قانون بلانك:

لاحظ من المخطط أنه عندما تكون مجال طول موجة محدد ثابتة، شدة الاستشعاع تزداد بازدياد طول الموجة إلى أن تصل إلى قيمة عظمى ومن ثم تنخفض.

كما لاحظ تأثير شدة الاستشعاع بأنه تتناسب طرداً مع درجة الحرارة بالنسبة للجسم المطلق السواد



$$I_{s\lambda} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1}$$

C_1 ، C_2 معامل بلانك الأول والثاني

- معامل الانبعاث الكامل:

$$A_{1,2} = \frac{1}{\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} - 1}$$

- معامل الاستشعاع المكافئ:

$$C_{1,2} = \frac{C_0}{\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}}$$

١- كمية الحرارة للسطحين المتقابلين:

$$q = C_{1,2}\left[\left(\frac{T}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_0}{100}\right)^4\right]$$

كمية الحرارة الاستشعاعية:

$$Q = q \cdot A \quad ; \quad \varepsilon_{1,2} = \frac{C_{1,2}}{C_0} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

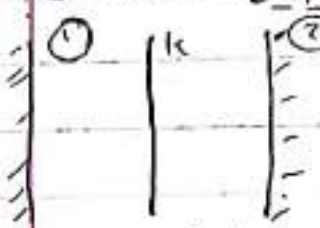
Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

الشاشات والستائر:

تستعمل الشاشات للتقليل من الطاقة الاشعاعية المنتقلة. والشاشة عبارة عن تماس رقيق أو لوح معدني رقيق له قدرة كبيرة على عكس الأشعة.

إذا كان لدينا جسمين متقابلين ويوجد بينهما شاشة



T_1 : درجة حرارة الجسم الأول

T_2 : " " " الثاني

T_k : " " الشاشة

نفرض أن الأجسام الثلاثة لها نفس معامل الاشعاع $C_{1,2}$

$$q_1 = C_{1,2}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_k}{100}\right)^4\right] \quad (3)$$

$$q_2 = C_{1,2}\left[\left(\frac{T_k}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right] \quad (4)$$

بمساواة العلاقتين (3) و (4):

$$C_{1,2}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_k}{100}\right)^4\right] = C_{1,2}\left[\left(\frac{T_k}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]$$

$$\left(\frac{T_k}{100}\right)^4 = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 + \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right] \quad \cdots *$$

بتعويض * في (3):

$$q_1 = C_{1,2}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left[\frac{1}{2}\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 + \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]\right]$$

$$q_1 = \frac{1}{2}C_{1,2}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]$$

$$q_1 = \frac{1}{2}q_0$$

← مع وجود شاشة واحدة بين جدارين تقلل كمية الحرارة المنتقلة بالاشعاع بمقدار النصف.

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

- اذا كانه هناك ستاشنان بين جدارين تقلل كمية الحرارة المنتقلة إلى الثلث
- - - - ثلاث شاشات - - - - - - - - الربع
- وفي حال عدم استخدام معامل الاشعاع بين الجدارين والشاشة
فإن كمية الحرارة هي :

$$q_1 = \frac{1}{2} \frac{C_{1,2}}{C_{1,2}} q_0$$

$C'_{1,2}$: معامل الاشعاع بين الجدار والشاشة
$C_{1,2}$: معامل الاشعاع بين الجدارين
وهنا يظهر الحاجز أكثر فعالية في تخفيض التبادل الحراري بالاشعاع الاشعاعي عندما يكون مصقولاً .

- الاشعاع بالنسبة للغازات :
تكون أشعاعية الغازات أحادية وثنائية الذرة صغيرة ومعامل اصقرارها صغير .
أما اشعاعية الغازات ثلاثية ورباعية الذرات كبيرة ومعامل اشعاعها كبير .

- تتعلق قابلية الغاز لامتصاص الطاقة الاشعاعية بعدة عوامل :
1- ضغط الغاز الجزيئي .
2- عدد الأوزان الجزيئية .
3- درجة الحرارة .

شدة الاشعاع الحراري المتبادل بين مزيج غازي $[H_2O + CO_2]$ وجدار ما في المزيج :

$$q = 5,69\ \varepsilon_{eff} \left[\varepsilon_g \left(\frac{T_g}{100} \right)^6 - A_g \left(\frac{T_s}{100} \right)^6 \right]$$

T_s : درجة حرارة الجدار .
T_g : " " المزيج الغازي .
A_g : معامل الامتصاص " " .
ε_g : درجة تسخيم " " .
ε_{eff} : درجة تسخيم الجدار الفعالة .

Scanned by CamScanner
Scanned with CamScanner

* مسألة:

جسم أسود يبعث إشعاع عند $T = 3000[K]$ ما المطلوب:

١- الطاقة الإشعاعية عند طول موجة $\lambda = 7[mm]$ ؟

٢- الطاقة الإشعاعية الكلية ؟

٣- الطاقة الإشعاعية الكلية عند $\varepsilon = 0,85$ ؟

حيث:

$$C_1 = 0,374 \cdot 10^{-15} [W.m^2]$$

$$C_2 = 14,4 \cdot 10^{-3} [m.K]$$

$$\lambda = 7 \cdot 10^{-6} [m]$$

① من قانون بلانك:

$$I_{s\lambda} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1}$$

$$I_{s\lambda} = \frac{0,374 \cdot 10^{-15} \cdot [7 \cdot 10^{-6}]^{-5}}{e^{\frac{14,4 \cdot 10^{-3}}{7 \cdot 10^{-6} \cdot 3000}} - 1}$$

$$I_{s\lambda} = 0,0286 \ [W/m^2]$$

② من قانون ستيفان-بولتزمان:

$$E_b = \sigma T^4$$

$$= 5,67 \cdot 10^{-8} (3000)^4$$

$$E_b = 4,59 \cdot 10^6 \ [W/m^2]$$

③

$$(E_b)_{real} = \varepsilon \sigma T^4$$

$$= 0,85 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (3000)^4$$

$$= 3,9 \cdot 10^6 \ [W/m^2]$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

٢- انتقال الحرارة بالحمل: Heat Transfer Convection

- تعريف الحمل:

هو انتقال الحرارة نتيجة حركة كتلة المائع من درجة حرارة ما إلى درجة حرارة أخرى.

- كمية الحرارة المنتقلة بالحمل:

$$q_{conv} = \rho . \bar{w} . i$$

حيث:

ρ: كثافة المائع.

$\bar{w}$: سرعة المائع

i: انتالبي المائع

* الخواص الفيزيائية للموائع:

تعتمد هذه الخواص على درجة حرارة المائع وهي:

١- معامل التوصيل الحراري λ.

٢- الحرارة النوعية C_p.

٣- كثافة المائع ρ.

٤- الناشرية الحرارية $\alpha = \frac{\lambda}{\rho . C_p}$

٥- اللزوجة الحركية $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

٦- القوى الكاسية التي تؤثر على أي نقطة من الجريان، $S = \frac{dw}{dn}$

* تأثير الانتقال الحراري بـ:

١- معامل انضغاطية المائع: $\varepsilon = \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \rho}{\partial p}\right)_{t=cte}$

٢- معامل التمدد الحجمي $\beta = \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \rho}{\partial t}\right)_{p=cte}$

حيث:

$$\beta = \frac{1}{T}$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

* الأعداد اللاأبعادية (اللامتجددة):

[1] - عدد نوسلت: قطر الأنبوب

$$Nu = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda}$$

L: طول الصفيحة ويتبدل بـ d في حالة الأنبوب.

وهو يصف حالة الانتقال الحراري عند الحد الفاصل ما بين الجدار والمائع

[2] عدد رينولدز: قطر الأنبوب

$$Re = \frac{w \cdot L}{\nu}$$

وهو يصف العلاقة ما بين قوى القصور وقوى اللزوجة

[3] عدد بكليت:

$$Pe = \frac{w \cdot L}{a}$$

هو نسبة كمية الحرارة المنتقلة بالحمل إلى كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل.

[4] عدد كراشوف: قطر الأنبوب

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot L^3 \cdot \Delta t}{\nu^2}$$

وهو يصف قوة الرفع (الطفو) التي تظهر ضمن المائع بسبب تدرجات الكثافة

[5] عدد أرخميدس:

$$Ar = \frac{g \cdot L^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0}$$

ρ كثافة السائل ρ_0 عند السطح.

هذا العدد يحدد شروط الحركة الحرة للوسط

[6] عدد أويلر:

$$Eu = \frac{P}{\rho \cdot w^2}$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

نصف العلاقة الكائنة بين قوى الضغط وقوى الاحتكاك

٧ عدد برانتل:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\frac{\mu}{\rho}}{\frac{\lambda}{\rho c_p}} = \frac{\mu . c_p}{\lambda}$$

عبارة عن بارامتر فيزيائي خاص بالمواد

بازدياد درجة الحرارة فإن عدد برانتل يتناقص بشكل حاد بالنسبة للغازات وعدد برانتل يأخذ قيمة ثابتة بالنسبة لكل الغازات.

* قانون نيوتن للتحل،

$$Q_w = \alpha . A . \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2}$$ ← لحسابها :

$$\Delta t_{log} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\log \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

حيث ،

$\Delta t_1 = t_1 - t_{w_1}$ ⇐ Δt_1

$\Delta t_2 = t_2 - t_{w_2}$ ⇐ Δt_2

t_1 : درجة الحرارة المتوسطة للسائل عند المدخل

t_{w_1} : " " السطح عند المدخل

t_2 : درجة حرارة المتوسطة للسائل عند المخرج

t_{w_2} : " " السطح عند المخرج

- الانتقال الحراري في الأنابيب :

* تتحدد طبيعة السائل في الأنابيب بعدد رينولدز

$Re < 2300$ ⇐ جريان صفائحي (لزج)

$2300 < Re < 10000$ ⇐ جريان انتقالي (مختلط)

$Re > 10000$ ⇐ جريان مضطرب

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

① في حالة أسطوانات بالصفائح:

$$Nu_m = 0,15\, Re_m^{0,33}\, Pr_m^{0,43} \cdot Gr_m^{0,1} \left(\frac{Pr_m}{Pr_s}\right)^{0,25} \quad ; \quad \frac{L}{d} > 50$$

Pr_m : يؤخذ عند درجة حرارة وسطية للسائل.

Pr_s : " " " السطح المشترك للسائلين.

للهواء:

$$Nu_m = 0,13\, Re_m^{0,33}\, Gr_m^{0,1} \quad ; \quad \frac{L}{d} > 50$$

وإذا كان:

$\frac{L}{d} < 50$ نضرب المعادلتين ① و ② بعامل التصحيح ε_L يؤخذ من الجدول التالي:

يؤخذ الهواء والمعادلات السابقة عند درجة حرارة وسطية للوسط الوارد

$$\frac{Pr_m}{Pr_s} = 1$$

② في حالة جريان مضطرب:

$$Nu_m = 0,021 \cdot Re_m^{0,8} \cdot Pr_m^{0,43} \left(\frac{Pr_m}{Pr_s}\right)^{0,25}$$

في حالة الهواء والغازات ثنائية الذرة

$$Nu_m = 0,018 \cdot Re_m^{0,8}$$

بعد إيجاد Nu_m نوجد معامل انتقال الحرارة α ثم نكتبه كدالة في طبيعة الوسط المتحرك في الأنابيب المستقيمة على الشكل:

أما

إذا كان الوسط يجتاز أنابيب ملتوية فإن معامل التصحيح ε_L

$$\varepsilon_L = 1 + 3,6 \frac{d}{D}$$

d : قطر الأنبوب.

D : قطر انحناء الأنبوب.

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

$Nu = \frac{\alpha . L}{\lambda}$ ١- نحسب معامل انتقال الحرارة α بعد حساب
٢- نحسب Nu بعد حساب معيار رينولدز Re
٣- نعوض في Nu ثم نحسب Q.

(٢) في حالة جريان انتقالي (مختلط):

$$Nu_m = k_0 \cdot Pr_m^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_m}{Pr_s}\right)^{0,25}$$

k_0 : تتبع لعدد رينولدز ~~لحالة الجريان~~ وتستخرج من الجدول

مسألة:

أوجد معامل انتقال الحرارة وكمية الحرارة المنتقلة - عند جريان ماء داخل أنبوب أفقي قطره $d = 0,008\ (m)$ وطوله $L = 6\ (m)$ حينما كانت السرعة $w = 0,1\ (m/s)$ ودرجة حرارة الماء $t_w = 80\ (^\circ)$ و درجة حرارة السطح $t_s = 20\ (^\circ)$

الحل:

$\nu = 0,365 . 10^{-6}\ (m^2/s)$ $\quad Q = ?$ $\quad \alpha = ?$

معطيات: جريان ماء داخل أنبوب $d = 0,008\ (m)$ $\quad L = 6\ (m)$ $\quad w = 0,1\ (m/s)$

$Pr_m = 2,21$ $\quad Pr_s = 7,02$ $\quad \lambda = 0,675\ (W/m\,^\circ)$

$t_s = 20\ (^\circ)$ $\quad t_w = 80\ (^\circ)$

$g = 9,81\ [m^2/s]$ $\quad \beta = 6,32 . 10^{-4}\ [\frac{1}{K}]$ $\quad$ نوجد عدد رينولدز

$\varepsilon_L = 1$

$$Re = \frac{w . d}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,1 . 0,008}{0,365 . 10^{-6}} = 2191,7$$

$\frac{L}{d} = \frac{0,008}{6}$

$\frac{L}{d} < 50$

$Re < 2300$ جريان صفائي

$\varepsilon_L = 1 \Leftarrow$ في حالة الجريان الصفائي:

$$Nu_m = 0,15\ Re_m^{0,33}\ Pr_m^{0,43}\ Gr_m^{0,1} \left(\frac{Pr_m}{Pr_s}\right)^{0,25} \quad \ldots (*)$$

$$Gr_m = \frac{\beta . g . L^3 \Delta t}{\nu^2} = \frac{6,32 . 10^{-4} . 9,81 . (0,008)^3 . (80-20)}{(0,365 . 10^{-6})^2}$$

$Re = 2191,7$

$$Gr_m = 1,43 . 10^6 = 1430000$$

$\Leftarrow$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

$$Nu = 0,15 \cdot (2191,7)^{0,73} \cdot 2,21^{0,43} \cdot (1,43 \cdot 10^{6})^{0,1} \cdot \left(\frac{2,21}{7,02}\right)^{0,25}$$

$$Nu = 8,25$$

$$\Rightarrow$$

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$$

$$\alpha = Nu \cdot \frac{\lambda}{d}$$

$$\alpha = 8,25 \cdot \frac{0,675}{0,008}$$

$$\alpha = 696 \ [W/m^2 C]$$

$$\Leftarrow$$

$$Q_w = \alpha \cdot A \cdot \Delta t$$

$$\Leftarrow$$

$$A = \pi \cdot d \cdot L$$

$$\Leftarrow$$

$$Q_w = \alpha \cdot (\pi \cdot d \cdot L) \cdot \Delta t$$

$$= 696 \ (\pi \cdot 0,008 \cdot 6) \cdot (80 - 20)$$

$$Q_w = 6297,3 \ [W]$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

* وسائط نقل الحرارة

يوجد عملياً أربعة وسائط للحمل ونقل الحرارة :
البخار - الماء - الهواء - الكهرباء .

1 الهواء :

يعد الهواء مزيج غازي يحتوي على 23,2 بالمئة من وزنه أكسجيناً و 1,3 نتروجيناً و 75,5 أرغوناً وكميات قليلة من غازات أخرى .
ويعد كوسيط جيد لنقل الحرارة في أنظمة التدفئة بالهواء الساخن .

- الضغط الجوي :

هو القوة المؤثرة على وحدة سطح الجسم والتي تعادل وزن عمود الهواء ويقاس بـ mmHg

1 bar = 14,7 psi = 670 mmHg أو psi

عند سطح البحر :
الضغط الجوي يتغير تبعاً للارتفاع وبالتالي تناقص كلما ارتفعنا عن مستوى سطح البحر ويزداد عند الانخفاض .

الضغط المطلق = الضغط الجوي + ضغط المقياس .

↓ هو ضغط المقياس بدءاً من الصفر المطلق

↓ أو الضغط المقياسي وهو الضغط الذي يقرأ عادة على المقياس

مثال :

إذا كان ضغط الدولاب 0,5 bar فما الضغط المطلق ؟

1 + 0,5 = 1,5 bar

عند زيادة ضغط الهواء فإنه كلاً من الضغط ودرجة الحرارة يزداد تبعاً لقانون بويل وشارل الحجم تغير مع تغير الضغط

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

٢) البخار

وهو غاز عديم اللون وغير مرئي وينتج عن تبخر الماء وباقي السوائل الأخرى
البخار هو الضباب المتشكل من جزيئات السائل الناتجة عن التكاثف
والتكاثف ينتج عندما يتبرد البخار إلى درجة حرارة أقل من درجة حرارة نقطة الغليان
البخار يطلق على الغازات المتسعة وهو وسيط لنقل الحرارة ضمن أنظمة
التدفئة بالبخار.

أشكاله:

١- بخار مشبع ٢- بخار جاف ٣- بخار رطب ٤- بخار محمص ٥- بخار محمص جاف

- درجة حرارة البخار المشبع تكون موافقة لضغطه. وبالتالي يمكن معرفة
ضغطه ودرجة الحرارة.
- البخار الذي يحتوي على رطوبة بخار رطب.
- البخار الذي لا يحتوي على رطوبة بخار جاف. ويمكن أن يكون
مشبعاً أو محمصاً في أنه البخار المحمص عالي درجة حرارة
أعلى من الموافقة لضغطه.
- التغيرات التي تطرأ على البخار أثناء تحضيره تدعى بالتبخير.
- كمية الحرارة اللازمة لتوليد البخار هي مجموع الحرارة المحسوسة والكامنة

تبخير الماء عند نقطة الغليان دون تغير درجة الحرارة (حرارة كامنة)

تبخير ارتفاع درجة الحرارة

- نقطة الغليان:

هي درجة الحرارة التي يبدأ عندها السائل بالغليان
تعتمد على ضغط وطبيعة السائل
غليان الماء عند درجة (°C) ١٠٠ عند الضغط الجوي.

- التكاثف:

تحول البخار إلى سائل عند انخفاض درجة الحرارة إلى ما دون درجة الحرارة
الموافقة لضغط التكاثف

كمية الحرارة المطلوبة لبدء عملية التبخير

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

(٢) الماء

هو من أكثر المواد تحملاً للحرارة وتتمدد بشكل ملحوظ عند تسخينه بسبب زيادة الحرارة وهذا ما يجعله قادراً على الحركة والدوران بسهولة أثناء التسخين وتتغير درجة حرارته وتغير الدوران ناتج عن التغير في الحجم مما يرفع درجة حرارته بمجرد الغلي ويزداد الضغط في درجات حرارة منخفضة نسبياً وتنقص كمية بزيادة النسبة (الشوفاج المتصل بالمرجل)

(٣) الكهرباء

تختلف الزمان المستخدمة في الأفران الكهربائية تبعاً لنوع الكهرباء المستخدمة في كل فرن

كهرباء مستمرة — كهرباء متردد

مثل المداخل الكهربائية في السخانات الكهربائية

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

٢- انتقال الحرارة بالتوصيل Heat Transfer Conduction

- التوصيل الحراري:

يقصد به انتقال الحرارة نتيجة التلامس المباشر بين جزيئات المادة.

في الفلزات تنشأ درجة الحرارة نتيجة انتقال الإلكترونات الحرة.

في الكوابل نتيجة اصطدام الحر للجزيئات.

في الغازات نتيجة انتشار الإلكترونات الحرة.

- يمثل درجة الحرارة:

انه درجة الحرارة تابع للاحداثيات والزمن $t = f(x, y, z, \tau)$

هو مجموع درجات الحرارة لكل نقاط الجسم عند لحظة معينة

يكون انتقالياً اذا كان متغيراً بالزمن

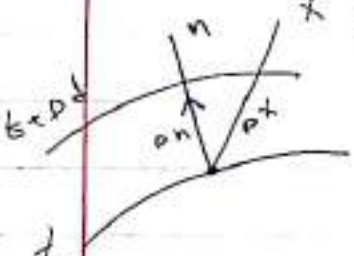
ومستقراً اذا كان لا يتغير بالزمن

- تدرج الحرارة (التدرج الحراري):

هو المحل الهندسي لدرجات الحرارة المتساوية أي سطح متساوي الأحرار.

هو معدل تغير درجة الحرارة (Δt) في جسم ما

المسافة الناظمية بين السطوح متساوية الحرار (Δn).



$$\lim_{\Delta n \to 0} \left(\frac{\Delta t}{\Delta n}\right) = \frac{dt}{dn} = \text{grad } t \quad [°C/m]$$

يكون موجب اذا كان باتجاه تزايد درجة الحرارة

وسالب اذا كان باتجاه تناقص درجة الحرارة وسمي الهبوط الحراري.

- انسياب الحرارة:

تنساب الحرارة دوماً من المنطقة ذات درجة الحرارة الأعلى الى الأخفض.

- السيالة الحرارية Q:

هي كمية الحرارة المنتقلة في الساعة

- المحل الحراري (السيالة الحرارية النوعية) q:

هي السيالة الحرارية المنتقلة من واحدة السطح

$[kcal/m^2h]$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

$$Q = q \cdot A \cdot \tau \quad [kcal]$$

* قانون فوريه:
اكتشف فوريه أن كمية الحرارة المنتقلة تناسب مع الهبوط الحراري
المساحة العمودية على اتجاه انسياب الحرارة وأيضاً مع الزمن

قانون فوريه $\boxed{q = -\lambda \, grad\, t}$

- الايصالية الحرارية:
و هي عامل التناسب (λ) وهي من خصائص المادة التي تبين قدرتها على نقل الحرارة

$$\lambda = -\frac{q}{grad\, t} = -\frac{Q}{AT} \cdot \frac{1}{grad\, t} = -\frac{Q}{AT \frac{\Delta t}{L}} \left[\frac{kcal}{m.h.c}\right]$$

أي الايصالية الحرارية هي كمية الحرارة المارة ساعة سطح ما واحدة المرور عندما يكون
هناك هبوط قدره درجة مئوية واحدة عبر واحدة الأطوال
تتأثر ايصالية مادة ما بشكلها، حجمها، وزنها، رطوبتها، الضغط، درجة الحرارة

المادة المرطبة تكون ذات ايصالية حرارية أكبر من مجموع ايصالية المادة الجافة
وايصالية الماء.

مثال
القرميد الجاف $\lambda = 0,3$ ... القرميد المرطب $\lambda = 0,9$
الماء $\lambda = 0,5$ ... $[kcal/m.h.c]$

نسمي المواد ذات الايصالية الحرارية المنخفضة (التي تقل عن 2 $kcal/m.h.c$)
بعوازل حرارية

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

- التوصيل عبر جدار مستوٍ:

1- جدار متجانس (طبقة واحدة):

لكي لدينا جدار متجانس (مؤلف من طبقة واحدة) سماكته δ وناقلية الحرارية λ تعرض هذا الجدار لدرجتي حرارة t_1, t_2 على الجانبين وتتغير درجة الحرارة باتجاه محور (باتجاه المحور X).

لندرس داخل الجدار الطبقة ذات السماكة (dx) التي تبعد (X) عن السطح الخارجي

استناداً إلى علاقة فوريه

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}$$

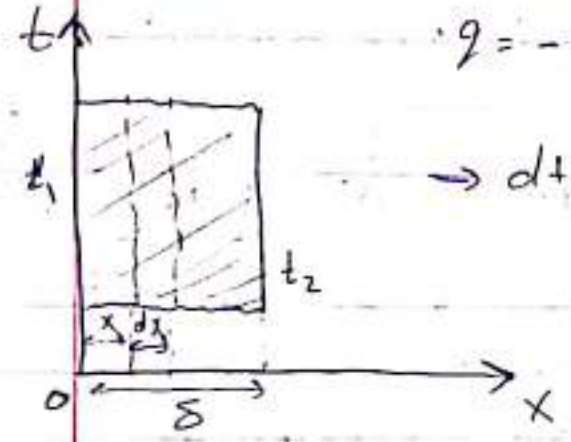
نفصل المتحولات:

$$\rightarrow dt = -\frac{q}{\lambda} \cdot dx$$

بالتكامل:

$$t = -\frac{q}{\lambda} \cdot X + C$$

نحدد الثابت C من الشروط الحدية



① $X = 0 \rightarrow t = t_1 \Rightarrow t_1 = C$

② $X = \delta \Rightarrow t = t_2 \Rightarrow t_2 = -\frac{q}{\lambda}\delta + t_1$

$$\Rightarrow t_1 - t_2 = \frac{q}{\lambda}\delta$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{q}{\lambda}\delta$$

$$\rightarrow \boxed{q = \frac{\lambda}{\delta}\Delta t}$$

حيث $\frac{\lambda}{\delta}$ ناقلية الجدار

$\frac{\delta}{\lambda}$ مقاومة الجدار

عند حساب المحمل الحراري (Q) عبر كمية الحرارة المنتقلة عبر جدار مساحته A خلال زمن (τ):

$$\boxed{Q = q \cdot A \cdot \tau = \frac{\lambda}{\delta} \cdot \Delta t \cdot A \cdot \tau} \quad [kcal]$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

٢- جدار مستوٍ مركب:

يتألف عادة من عدة طبقات من مواد مختلفة

مثال: جدران الأبنية التي تتألف من طبقة حجر مزينة من الداخل والخارج.

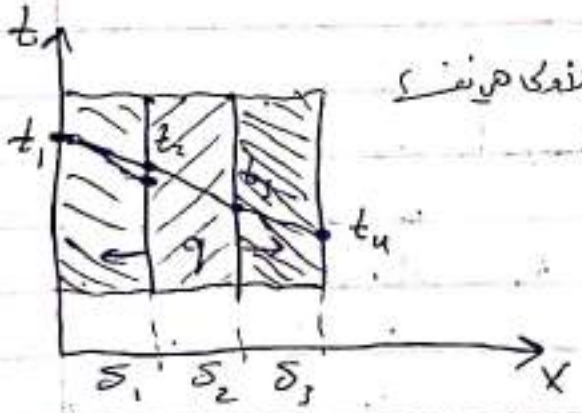
وكذلك جدران الأفران والمراجل والأجهزة الحرارية الأخرى التي تتألف أيضاً من عدة طبقات تشمل تربيه نارية وعازل حراري وغلاف حماية...الخ

- لكن لنفترض جدار تألف من ثلاث طبقات سماكتها $\delta_1, \delta_2, \delta_3$

وأمثالها الحرارية $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$

درجة الحرارة الوجوه الخارجية t_1, t_4 معلومة ومثابتة

- - الطبقات الداخلية t_2, t_3 مجهولة.



الكمية الحرارة التي تعبر الطبقة الأولى هي نفسها التي تعبر بقية الطبقات ⇐

$$q = \frac{\lambda_1}{\delta_1}(t_1 - t_2)$$

$$q = \frac{\lambda_2}{\delta_2}(t_2 - t_3)$$

$$q = \frac{\lambda_3}{\delta_3}(t_3 - t_4)$$

- من هذه العلاقات يمكن تحديد تدرج الحرارة في كل طبقة:

$$t_1 - t_2 = q\,\frac{\delta_1}{\lambda_1}$$

$$t_2 - t_3 = q\,\frac{\delta_2}{\lambda_2}$$

$$t_3 - t_4 = q\,\frac{\delta_3}{\lambda_3}$$

بالجمع:

$$t_1 - t_4 = q\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}\right)$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

تكون السيالة الحرارية [kcal/m²h]

$$q = \frac{t_1 - t_n}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}}$$

اذا كان لدينا جدار مؤلف من n طبقة:

$$q = \frac{t_1 + t_{n+1}}{\sum_1^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}$$

٣- حالات خاصة:

أ- حالة جدار مؤلف من عدة طبقات مرتبة بالشكل المتوازي لاتجاه السيالة الحرارية:

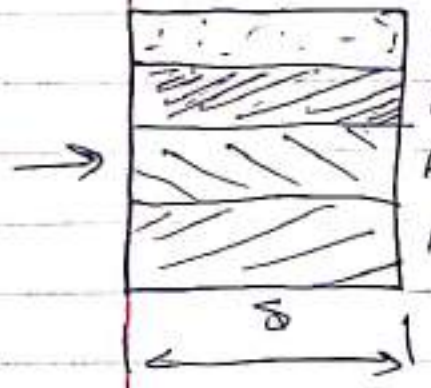
لنفرض لدينا جدار مؤلف من أربع طبقات

سماكة الجدار δ

الناقليات الحرارية للطبقات $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_n$

يتوزع هذا الجدار لدرجتي حرارة t_1, t_2 على جانبيه

لنوجد الناقلية الحرارية المكافئة للطبقات λ_m.



معادلة انتقال الحرارة العامة:

$$q = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2)$$

$$Q = q \cdot A \cdot \tau$$

من أجل الطبقات الأربع:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_n$$

$$Q = \frac{\lambda_1}{\delta}(t_1 - t_2) A_1 \cdot \tau + \frac{\lambda_2}{\delta}(t_1 - t_2) A_2 \tau + \frac{\lambda_3}{\delta}(t_1 - t_2) A_3 \tau + \frac{\lambda_n}{\delta}(t_1 - t_2) A_n \tau \quad (1)$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

لنفرض أن:

$$Q = \frac{A\lambda_m}{\delta}(t_1 - t_2)\tau \quad --(2)$$

حيث:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

مساواة (1) و (2):

$$\frac{A\lambda_m}{\delta}(t_1 - t_2)\cdot\tau = \frac{\lambda_1}{\delta}(t_1 - t_2)A_1\tau + \frac{\lambda_2}{\delta}(t_1 - t_2)A_2\tau + \frac{\lambda_3}{\delta}(t_1 - t_2)A_3\tau + \frac{\lambda_4}{\delta}(t_1 - t_2)A_4\tau$$

$$\Rightarrow \quad \lambda_m = \frac{A_1\lambda_1 + A_2\lambda_2 + A_3\lambda_3 + A_4\lambda_4}{A}$$

λ_m هي الموصلية الحرارية المكافئة للطبقات المتوازية للسوائل الحرارية

ب- حالة جدار مادته من عدة مواد:

مثل جدار مصنوع من طوب، مونة اسمنت وفلين مجموعها

V_1, V_2, V_3

الموصلية الحرارية المكافئة:

$$\lambda_m = \frac{V_1\lambda_1 + V_2\lambda_2 + V_3\lambda_3}{V_1 + V_2 + V_3}$$

عند دراسة جدار مركب افترضنا تماسا تاما بين الطبقة والأخرى بأن الكلية السطح الفاصل بين الطبقات منشآ فلن يكون هناك تماسا مباشر بل ستكون غشاء رقيق من الهواء يفصل الطبقات عن بعضها.

وبما أن الهواء سيء النقل للحرارة ($\lambda = 0,02$) فإن غشاء رقيق منه يسبب انخفاض كبير في الموصلية الحرارية المكافئة للجدار متعدد الطبقات.

- تمثل طبقة من الصلب أو طبقة من الرصاص مثل طبقة الهواء نفسها.

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

- التوصيل في الجدران الاسطوانية:

١- جدار متجانس (طبقة واحدة):

لندرس جدار اسطواني (أنبوب) طوله (l) نصفه الداخلي (r_1) والخارجي (r_2) وعامليته الحرارية ثابتة (λ)

درجة الحرارة على السطح الداخلي t_1

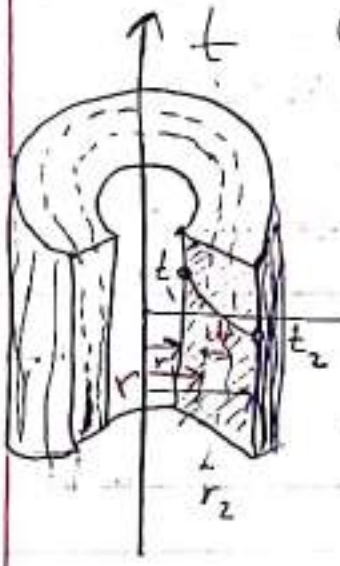
" " " الخارجي t_2

حيث $t_1 > t_2$ تتغير درجة الحرارة باتجاه x فقط

لندرس سطح حلقي نصف قطرها (r)

وسماكته (dr)

حسب تانون فوريه:



$$q = -\lambda \frac{dt}{dr}$$

كمية الحرارة التي تجتاز السطح بالساعة:

$$Q = -\lambda A \frac{dt}{dr}$$

$$Q = -\lambda 2\pi r l \frac{dt}{dr}$$

نفصل المتحولات:

$$dt = -\frac{Q}{2\pi\lambda l}\frac{dr}{r}$$

نكامل:

$$t = -\frac{Q}{2\pi\lambda l}\ln r + C$$

نعوض الشروط الحدية:

$r_1 = r \Rightarrow t = t_1$

$r = r_2 \Rightarrow t = t_2$

نعوض:

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

$r = r_1 \Rightarrow$ $t_1 = -\frac{Q}{2\pi\lambda\ell} \ln r_1 + C$

$r = r_2 \Rightarrow$ $t_2 = -\frac{Q}{2\pi\lambda\ell} \ln r_2 + C$

بالطرح

$$t_1 - t_2 = -\frac{Q}{2\pi\lambda\ell}(\ln r_1 - \ln r_2)$$

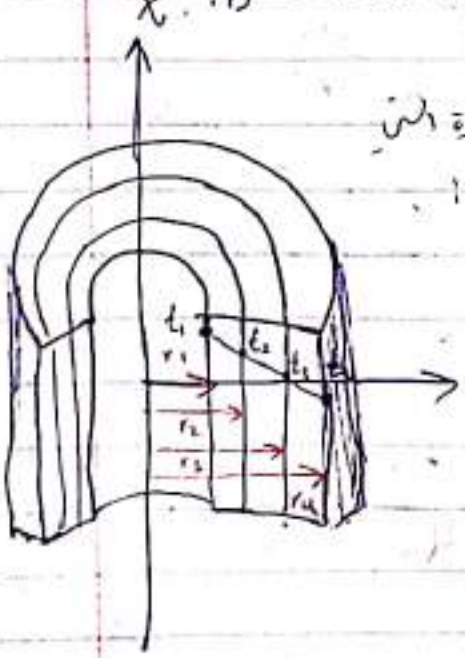
$$t_1 - t_2 = \frac{Q}{2\pi\lambda\ell}(\ln r_2 - \ln r_1)$$

$$-\ln\frac{r_2}{r_1}$$

$$\boxed{Q = \frac{2\pi\lambda\ell}{\ln\frac{r_2}{r_1}}(t_1 - t_2)} \quad \text{حيث } t_1 > t_2$$

٢- جدار مركب (عدد الطبقات n):

إذا كان لدينا جدار مؤلف من ثلاث طبقات كما بالشكل:



في حالة الاستقرار فإن كمية الحرارة التي تمر من كل طبقة هي نفسها لذلك:

$$q = \frac{2\pi\lambda_1}{\ln\frac{r_2}{r_1}}(t_1 - t_2) \Rightarrow t_1 - t_2 = q\ln\frac{r_2}{r_1}\cdot\frac{1}{2\pi\lambda_1}$$

$$q = \frac{2\pi\lambda_2}{\ln\frac{r_3}{r_2}}(t_2 - t_3) \Rightarrow t_2 - t_3 = q\ln\frac{r_3}{r_2}\cdot\frac{1}{2\pi\lambda_2}$$

$$q = \frac{2\pi\lambda_3}{\ln\frac{r_4}{r_3}}(t_3 - t_4) \Rightarrow t_3 - t_4 = q\ln\frac{r_4}{r_3}\cdot\frac{1}{2\pi\lambda_3}$$

بالجمع

$$t_1 - t_4 = \frac{q}{2\pi}\left(\frac{1}{\lambda_1}\ln\frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2}\ln\frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{\lambda_3}\ln\frac{r_4}{r_3}\right)$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

$$q = \frac{2\pi (t_1 - t_4)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{r_4}{r_3}}$$

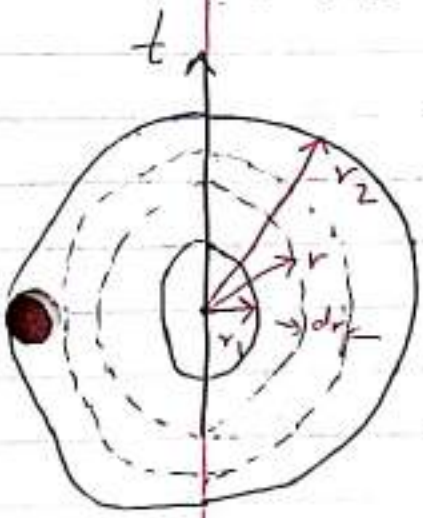
٣- التوصيل خلال الحائط الكروي :

لكن لدينا جسم كروي (كرة مفرغة)

نطرها الداخلي r_1 والخارجي r_2

تتغير درجة الحرارة فقط باتجاه نصف القطر

لندرس بشرحية المحدودة نصف القطر (r) والسماكة dr



حسب قانون فوريه :

$$q = -\lambda \frac{dt}{dr}$$

$$Q = -\lambda A \frac{dt}{dr}$$

$$Q = -\lambda \cdot 4\pi r^2 \frac{dt}{dr}$$

نفصل المتغيرات :

$$dt = -\frac{Q}{4\pi\lambda} \frac{dr}{r^2}$$

$\frac{1}{r^2} dr = -\frac{1}{r}$ تكامل

$$t = \frac{Q}{4\pi\lambda} \cdot \frac{1}{r} + C$$

نعوض الشروط الحدية :

$$r = r_1 \rightarrow t = t_1 \Rightarrow t_1 = \frac{Q}{4\pi\lambda} \frac{1}{r_1} + C$$

$$r = r_2 \Rightarrow t = t_2 \Rightarrow -t_2 = -\frac{Q}{4\pi\lambda} \frac{1}{r_2} + C$$

بالطرح

$$t_1 - t_2 = + \frac{Q}{4\pi\lambda} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

* مفاهيم أساسية:

[1] التدفئة:

هي رفع درجة حرارة الهواء المحيط بالانسان ليكون هو درجة حرارة مريحة
في التدفئة المركزية يتم تدفئة الهواء خارج المكان المراد تدفئته ثم
تنتقل الحرارة إليه بواسطة أنابيب أو مجاري هوائية
من أهم الجمعيات العلمية: الجمعية الأمريكية ASHRAE
- الانكليزية IHVA

[2] التهوية:

هي عملية ادخال الهواء الجديد وطرح الهواء الداخلي المدور ويختلف
عن التكييف بأن نظام تكييف الهواء قد يحوي على عملية تهوية
وقد لا يحوي (المراوح في المنزل لا تعتبر وسيلة تهوية)

[3] التكييف:

هو اصلاح الهواء من خلال التحكم بدرجة حرارته ورطوبته ونقاوته
وذلك بتسخينه أو تبريده أو ترطيبه أو ازالة الرطوبة منه بالاعتماد
على وسط مريح خال من الغبار.

[4] انتقال الحرارة:

هو كمية الحرارة المنتقلة عبر سطوح التبادل الحراري خلال واحدة الزمن
تعرف كمية الحرارة المنتقلة بشكل عام:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta t$$

Q: كمية الحرارة المنتقلة
U: معامل انتقال الحرارة الاجمالي
A: مساحة سطح التبادل الحراري
Δt: فرق درجات الحرارة بين السطحين

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

[٥] العوامل التي تؤثر على الانتقال الحراري:

١- مقدار الفرق في درجات الحرارة بين الوسطين.
٢- حالة السطح الذي تنتقل منه خلال الحرارة
٣- نوعية المادة التي تنتقل من خلالها الحرارة (غازية أم سائلة)

* مسائل:

١. احسب كمية الحرارة التي تنتقل عبر جدار آجري سماكته 40 [cm] وارتفاعه 4 [m] وطوله 5 [m]، إذا علمت أن درجة حرارة السطح الجدار $t_1 = 20$ [°C] أما درجة حرارة سطحه الخارجي $t_2 = 0$ [°C] ومعامل التوصيل الحراري للآجر 1 [W/m°C] ؟

الحل:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} A \cdot (t_1 - t_2)$$

$$= \frac{1}{0,4} (4 \times 5)(20 - 0)$$

$$Q = 1000 \text{ [W]}$$

---

٢. نألف جدار مركب من طبقتين الأولى من الآجر سماكتها $\delta_a = 5$ [cm] ومعامل التوصيل الحراري $\lambda_a = 1,16$ [W/m°C] والطبقة الثانية آجر بناء سماكتها $\delta_b = 25$ [cm] ومعامل التوصيل الحراري $\lambda_b = 0,58$ [W/m°C] والمطلوب:

أ) احسب كمية الحرارة المنتقلة عبر الجدار إذا علمت أن $A = 1$ [m²]

ب) درجة الحرارة على حدود التماس بين الطبقتين إذا علمت أن درجة حرارة السطح الداخلي $t_1 = 1760$ [°F] والخارجي $t_3 = 104$ [°F]

ج) هل تتغير درجة الحرارة عبر الجدار مع الزمن؟

الحل:

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

$A = 1$ [m²]

$$Q = \frac{t_1 - t_3}{\left(\frac{\delta_a}{\lambda_a} + \frac{\delta_b}{\lambda_b}\right)} \cdot A \quad (1)$$

$$Q = \frac{1260 - 108}{\frac{0.5}{1.16} + \frac{0.25}{0.58}} \times 1$$

$$Q = 1336 \text{ [W]}$$

من العلاقة الأولى ... $Q = \frac{\lambda_a}{\delta_a} \cdot A (t_1 - t_2)$ ... (2)

$$1336 = \frac{1.16}{0.5} \cdot 1 (1260 - t_2)$$

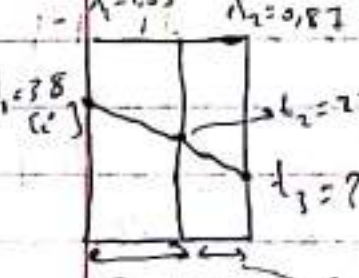
$$\Rightarrow t_2 = 684 \text{ [°C]}$$

---

[3] جدار مؤلف من مادة بسماكة 5 [cm] ومعامل انتقال الحرارة بالتوصيل 1.05 [W/m°C] ومن مادة ثانية بسماكة 3 [cm] ومعامل انتقال الحرارة بالتوصيل 0.87 [W/m°C]

درجة حرارة السطح الداخلي $t_1 = 38$ [°C] والسطح المشترك $t_2 = 27$ [°C]

احسب درجة حرارة السطح الخارجي $t_3 = ?$



الحل

$$q_1 = q_2$$

$$\frac{\lambda_1}{\delta_1}(t_1 - t_2) = \frac{\lambda_2}{\delta_2}(t_2 - t_3)$$

$$\frac{1.05}{0.05}(38 - 27) = \frac{0.87}{0.03}(27 - t_3)$$

$$t_3 = 19 \text{ [°C]}$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

* انتقال الحرارة من وسط إلى آخر عبر جدار بسيط:

مثل انتقال الحرارة من المياه الساخنة خلف المشعات إلى الهواء في المكان المحيط.

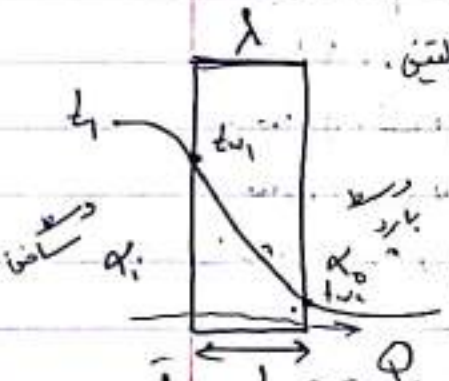
* جدار مسامي التوصيل الحراري له (λ) وسماكته (L) يفصل بين وسطين ساخن وبارد

معامل انتقال الحرارة بالحمل من الوسط الساخن إلى الجدار α_i [W/m².c]

α_o [W/m².c] ... الجدار إلى الوسط البارد

درجة حرارة المنطقة t_1 و t_2 ثابتين

درجتي حرارة على سطحي الجدار t_{w_1} و t_{w_2} مجهولتين.



- كمية الحرارة المنتقلة من الوسط الساخن إلى الجدار بالحمل:

$$Q = \alpha_i A (t_1 - t_{w_1})$$

- كمية الحرارة المنتقلة عبر الجدار (توصيل):

$$Q = \frac{\lambda}{L} A \cdot (t_{w_1} - t_{w_2})$$

- كمية الحرارة المنتقلة من الجدار إلى الوسط البارد (حمل):

$$Q = \alpha_o A (t_{w_2} - t_2)$$

كمية الحرارة المنتقلة في جميع الحالات ثابتة Q

$$\left.\begin{aligned} t_1 - t_{w_1} &= \frac{Q}{\alpha_i A} \\ t_{w_1} - t_{w_2} &= \frac{Q \cdot L}{\lambda \cdot A} \\ t_{w_2} - t_2 &= \frac{Q}{\alpha_o A} \end{aligned}\right\} \xrightarrow{\text{بالجمع}} t_1 - t_2 = \frac{Q}{A}\left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}\right)$$

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}} \cdot A$$

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta t$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}} \quad [W/m^2.c]$$

$R = \frac{1}{U}$ يسمى مقلوب U بالمقاومة الحرارية

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

+ اذا كان الجدار مركب من عدة طبقات على التوالي

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}}$$

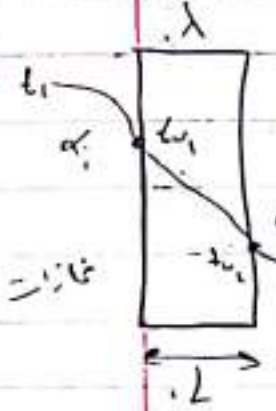
* مسألة 1

احسب كمية الحرارة المنتقلة من الغازات إلى الهواء عبر جدار من الآجر سماكته 25[cm] وأبعاده (3×4 m) اذا علمت أن:

- معامل التوصيل الحراري للآجر $\lambda = 0,81 [W/m°C]$
- معامل انتقال الحرارة من الغازات إلى الجدار $\alpha_i = 23,6 [W/m^2°C]$
- معامل انتقال الحرارة من الجدار إلى الهواء $\alpha_o = 9,3 [W/m^2°C]$

وأوجد درجتي حرارة السطحين الداخلي والخارجي للجدار؟

الحل



$t_1 = 330 [°C]$ ①

$t_2 = 30 [°C]$

$Q = ?$

$L = 25.10^{-2} [m]$

$A = 3 \times 4 = 12 [m^2]$

$\lambda = 0,81 [W/m°C]$

$\alpha_i = 23,6 [W/m^2°C]$ $\alpha_o = 9,3 [W/m^2°C]$

$$Q = U . A . \Delta t$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}} . A . (t_1 - t_2)$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{23,6} + \frac{0,25}{0,81} + \frac{1}{9,3}} . 12 . (330 - 30)$$

$$Q = 7860 [W]$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

$$Q = \alpha_1 \cdot A \cdot (t_1 - t_{w_1}) \qquad (2)$$

$$7848 = 23,6 \cdot 12 (330 - t_{w_1})$$

$$t_{w_1} = 302 \ [^\circ C]$$

$$Q = \alpha_2 \cdot A \cdot (t_{w_2} - t_2)$$

$$7848 = 9,3 \cdot 12 \cdot (t_{w_2} - 30)$$

$$t_{w_2} = 99 \ [^\circ C]$$

---

* مسألة: (10)

صفيحة مرجل مربعة طول ضلعها $[m]$ 1,5 سماكتها $[m]$ $15 \cdot 10^{-3}$ درجة الحرارة الخارجية $t_0 = 21 \ [^\circ C]$ ودرجة الحرارة الداخلية $t_i = 93 \ [^\circ C]$

احسب كمية الحرارة من ذلك الصفيحة علماً أن معامل انتقال الحرارة بالتوصيل $\lambda = 35 \ [W/m^\circ C]$ ومقاومة السطح الداخلي $R_i = 0,123 \ [m^2 \cdot ^\circ C/W]$

و " " الخارجي $R_o = 0,05 \ [m^2 \cdot ^\circ C/W]$ ؟ (11)

الحل:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta t$$

$$= \frac{1}{R_i + \frac{L}{\lambda} + R_o} \cdot A \cdot (t_i - t_o)$$

$$= \frac{1}{0,123 + \frac{15 \cdot 10^{-3}}{35} + 0,05} \cdot (1,5)^2 \cdot (93,21)$$

$$Q = 923,4 \ [W]$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

* مسألة :

احسب كمية الحرارة المنتقلة عبر جدار مركب لا مساحته $1[m^2]$ وسماكته $l_1 = 10.10^{-3}[m]$ ومعامل توصيله الحراري $\lambda_1 = 50\ [W/m°C]$ ويعرض وجهه طبقة من هباب الفحم سماكتها $l_2 = 2.10^{-3}[m]$ ومعامل توصيله الحراري $\lambda_2 = 0,09\ [W/m°C]$.

درجة حرارة الغازات $t_1 = 1127[°C]$

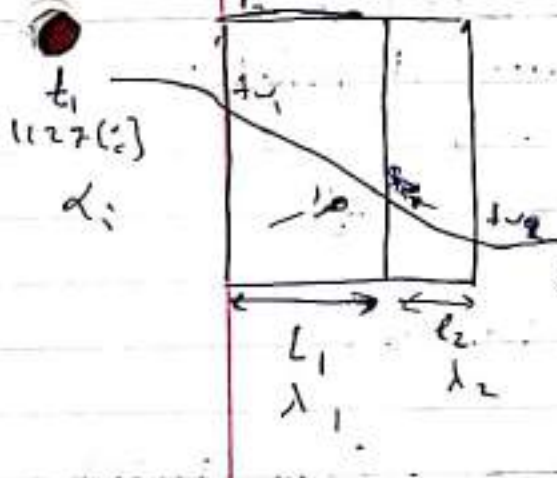
درجة حرارة مياه الساقية $t_2 = 100\ [°C]$

ومعامل انتقال الحرارة بالحمل بين الغازات والجدار $\alpha_1 = 100\ [W/m^2°C]$

ومعامل الحمل بين الجدار ومياه الساقية $\alpha_0 = 5000\ [W/m^2°C]$

احسب درجة حرارة السطوح ؟

الحل



$$Q = U \cdot A \cdot \Delta t = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_0}} \cdot A \cdot (t_1 - t_2)$$

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{10.10^{-3}}{50} + \frac{2.10^{-3}}{0,09} + \frac{1}{5000}} \cdot 1 \cdot (1127 - 100)$$

$$Q = 31528\ [W]$$

~~$Q = 30,71.10^3[W]$~~

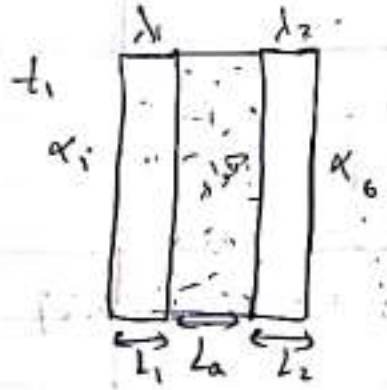
$$Q = \alpha_1 \cdot A \cdot (t_1 - t_{v_1}) \Rightarrow t_{v_1} = 818\ [°C]$$

$$Q = \alpha_0 \cdot A \cdot (t_{v_2} - t_2) \Rightarrow t_{v_2} = 106\ [°C]$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

* حالة جدار مستو مؤلف من عدة طبقات بينها فراغ هوائي



$$Q = U \cdot A \cdot \Delta t$$

$$Q = U \cdot A \cdot (t_1 - t_2)$$

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_a}{\lambda_a} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_6}} \cdot A \cdot (t_1 - t_2)$$

$$Q = \frac{1}{R_1 + R_1 + R_a + R_2 + R_6} \cdot A \cdot (t_1 - t_2)$$

R_1 المقاومة الحرارية السطح الساخن
R_1 المقاومة الحرارية للطبقة الأولى من الجدار
R_a الفراغ الهوائي
R_2 الثالثة من الجدار
R_6 السطح البارد

* مسألة:

جدار مؤلف من الطبقات الآتية من الشكل التالي وهي بالترتيب من الداخل إلى الخارج

طبقة من الجبس (2cm) - بلوك (15cm) - هواء (70mm) - بلوك (20cm) - طبقة من الجبس (2cm) - رخام (3cm)، مساحة الجدار $150\ [m^2]$

أوجد كمية الحرارة المنتقلة من الداخل إلى الخارج إذا كانت:

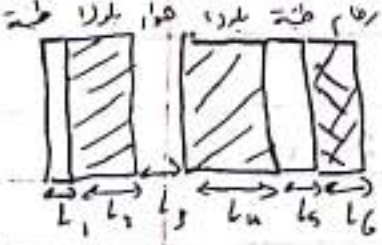
$t_1 = 25\ [°C]$ و $t_6 = 5\ [°C]$ ومعاملات انتقال الحرارة:

طبقة الجبس $\lambda_1 = 1\ [W/m°C]$، بلوك $\lambda_2 = 0{,}7\ [W/m°C]$، رخام $\lambda_3 = 2{,}5\ [W/m°C]$

المقاومة الحرارية لطبقة الهواء $R_a = 0{,}18\ [m^2°C/W]$

للجدار الداخلي $R_1 = 0{,}123\ [m^2°C/W]$

للجدار الخارجي $R_6 = 0{,}03\ [m^2°C/W]$



$$Q = U \cdot A \cdot \Delta t$$

$$Q = \frac{1}{R_1 + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + R_3 + \frac{L_4}{\lambda_2} + \frac{L_5}{\lambda_1} + \frac{L_6}{\lambda_3} + R_6} \cdot A \cdot (t_1 - t_6)$$

$A = 150\ (m^2)$

$$Q = \frac{1}{0{,}123 + \frac{2 \cdot 10^{-2}}{1} + \frac{0{,}15}{0{,}7} + 0{,}18 + \frac{0{,}20}{0{,}7} + \frac{4 \cdot 10^{-2}}{1} + \frac{0{,}03}{2{,}5} + 0{,}03} \cdot 150 \cdot (25-5)$$

$U = 1{,}314$

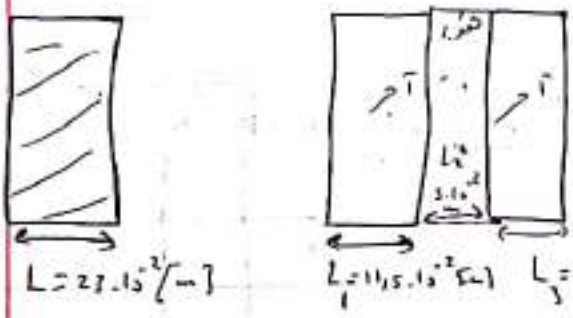
$Q = 3942\ (W)$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

★ مسألة :

احسب وقارن معامل الانتقال الحراري الكلي لجدارين الأول سماكته $L_1 = 23$ [cm] والجدار الثاني مصنوع من الآجر أيضاً مع فراغ هوائي عرضه 5 [cm] سماكة الآجر من كل طرف $L_2 = L_3 = 11,5$ [cm] ومقاومة السطح الداخلي للجدار $R_i = 0,123$ [$m^2 \cdot ^\circ C/W$] ومقاومة السطح الخارجي $R_o = 0,05$ [$m^2 \cdot ^\circ C/W$] ومقاومة الفراغ الهوائي $R_a = 0,176$ [$m^2 \cdot ^\circ C/W$] معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للآجر $\lambda = 1,16$ [$W/m \cdot ^\circ C$]



$R_i = 0,123$; $R_o = 0,05$ [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

$R_a = 0,176$ [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

$\lambda = 1,16$ [$W/m \cdot ^\circ C$]

$$U_{\text{للجدار بدون فراغ}} = \frac{1}{R_i + \frac{L}{\lambda} + R_o} = \frac{1}{0,123 + \frac{23 \times 10^{-2}}{1,16} + 0,05} = 2,69 \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

$$U_{\text{للجدار مع الفراغ}} = \frac{1}{R_i + \frac{L_1}{\lambda} + R_a + \frac{L_2}{\lambda} + R_o} = \frac{1}{0,123 + \frac{11,5 \cdot 10^{-2}}{1,16} + 0,176 + \frac{11,5 \cdot 10^{-2}}{1,16} + 0,05} = 1,85 \quad [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

★ نسبة التوفير الضائع الحراري :

$$\frac{U_1 - U_2}{U_1} \times 100\% = \frac{2,69 - 1,85}{2,69} \times 100 = 32\%$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

مسألة 1

احسب وقارن قيم معامل انتقال الحرارة الكلي للجدارين التاليين:

1. جدار من الكونكريت $\delta_1 = 25 \cdot 10^{-2}$ [م]
2. نفس الجدار من الكونكريت مع طبقة عازلة $\delta_2 = 8 \cdot 10^{-2}$ [م]

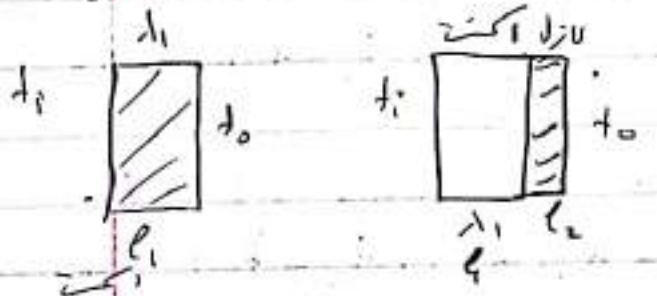
فرق درجات الحرارة بين طرفي الجدار $\Delta t = 20$ [°C]

مقاومة السطح الداخلي للجدار $R_i = 0{,}123$ [م²·°C/W]

مقاومة السطح الخارجي للجدار $R_o = 0{,}05$ [م²·°C/W]

$\lambda_{\text{للكونكريت}} = 1{,}45$ [W/m·°C] $\quad \lambda_{\text{للعازل}} = 0{,}14$ [W/m·°C]

الحل



$$U_1 = \frac{1}{R_i + \frac{\delta_1}{\lambda_{\text{كونكريت}}} + R_o} = \frac{1}{0{,}123 + \frac{0{,}25}{1{,}45} + 0{,}05} = 2{,}9 \ [W/m^2 \cdot °C]$$

$$U_2 = \frac{1}{R_i + \frac{\delta_1}{\lambda_{\text{كونكريت}}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{\text{عازل}}} + R_o} = \frac{1}{0{,}123 + \frac{0{,}25}{1{,}45} + \frac{0{,}08}{0{,}14} + 0{,}05} = 1{,}09 \ [W/m^2 \cdot °C]$$

نسبة التوفير بالضياع الحراري $= \frac{U_1 - U_2}{U_1} \times 100\% = \frac{2{,}9 - 1{,}09}{2{,}9} \times 100 = 62\%$

بدون عازل: $q_1 = U_1 \cdot \Delta t = 2{,}9 \cdot (20) = 58 \ [W/m^2]$

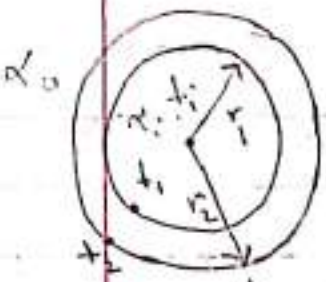
مع العازل: $q_2 = U_2 \cdot \Delta t = 1{,}09 \cdot 20 = 21{,}8 \ [W/m^2]$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

* الشد الحراري من الأنابيب :

(كمية الحرارة المنتقلة عبر جدار أنبوب سمك قطره الداخلي r_1 والخارجي r_2 ...



- كمية الحرارة المنتقلة بالحمل من الوسط الداخلي إلى السطح الداخلي للأنبوب :

$$Q = \alpha_i \cdot A_i \cdot (t_i - t_1)$$

$$Q = \alpha_i \cdot 2\pi r_1 \cdot l (t_i - t_1) \quad \text{---} (1)$$

- كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل عبر جدار الأنبوب :

$$Q = \frac{2\pi L \lambda}{\ln \frac{r_2}{r_1}} (t_1 - t_2) \quad \text{---} (2)$$

- كمية الحرارة المنتقلة بالحمل من الجدار الخارجي إلى الوسط الخارجي للأنبوب :

$$Q = \alpha_0 \cdot A_0 \cdot (t_2 - t_0)$$

$$Q = \alpha_0 \cdot 2\pi L \cdot r_2 (t_2 - t_0) \quad \text{---} (3)$$

$\Leftarrow$

من (1) :

$$t_i - t_1 = \frac{Q}{\alpha_i \cdot 2\pi r_1 \cdot l}$$

من (2) :

$$t_1 - t_2 = \frac{Q \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L \lambda}$$

من (3) :

$$t_2 - t_0 = \frac{Q}{\alpha_0 \cdot 2\pi r_2 \cdot l}$$

بجمع المعادلات :

$$t_i - t_0 = \frac{Q}{2\pi l} \left(\frac{1}{\alpha_i r_1} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0 r_2} \right)$$

$\Leftarrow$ كمية الحرارة المنتقلة بجدار أنبوب بسيط

$$\boxed{Q = \frac{2\pi l \cdot (t_i - t_0)}{\frac{1}{\alpha_i r_1} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0 r_2}}}$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

الاختصاص:

$1\,[inch] = 2,54\,[cm] = 0,0254\,[m]$

$$Q = 2\pi l \cdot U_i \cdot (t_i - t_0) \Leftarrow$$

حيث:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i r_1} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0 r_2}} \quad [W/m^2 c]$$

$$\boxed{Q = \frac{2\pi l \cdot (t_i - t_0)}{\frac{1}{\alpha_i r_1} + \sum \frac{\ln \frac{r_{n+1}}{r_n}}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0 r_0}}}$$

كمية الحرارة المنتقلة لجدار أنبوب مركب ،

* مسألة:

أوجد الفقد الحراري من أنبوب من الحديد مغلف بعازل من الصوف الزجاجي لنقل بخار ماء مشبع جاف قطر الأنبوب الخارجي 1 [inch] وسماكته 4 [mm] وسماكة العازل 2 [cm] ، طول الأنبوب $L = 120\,[m]$

درجة حرارة الوسط داخل الأنبوب 80 ، والخارجية 25 [°c]

معامل التوصيل الحراري للحديد 46 [W/m°c] ومعامل التوصيل الحراري للصوف الزجاجي 0,035 [W/m°c]

باهمال المقاومة الحرارية للحمل بين السطحين الداخلي والخارجي ؟

الحل:

$Q = ?$

~~$r_2 = 1[inch] = 25,4[cm]$ ، الأنبوب~~

~~$T_0 = 25 + 273 = 298\,K$~~

الأنبوب $r_2 = 1\,[inch] = 1 \cdot 2,54\,[cm] = 7,54 \cdot 10^{-2} = 0,0254\,[m]$

طول الأنبوب $L = 120\,[m]$ ، سماكة العازل $r_2 = 2 \cdot 10^{-2}\,[m]$ ، سماكة الأنبوب $r_1 = 4 \cdot 10^{-3}\,[m]$

$t_i = 80\,[°c]$ ، $t_0 = 25\,[°c]$

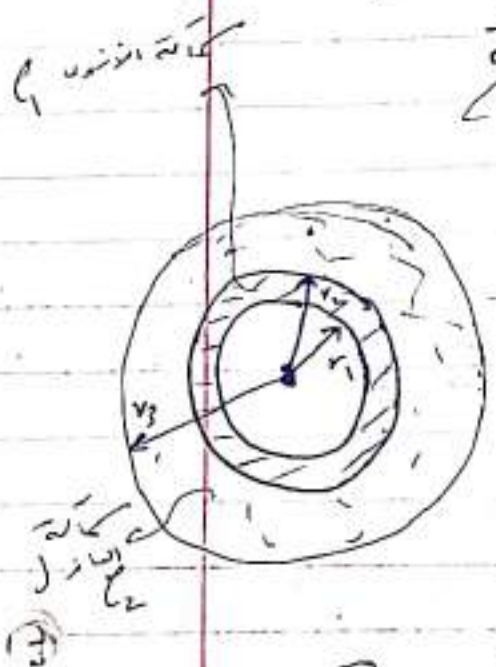
$\lambda_{الحديد} = 46$ ، $\lambda_{العازل} = 0,035\,[W/m°c]$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

$$Q = 2\pi L \cdot U \cdot (t_i - t_o)$$

$$Q = \frac{2\pi \ell (t_i - t_o)}{\frac{1}{\alpha_i r_1} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\lambda_1} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_o r_2}}$$



$$r_2 = 0,025\,4 \text{ [m]}$$

$$r_1 = r_2 - \ell_1 = 0,025\,4 - 0,004$$

$$r_1 = 0,021\,4 \text{ [m]}$$

$$r_3 = r_2 + \ell_2 = 0,025\,4 + 0,02$$

$$r_3 = 0,045\,4 \text{ [m]}$$

نعوض

$$Q = \frac{2\pi \cdot 120 \cdot (80 - 25)}{\frac{\ln \frac{0,025\,4}{0,021\,4}}{46} + \frac{\ln \frac{0,045\,4}{0,025\,4}}{0,035}}$$

$Q_{\text{عازل}} =$ [W]

طلب اضافي:

اوجد الفقد الحراري في حال عدم وجود العازل واحسب النسبة المئوية لمقدار التوفير في الطاقة الحرارية التي سيوفرها العازل؟

$$Q_{\text{بدون عازل}} = \frac{2\pi \ell (t_i - t_o)}{\frac{1}{\alpha_i r_1} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\lambda_{\text{الفولاذ}}} + \frac{1}{\alpha_o r_2}}$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

الاختصاص:

$$Q_{\text{بدون عازل}} = \frac{2\pi \cdot 120 \cdot (80-25)}{\frac{\ln \frac{0,0254}{0,0214}}{46}}$$

$$Q_{\text{بوجود عازل}} = \quad [W]$$

النسبة المئوية من التوفير

$$\frac{Q_{\text{بدون عازل}} - Q_{\text{بوجود عازل}}}{Q_{\text{بدون عازل}}} \times 100 = \quad - \quad \times 100$$

$$= \quad \%$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

* الفقد الحراري من الأبنية *

Heat Losses from Buildings

في الأحوال الجوية الباردة يجب المحافظة على درجة حرارة مناسبة للهواء المحيط بالإنسان، وذلك لتأمين التوازن بين كمية الحرارة التي يولدها جسم الانسان وكمية الحرارة المفقودة منه.

من هنا تكمن أهمية المنع الحراري حيث العزلة الذي يقوم بتعويض كمية الحرارة المفقودة من داخل العزلة إلى الجو الخارجي وبالتالي المحافظة على درجة الحرارة الداخلية المطلوبة.

* الحرارة المفقودة من البناء:

تحسب الحرارة المفقودة من البناء وذلك من أجل تحديد أجهزة التدفئة اللازمة بصورة مقبولة وتعادل هذه الحرارة إلى مجموع الضياعات الحرارية من (الجدران والأسقف والأرضيات والنوافذ والأبواب والضياعات الناتجة عن تسرب الهواء الخارجي البارد إلى داخل المكان المدفأ)، ولتوجيه الجدران وسرعة الرياح تأثير على كمية الحرارة الضائعة.

يتم انتقال الحرارة عبر العزلة بالحمل والاشعاع إلى السطوح الداخلية وداخل الجدران والأسقف بالتوصيل ومن ثم بالحمل وبالاشعاع من السطوح الخارجية إلى الهواء الخارجي.

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

* معامل انتقال الحرارة بالحمل وبالإشعاع للسطوح الداخلية والخارجية α_i, α_o

تتوقف قيمة هذا المعامل على طبيعة السطح وعلى سرعة الرياح والتأثير على هذا السطح وبصورة عامة كلما كان السطح أخشن كلما كان المعامل أكبر كما أن قيمة المعامل (α) تزداد بزيادة سرعة الرياح.

- بين الجدول التالي قيم ($R_i = \frac{1}{\alpha_i}$) للسطوح الداخلية /مرجع IHVE/

مقاومة السطوح الداخلية $R_i = \frac{1}{\alpha_i}$ [m²°C/W]			
نوع عنصر البناء	اتجاه التدفق الحراري	المقاومة	
		$\varepsilon = 0,9$	$\varepsilon = 0,05$
جدار	أفقي	0,123	0,309
سقف أو أرضية	نحو الأعلى	0,106	0,518
سقف أو أرضية	نحو الأسفل	0,150	0,562

- بين الجدول التالي قيم ($R_o = \frac{1}{\alpha_o}$) للسطوح الخارجية مرجع /IHVE/

مقاومة السطوح الخارجية $R_o = \frac{1}{\alpha_o}$ [m²°C/W]				
نوع عنصر البناء	ε	المقاومة		
		غير ملوث	عادي	ملوث
جدار	0,9	0,08	0,055	0,03
جدار	0,05	0,11	0,067	0,03
سقف	0,9	0,07	0,045	0,02
سقف	0,05	0,09	0,053	0,02

- أما الجدول التالي يبين مقاومة الفراغ الهوائي حسب سماكة الفراغ: R_a

مقاومة الفراغ الهوائي R_a [m²°C/W]		ε	سماكة الفراغ الهوائي
تدفق الحرارة نحو الأعلى	تدفق الحرارة نحو الأسفل		
0,11	0,11	0,9	5 [mm]
0,18	0,18	0,05	
0,18	0,21	0,9	20 [mm]
0,35	0,106	0,05	

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

- معامل انتقال الحرارة بالتوصيل λ :

تعريف: معامل انتقال الحرارة بالتوصيل λ هو كمية الحرارة المنتقلة خلال وحدة السمك وكذلك وحدة المساحة وبدرجة حرارة واحدة.

- يبين الجدول التالي قيم بعض المواد المستخدمة في البناء:

قيم معامل انتقال الحرارة بالتوصيل لمواد البناء ($W/m.^\circ C$)			
المواد	λ	المواد	λ
الخشب	0,13 - 0,96	بلوكاج	1,8
بلوك	0,17 - 1	بلاط	1,6
حجر	1	طينة الخشب	1
آجر + رمانات	0,75	بيتون رملي	0,4
ستريوسور	0,049	رمل خفاف	0,3
البولستيان	0,021	بورسلان	1,5
خشب	0,17	اسفلت	1,2
سيراميك	1,5	فلين	0,56
رخام	2,5	بازلت	2,8
صوف زجاجي	0,035	حديد طري	46
زجاج	0,8	ألمنيوم	204
هواء	0,026	نحاس	384

- أما بالنسبة للأبواب والنوافذ تتطلب الجداول قيم معامل انتقال الحرارة حسب نوعها.

طراز الباب	نوع الباب	معامل الانتقال الحراري الكلي K
باب خارجي	معدني	6,4
باب خارجي	خشبي سماكة 5 [cm]	2,4
باب خارجي	2 زجاج بسيط	4,6
باب [illegible]	2 زجاج مزدوج	2,8
باب داخلي	خشب كثافة سماكة [cm] 4	1,2
باب داخلي	خشب كثافة مزدوج	1,7

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

طراز النافذة	معامل انتقال الحرارة			الكلي $W/m^2 K$	
	النوافذ الخارجية		النوافذ الداخلية		
	فضية	فولاذية	المنيوم	خشبية	فولاذية
زجاج عادي	5.8	6.4	7.1	3.5	4.3
زجاج مزدوج	3	3.7	4.1	2.4	3.1

الفقد الحراري (الضياع الحراري) Heat losses:

أ) الضياع الحراري من جميع عناصر المكان

ب) الضياع الحراري من تسرب الهواء البارد الخارجي إلى المكان الداخلي المدفأ:

P. حساب حجم الهواء المتسرب إلى المكان الداخلي المدفأ.

ب. الضياع الحراري الناتج عن كمية الحرارة اللازمة لتدفئة هذا الهواء المتسرب.

[P] حجم الهواء المتسرب إلى المكان الداخلي المدفأ:

- العوامل التي تؤثر في حجم الهواء المتسرب:

① - المساحة في الضغط بين الوسط الداخلي والخارجي.

② - عدم الإحكام في النوافذ والأبواب الخارجية.

③ - سرعة واتجاه الرياح.

* لحساب الحجم الداخل إلى المكان ⇐

~~(illegible)~~

$$\dot{V} = \frac{V \cdot n}{3600} \quad [m^3/s]$$

$\dot{V}$: حجم الهواء الخارجي المتسرب إلى الوسط الداخلي $[m^3/s]$

V : حجم المكان المتسرب إليه الهواء $[m^3]$

n : عدد مرات تبديل الهواء للمكان في الساعة وذلك اعتماداً على مواصفات المزنة.

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

$$Q_V = \rho_a \cdot C_a \cdot V \cdot (t_i - t_o) \quad [W]$$

$$Q_V = \rho_a \cdot C_a \cdot \frac{V \cdot n}{3600} \cdot (t_i - t_o)$$

ρ_a ← كثافة الهواء $1{,}2$ [kg/m³]

C_a ← السعة الحرارية النوعية للهواء $1{,}027$ [kJ/kg·K]

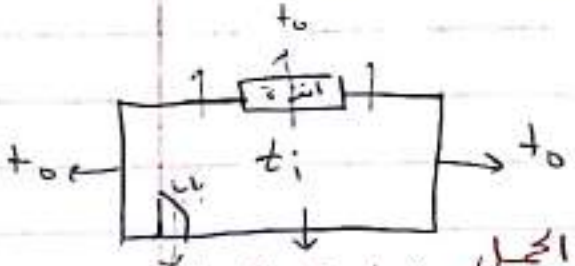
Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

س- كيف يحصل الضياع الحراري للغرفة ؟

١- من جميع عناصر الغرفة (سقف ، أرضا ، أبواب ، نوافذ ، جدران) .

٢- تسرب الهواء البارد من الخارج إلى الداخل عبر الشقوق :



س- ماهي الخطوات المتبعة لحساب الحمل الحراري ؟

١- اختيار درجة حرارة الهواء الخارجية (t_o) واتجاه وسرعة الرياح .

٢- اختيار درجة حرارة الهواء الداخلية (t_i) لكل غرفة من البناء .

٣- حساب أو تقدير درجة الحرارة الغير معلومة .

٤- اختيار أو حساب معامل انتقال الحرارة الكلي (U) لجميع السطوح المتبادل الحراري

$U = \frac{1}{R_i + \Sigma R_w + R_o}$ [$\frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C}$] حيث نوع الجدار مستوي أو اسطواني ، ...

٥- حساب مساحة السطوح التي يتم من خلالها التبادل الحراري مثل :

(الجدران ، النوافذ ، الأبواب ، السقف ، ...) تؤخذ الأبعاد من المخططات المعمارية

٦- حساب كمية الضياع الحراري من جميع السطوح وحسب المعادلة :

$Q = U \cdot A \cdot \Delta t$ [W] (جداري مستو)

٧- حساب الضياع الحراري من أرضيات القبو إن وجد .

٨- حساب الضياع الحراري الناتج عن تدفئة الهواء المتسرب من خارج الغرفة إلى داخلها عن طريق الشقوق والنوافذ والأبواب .

٩- جمع جميع النواتج السابقة الواردة في ① و ② و ③ للحصول على الحمل الحراري الكلي Q .

١٠- تؤخذ بعين الاعتبار العوامل التالية لحساب الضياع الحراري الإضافي

$$Q_+ = Q \left(1 + \frac{P_+}{100} + \frac{P_3}{100} \right)$$

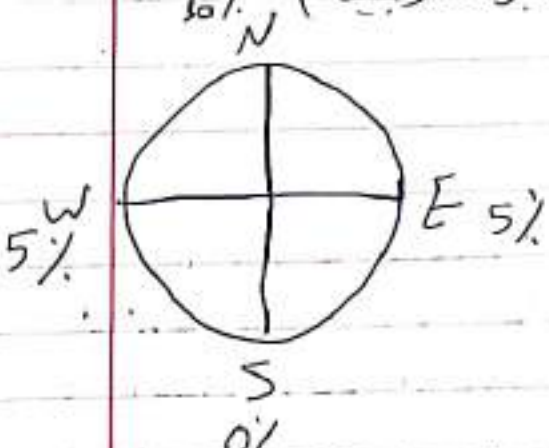
Q_+ : الضياع الحراري الأساسي / P_2 عامل أمان يؤخذ 10٪

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

$$P_S = P_{S_1} + P_{S_2}$$

P_{S_1} : عامل الإضافة الناتج عن توجيه المنفر (يأخذ بعين الاعتبار تأثير الأسنة المجسمة كالحواجز الخارجية)



P_{S_2} : عامل الإضافة الناتج عن ارتفاع الكاسفة وتوضع على الجدار الشاقولي

الارتفاع على سطح الأرض (م)	4,5	5,4	6,3	7,2	8,1	9	10	12
عامل الإضافة %	1,5	2	2,5	3	3,5	5	7,5	12,5

يحسب P_{S_2} للارتفاعات التي تقل عن (9) متر.

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

* العوامل التي تؤثر في اختيار درجة الحرارة التصميمية الخارجية :

1) السعة الحرارية للبناء : كلما كانت سماكة الجدار أقل كلما كانت السعة الحرارية أقل ولكن صحيح

2) عزل البناء : كلما كان البناء أكثر عزلاً

3) وقت استخدام دارة التدفئة في البناء : عندما يكون استخدام البناء لساعات أقل.

المكان الذي نختار درجة الحرارة التصميمية أقل ما نمكن

(في يوم) أثناء اختيار درجة الحرارة الخارجية نختار الأصغر ما يمكن

4) عدد الأشخاص الموجودين في المكان المدروس :

كلما كان عدد الأشخاص أكبر كلما كانت درجة الحرارة الخارجية التصميمية أكبر والعكس صحيح

5) مساحة النوافذ : كلما كانت مساحة النوافذ أكبر في المكان كلما اخترنا درجة حرارة تصميمية خارجية أقل والعكس صحيح

* العوامل المؤثرة في اختيار درجة الحرارة التصميمية الداخلية :

1) نوعية الأشخاص

2) عمر الأشخاص :

كلما كان عمر الأشخاص أكبر كلما كانت درجة الحرارة الداخلية أكبر والعكس صحيح

3) الحركة في المكان :

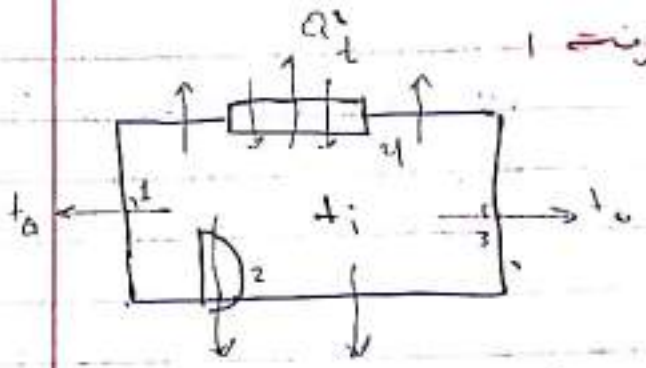
كلما كانت حركة الأشخاص أكثر كلما كانت درجة الحرارة الداخلية أقل.

4) عدد الأشخاص :

كلما كان عدد الأشخاص أكبر كلما كانت درجة الحرارة الداخلية أقل.

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner



الحمل الحراري للغرفة :

① جدار $Q_1 = U_1 . A_1 . (t_i - t_o)$

② جدار $Q_2 = U_2 . A_2 . (t_i - t_o)$

للباب $Q_d = U_d . A_d . (t_i - t_o)$

③ جدار $Q_3 = U_3 . A_3 . (t_i - t_o)$

④ جدار $Q_4 = U_4 . A_4 . (t_i - t_o)$

للنوافذ $Q_g = U_g . A_g . (t_i - t_o)$

للسقف $Q_c = U_c . A_c . (t_i - t_o)$

للأرضية $Q_f = U_f . A_f . (t_i - t_o)$

للقبو (اسوص) $Q = U_g . A_g . (t_{\text{القبو}} - t_i)$

$$Q_{tot} = \Sigma Q$$

الحمل الحراري الداخلي $Q_i = Q_L + Q_V$

الكامن — تشبع الهواء

↓

الحمل الحراري الناتج عن تشبع الهواء

الكائنات الحية والنباتات والأجهزة الكهربية

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

* الصيانة الحرارية (العزل الحراري): انتقال الحرارة يتم من الوسط الداخلي الغير صحي إلى الوسط الخارجي (الهواء)

* الربح الحراري: انتقال الحرارة يتم من الوسط الخارجي الحار إلى الوسط الداخلي البارد

* حالة: الداخلي الغير المدعم

حساب حراري

حالة أبعادها (15m ، 15m ، 3,5m) وارتفاعها 3,5 (m) معرضة للجو الخارجي من جميع الجدران ما عدا السقف، مساحة النوافذ الموجودة في الجدران (15m²) مثالث الجدران من البيتون سمك (15cm) وطبقة خارجية سمك (1cm) مع عازل حراري من الداخل سمك (5cm) من مادة الستيروبور، أرضية الصالة موضوعة على الأرض درجة حرارتها [5°C] يراد تدفئة الصالة بواسطة مدفأة من الفيوت مازوت كانت درجة حرارة الصالة [20°C] ودرجة الحرارة الخارجية [0°C] وكانت معادلات انتقال الحرارة:

الجدران:

بيتون [$\lambda_1 = 1,2$ [W/m°C]] ، الجدران: [$\lambda_2 = 1$ [W/m°C]] ، عازل [$\lambda_3 = 0,03$ [W/m°C]]

السقف: [$\alpha_0 = 12$ [W/m²°C]] ، [$\alpha_1 = 8$ [W/m²°C]]

السقف: معامل انتقال الحرارة الكلي [$U_{سقف} = 1,4$ [W/m²°C]]

النوافذ: [$U_{نوافذ} = 4,7$ [W/m²°C]]

الأرض: [$U_{أرض} = 1,6$ [W/m²°C]]

اعتبر تسرب الهواء معدل مرة واحدة من حجم الصالة، كثافة الهواء [$\rho_1 = 1,2$ [kg/m³]] ، [$C_p = 1,024$ [kJ/kg°C]]

والمطلوب:

1. احسب معامل انتقال الحرارة للجدران؟
2. الحمل الحراري الكلي للصالة؟
3. عدد مقاطع المشعات اللازم إذا كان المقطع الواحد يعطي [150W]

الحل:

(1) $t_1 = 20$ [°C] ، $t_2 = 0$ [°C]

$t = 5$ [°C]

صالة أبعادها (15m ، 15m ، 3,5m)

ارتفاعها 3,5 (m)

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

حساب معامل انتقال الحرارة الكلي

$$U_{\text{للجدران}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\Delta}{\lambda_{\text{جبس}}} + \frac{\Delta}{\lambda_{\text{بيتون}}} + \frac{\Delta}{\lambda_{\text{حجر}}} + \frac{1}{\alpha_o}}$$

$$U_{\text{للجدران}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,013}{0,03} + \frac{0,15}{1,2} + \frac{0,06}{1} + \frac{1}{18}}$$

$$\boxed{U_{\text{للجدران}} = 0,732 \left[W/m^2 K\right]}$$

$$U_{\text{كلي}} = U_{\text{للجدران}} + U_{\text{سقف}} + U_{\text{نوافذ}} + U_{\text{أرض}}$$

$$U_{\text{كلي}} = 0,732 + 1,8 + 6,7 + 1,6 = 10,832 \left[W/m^2 K\right]$$

(2) - حساب التحمل الحراري الكلي

$$A_{1\ \text{للجدران}} = A_{\text{الجدران}} - A_{\text{نوافذ}}$$

$$A_{1\ \text{للجدران}} = ((3,5 \times 10) + (3,5 \times 15) + (3,5 \times 10) + (3,5 \times 15)) - 15$$

$$= 3,5\,(10 + 15 + 10 + 15) - 15$$

$$A_{\text{للجدران}} = 175 - 15 = 160 \left[m^2\right]$$

$$A_{2\ \text{للنوافذ}} = 15 \left[m^2\right]$$

$$A_{3\ \text{للسقف}} = 10 \cdot 15 = 150 \left[m^2\right]$$

$$A_{4\ \text{للأرض}} = 10 \cdot 15 = 150 \left[m^2\right]$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

$$Q_{1\ \text{الجدران}} = U_{\text{للجدران}} \cdot A_{\text{للجدران}} \cdot (t_i - t_o)$$

$$= 0{,}732 \cdot 160 \cdot (20 - 0)$$

$$\boxed{Q_{1\ \text{الجدران}} = 2342{,}4\ [W]}$$

$$Q_{2\ \text{النوافذ}} = U_{\text{نوافذ}} \cdot A_{\text{نوافذ}} \cdot (t_i - t_o)$$

$$= 6{,}7 \cdot 15 \cdot (20 - 0)$$

$$\boxed{Q_{\text{نوافذ}} = 2010\ [W]}$$

$$Q_{3\ \text{السقف}} = U_{\text{سقف}} \cdot A_{\text{سقف}} \cdot (t_i - t_o)$$

$$= 1{,}8 \cdot 150 \cdot (20 - 0)$$

$$\boxed{Q_{3\ \text{السقف}} = 5400\ [W]}$$

$$Q_{\text{أرض}} = U_{\text{أرض}} \cdot A_{\text{أرض}} \cdot (t_i - t_{\text{للمستوع}})$$

$$= 1{,}6 \cdot 150 \cdot (20 - 5)$$

$$= 1{,}6 \cdot 150 \cdot 15$$

$$\boxed{Q_{\text{أرض}} = 3600\ [W]}$$

$$Q_V = \rho_a \cdot C_a \cdot \dot{V} \cdot (t_i - t_o) \quad ; \quad \dot{V} = \frac{V \cdot n}{3600} = \frac{15 \cdot 10 \cdot 3{,}5 \cdot 1}{3600}$$

$$Q_V = 1{,}2 \cdot 1026 \cdot \frac{(15 \cdot 10 \cdot 3{,}5) \cdot 1}{3600} \cdot (20 - 0) \quad ; \quad \dot{V} = \quad [m^3/s]$$

$$Q_V = 359{,}1\ [W]$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

$$Q_{\text{كلي}} = Q_{\text{جدران}} + Q_{\text{نوافذ}} + Q_{\text{سقف}} + Q_{\text{أرض}} + Q_{\text{تهوية}}$$

$$= 2342,4 + 2010 + 5900 + 3600 + 3591$$

$$Q_{\text{كلي}} = 16943,4 \text{ [w]}$$

$$\boxed{Q_{\text{كلي}} = 16,943 \text{ [kw]}}$$

(3) عدد المقاطع المستعملة للتدفئة في المقطع الواحد سيأخذ [w] 150 = 0,150 [kw]

$$\text{عدد المقاطع} = \frac{16,943}{0,150} = 112,9 \simeq 113 \text{ قطعة}$$

إذا كان كل قطعة تعطي [kw] 0,150
فإن 113 قطعة تعطي [kw] X

$$X = 16,95 \text{ [kw]} = 16950 \text{ [w]}$$

وهو الحمل الحراري الصحيح (الضياع الحراري)

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

ضياع + ربح حراري

* مسألة:

غرفة أبعادها 6 x 4 (m) وارتفاعها 3 (m)، درجة حرارتها الداخلية [°] 20 على جدار خارجي طوله 6 (m) مؤلف من طبقتين من الطوب بينهما فراغ هوائي سماكة كل طبقة 10 (cm)، عرض الفراغ الهوائي 5 (cm)، يحتوي هذا الجدار على نافذتين متماثلتين كل واحدة 2 x 2,5 (m²) أما بقية الجدران فهي داخلية سماكة 10 (cm) وفي الجدار أيضاً وبمواجهة هذه النافذة باب خشبي مثلث 2 x 1 (m²) موجود على الجدار الداخلي ذو الطول 6 (m) ودرجة الحرارة المحيطة بالنافذة [°] 15 ودرجة الحرارة الخارجية [°] 4 - ودرجة حرارة النافذة العلوية [°] 20 ودرجة حرارة النافذة السفلية [°] 10

تبديل الهواء للغرفة 1,5 مرة في الساعة.

$U = 3,49$ [W/m²°C] لسقف الأرض، $U = 6,9$ [W/m²°C] للزجاج (ناقذة)

$U = 2,32$ [W/m²°C] للباب الخشبي، $\lambda = 1,16$ [W/m°C] معامل توصيل، الحجر

$R_a = 0,172$ [m²°C/W]، $R_0 = 0,05$ [m²°C/W]، $R_i = 0,123$ [m²°C/W]

المطلوب:

1- احسب الضياع الحراري الناتج عن النافذة؟

2- صمم عدد المقاطع اللازمة للمشعل حيث أن المقطع الواحد يعطي 170 [W]

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

* نفس المسألة وظيفة أبعاد الصالة (70 x 40m) وارتفاع (4m)
مساحة النوافذ (150m²)
المطلوب:
1- معامل انتقال الحرارة للجدران والسقف؟
2- الحمل الحراري الكلي للصالة؟
3- عدد مكيفات الغرفة إذا كانت استطاعة المكيف الواحد 15 طن؟
4- تصحيح الحمل الحراري للصالة للجدار سوف نأخذ بشرق فقط؟
5- التوفير في الحمل الحراري؟

Scanned by CamScanner
Scanned with CamScanner

Subject :

1 / 1

كل : 1

h = 4[m] ، 40 × 20[m]

A للنوافذ = 150 m²

$L_{بيتون} = 0,159$ m	$\lambda_{بيتون} = 1,2$	بلاستر : 1,8
$L_{طوب} = 0,06$ m	$\lambda_{طوب} = 1$	النوافذ 6,7
$L_{عازل} = 0,08$ m	$\lambda_{عازل} = 0,03$	بلاط : 1,6

$\alpha_i = 8$ ، $\alpha_o = 18$

$t_i = 20\ [C^\circ]$ $t_o = [0C]$

تسرع $t = 5C^\circ$

2- حساب معامل انتقال الحرارة الكلي (U الكلي) :

$$U_{\text{الجدار}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_{بيتون}} + \frac{L_2}{\lambda_{طوب}} + \frac{L_3}{\lambda_{عازل}} + \frac{1}{\alpha_o}} :$$

$$U_{\text{الجدار}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,15}{1,2} + \frac{0,06}{1} + \frac{0,08}{0,03} + \frac{1}{18}} = \boxed{0,732}\ [w/m^2.c^\circ]$$

$$U_{\text{الكلي}} = U_{\text{الجدار}} + U_{\text{السقف}} + U_{\text{النوافذ}} + U_{\text{الأرض}}$$

$$U_{\text{الكلي}} = 0,732 + 1,8 + 6,7 + 1,6 = \boxed{10,832}\ [w/m^2.c^\circ]$$

10,832

3- حساب الحمل الحراري الكلي :

$A_{\text{الجدران}} = A_{\text{الكلي}} - A_{\text{النوافذ}}$

$A_{\text{الجدران}} = (4 \times 20) + (4 \times 40) + (4 \times 20) + (4 \times 40) - 150 = \boxed{330\ m^2}$

AL.SAMRAH

$A_1 = 1,6$

$L_1 = 0,20$ (-)

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

Subject : / /

نوافذ $A_2 = 150\ [m^2]$

سقف $A_3 = 20 \times 40 = 800\ [m^2]$

أرض $A = 20 \times 40 = 800\ [m^2]$

$Q_{\text{الجدران}} = U_{\text{الجدران}} \cdot A_{\text{الجدران}} \cdot (t_i - t_o)$

$= 0,732 \times 330 \times (20-0) \Rightarrow$

$Q_{\text{الجدران}} = 4831,2\ [w]$

$Q_{\text{النوافذ}} = U_{\text{النوافذ}} \cdot A_{\text{النوافذ}} (t_i - t_o)$

$= 6,7 \times 150 (20-0) =$

$Q_{\text{النوافذ}} = 20100\ [w]$

$Q_{\text{السقف}} = U_{\text{السقف}} \cdot A_{\text{السقف}} (t_i - t_o)$

$= 1,8 \times 800 \times (20-0)$

$Q_{\text{السقف}} = 28800\ [w]$

$Q_{\text{الأرض}} = U_{\text{الأرض}} \cdot A_{\text{الأرض}} (t_i - t_{\text{الأرض}})$

$= 1,6 \times 800 (20-5)$

$Q_{\text{الأرض}} = 19200\ [w]$

AL SAMRAH

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

Subject: / /

$$Q_v = \rho_a \cdot c_a \cdot V (t_i - t_o)$$

$$V = \frac{V \cdot n}{3600} = \frac{20 \times 40 \times 4 \times 1}{3600}$$

$$V = 0,888 \ [m^3]$$

$$Q_v = 1,2 \times 1026 \times 0,888 \cdot (20-0)$$

$$Q = 21886 \ [w] = \boxed{21,886 \ [kw]}$$

$$Q_{الكلي} = Q_{جدران} + Q_{نوافذ} + Q_{سقف} + Q_{أرض} + Q_{تهوية}$$

$$Q_{الكلي} = 4831,2 + 20100 + 28800 + 19200 + 2186$$

$$94819,2 \ [w]$$

$$= 94797,2 \ [w] \quad \boxed{Q_{الكلي} = [94,797] \ [kw]}$$

3- عدد القواطع والمسافة بين القواطع لإنارة مخطط $150 \ [w]$ $0,150 \ [kw]$

$$\text{عدد القواطع} = \frac{94,797}{0,150} = 631,98$$

94.819,7 / 150 = 632,1

$$\boxed{\simeq 632 \ [\text{قاطع}]}$$

إذا كان كل قاطع يغذي $0,150$ كيلوواط

632 يغذي $(150 \times 632) = 94800$ ⟸

$$= \boxed{94,8 \ [kw]}$$

وهو يحمل الإنارة لجميع (الضوء الإنارة)

AL.SAMRAH

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

* مسألة:

يراد تدفئة صالة بواسطة مدفأة من الفونت أبعادها [m] 20×25 وارتفاعها [m] 4 معرضة للجو الخارجي من جميع الجدران وسقف. مجموع مساحة النوافذ الموجودة في الصالة [m²] 40.

يتألف السقف من بيتون سماكته [cm] 20 مع طبقة عازل حراري سماكتها [cm] 4 من مادة الستيروبور. درجة حرارة أرض الصالة [°C] 15 عندما كانت درجة حرارة الصالة [°C] 20 والخارجية [°C] 0 وكانت معاملات انتقال الحرارة كما يلي:

السقف: البيتون $\lambda_1 = 1,25$ [W/m°C]

العازل: $\lambda_2 = 0,03$ [W/m°C]

معامل التبادل الخارجي الكلي: $\alpha_0 = 22,2$ [W/m²°C]

" " الداخلي " : $\alpha_i = 9,5$ [W/m²°C]

معامل انتقال الحرارة الكلي: للجدران: $U_1 = 2,2$ [W/m²°C]

للنوافذ: $U_2 = 5,6$ [W/m²°C]

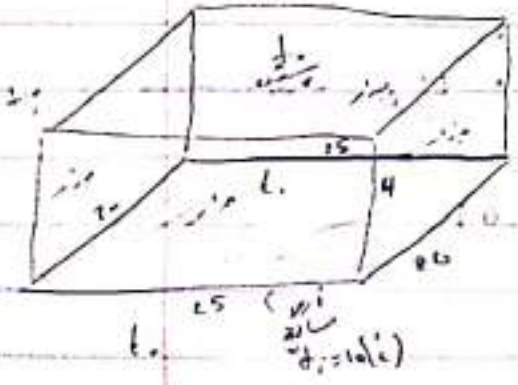
للأرض: $U_3 = 1$ [W/m²°C]

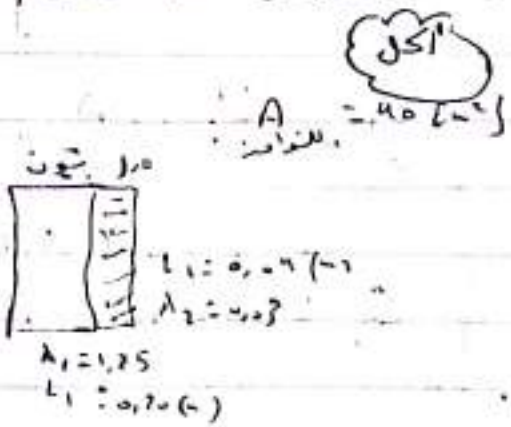
اعتبر أن تبديل الهواء يتم بمعدل مرة واحدة بالساعة من حجم الصالة، كثافة الهواء [kg/m³] $\rho_a = 1,25$ والسعة الحرارية للهواء [J/kg°C] $C_a = 1000$

المطلوب احسب:

1- معامل انتقال الحرارة للجدران؟

2- الحمل الحراري الكلي للصالة؟





Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

$$U_{\text{جدران}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_o}}$$ (1)

$$= \frac{1}{\frac{1}{9,5} + \frac{0,2}{1,25} + \frac{0,04}{0,03} + \frac{1}{22,7}}$$

$$U_{\text{جدران}} = 0,608 \ [W/m^2C]$$

$Q_{total} = ?$ (2)

$$Q_{\text{جدران}} = U_{\text{جدران}} \cdot A_{\text{جدران}} \cdot \Delta t$$

$$= \frac{2,2}{} \left((25,4,2) + (4,20,2) \right) - 40) : (20-0)$$

$$Q_{\text{جدران}} = 4080 \ [W]$$

$$Q_{\text{نوافذ}} = U_{\text{نوافذ}} \cdot A_{\text{نوافذ}} \cdot \Delta t$$

$$= 5,6 \cdot 40 \cdot (20-0)$$

$$Q_{\text{نوافذ}} = 44,80 \ [W]$$

$$Q_{\text{السقف}} = U_{\text{سقف}} \cdot A_{\text{سقف}} \cdot \Delta t \quad : \quad U_{\text{سقف}} = U_{\text{جدران}}$$

$$= 0,608 \cdot (25,20) \cdot (20-0)$$

$$Q_{\text{سقف}} = 6080 \ [W]$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

$$Q_{\text{جدران}} = U_{\text{جدران}} \cdot A_{\text{جدران}} \cdot \Delta t \quad (t_i - t_{\text{مكيف}})$$

$$= 10 \cdot (25.20) \cdot (20 - 10)$$

$$\boxed{Q_{\text{جدران}} = 5000 \ [W]}$$

$$Q_v = \rho_a \cdot C_a \cdot V \cdot \Delta t$$

$$= 1,2 \cdot 1026 \cdot \frac{(20.25.4) 1,5}{3600} \cdot (20 - 0)$$

$$\boxed{Q_v = 20520 \ [W]}$$

$$Q_{\text{تكيف}} = Q_{\text{جدران}} + Q_{\text{سقف}} + Q_{\text{أرض}} + Q_{\text{نوافذ}} + Q_v$$

$$Q_{\text{تكيف}} = 14080 + 6080 + 5000 + 4480 + 20520$$

$$\boxed{Q_{\text{تكيف}} = 50160 \ [W]}$$

Scanned by CamScanner

Scanned with CamScanner

* الربح الحراري :

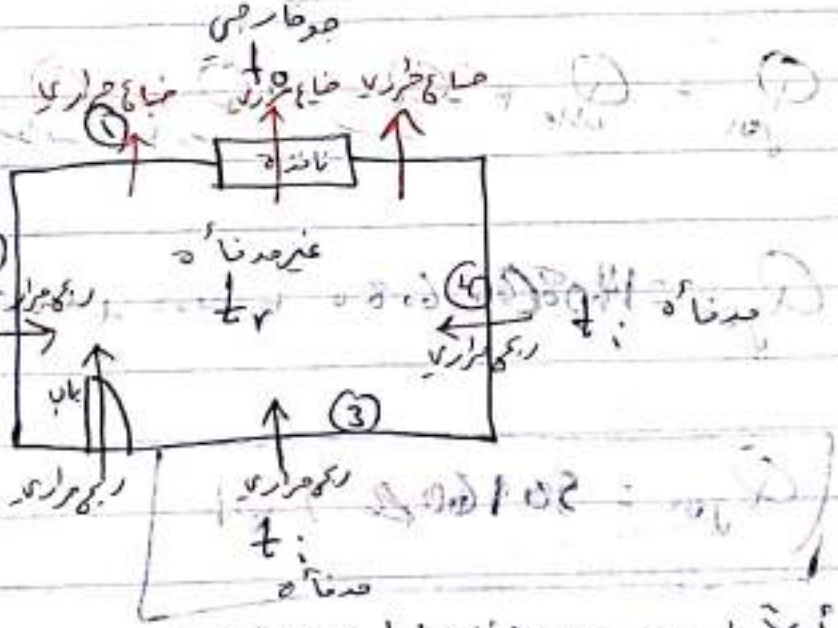
+ حساب درجة الحرارة الأماكن (الغرف) الغير مدفأة والمجاورة للأماكن (الغرف) المدفأة :

تتبع الخطوات التالية :

« كمية الحرارة التي تكتسبها الأماكن المدفأة = كمية الحرارة التي تخسرها من الجو الخارجي »

أي :

« الضياع الحراري للغرفة الغير مدفأة = الربح الحراري للغرفة الغير مدفأة »



أولاً : حساب الضياع الحراري للغرفة :

$$Q_1 = A_1 . U_1 . (t_2 - t_o) \quad [W]$$

$$Q_g = A_g . U_g . (t_2 - t_o) \quad [W]$$

Q_g نافذة

$$Q_v = C_a . \rho_a . V . (t_2 - t_o) \quad [W]$$ Q_v تسرب الهواء

$$Q_{Total} = \sum Q = Q_1 + Q_g + Q_v$$ Q_{Total} الضياع

ثانياً : حساب الربح الحراري للغرفة :

$$Q_2 = A_2 . U_2 . (t_i - t_2)$$

$$Q_3 = A_3 . U_3 . (t_i - t_2) \quad ; \quad A_3 = A - A_{باب}$$ الجدار

Scanned with CamScanner

$$Q_d = A_d \cdot U_d \cdot (t_i - t_r)$$ باب

$$Q_u = A_u \cdot U_u \cdot (t_i - t_r)$$

$$Q_c = A_c \cdot U_c \cdot (t_i - t_r)$$ سقف

$$Q_f = A_f \cdot U_f \cdot (t_i - t_r)$$ أرضية

$$Q'_{total} = \Sigma Q = Q_2 + Q_3 + Q_d + Q_u + Q_c + Q_f$$

بتطبيق المبدأ الأساسي،

$$Q_t = Q'_t$$

لمبخة حتية

t_r

* اختيار درجة الحرارة الخارجية (t_o):

تعتمد دوماً على أصغر درجة حرارة خارجية لتغطية كل أيام الشتاء وهي المرجع الأمريكي ASHRAE « في -4 ، في -2 ، في 0 »

* اختيار درجة الحرارة الداخلية (t_i):

تعتمد على طبيعة المكان المطلوب،

المكان	t_i [°]
غرف الطعام والجلوس وغرف النوم وغرف المرضى والمكاتب	20
قاعات المحاضرات والصفوف	18
أماكن عبادة - مقاصف - عمرات	15
بيوت درج	12
المطابخ	18
الحمامات	25
المطاعم	20
المخازن وكل ما هو محلات تجارية	18
ورش ومعامل	15 إلى 18
غرف عمليات	24

Scanned with CamScanner

عرفة تامليه طولها 2 m وعرضها 2 m وارتفاعها 3 m
تفتح بين غرفتين درجة الحرارة الأولى [°c]20 والثانية [°c]18
باب الغرفة مطل على الممر الذي درجة حرارته [°c]15 ، الواجهة
الرابعة مطلة على الجو الخارجي ذو الحرارة [°c]0 ، تبدل الهواء
للغرفة يساوي (1) مرة في الساعة للغرفة ، نافذة متاسوها
$10 \times 0,8 (cm^2)$ وباب تاسه $1 \times 2 (m^2)$ ما المطلوب اما هي درجة حرارة الغرفة
اذا كانت معاملات انتقال الحرارة الكلية كما يلي ، الغرفة فارغة ؟

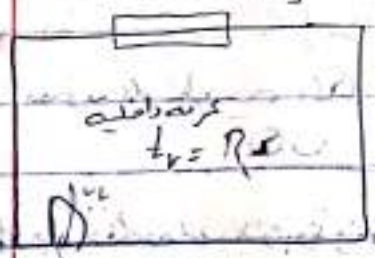
$U_i = 2,8 \ [W/m^2 °c]$ $\quad U_o = 2,33 \ [W/m^2 °c]$

$U_d = [W/m^2 °c]$ $\quad U_g = 6,4 \ [W/m^2 °c]$

باهمال الضياعات الحرارية خلال الأرضية والسقف للغرفة
ونفرض أن درجة حرارة الغرفة أقل من [°c]17 ؟

الحل

$t_0 = 0 [°c]$



$n = 1$

$A_{\text{النافذة}} = 10 \times 0,8 = 8 \cdot 10^{-4} [m^2]$

$A_{\text{باب}} = 1 \times 2 = 2 [m^2]$

1- حساب الضياع الحراري :

$Q_u = U_u \cdot A_u \cdot \Delta t$

$= 2,33 \cdot ((2 \times 3) - (8 \cdot 10^{-4})) \cdot (t_r - 0)$

$Q_u = 2,33 \cdot 48 \cdot 10^{-4} \cdot t_r \ [W]$

$Q_g = U_g \cdot A_g \cdot \Delta t$

$Q_g = 6,4 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot t_r \ [W]$

$Q_v = C_a \cdot \rho_a \cdot V_a \cdot \Delta t$

$= 1076 \cdot 1,2 \cdot \frac{(2 \times 2 \times 3)}{3600} (t_r - 0)$

$Q_v = 1076 \cdot 1,2 \cdot \frac{12}{3600} t_r \ [W]$

$Q_t = Q_u + Q_g + Q_v$ ⟸

حساب الربح الحراري :

للجدار المطل على الزنقة الأولى $Q_1' = A_1 . U_1 . \Delta t$

$Q_1' = (2 \times 3) . 2,8 . (20 - t_r)$

للجدار المطل على الزنقة الثانية $Q_2' = A_2 . U_2 . \Delta t$

$Q_2' = (2 \times 3) . 2,8 . (18 - t_r)$

للجدار المطل على الممر $Q_3' = A_3 . U_3 . \Delta t$

$Q_3' = ((2 \times 3) - (2)) . 2,8 . (15 - t_r)$

للباب $Q_4' = A_4 . U_4 . \Delta t$

$Q_4' = 2 . 2,8 . (15 - t_r)$

$$Q_t' = Q_1' + Q_2' + Q_3' + Q_4'$$

كمية الحرارة المكتسبة = كمية الحرارة التي تخسرها الغرفة

$$Q_t = Q_t'$$

$$2,33.48 . 10^{-4} t_r + 64.8 . 10^{-4} . t_r + 1026 . 12 \frac{12}{2000} t_r =$$

$$6 \times 2,8 (20 - t_r) + 6 \times 2,8 (18 - t_r) + 4 \times 2,8 (15 - t_r) + 2 . 2,8 (15 - t_r)$$

$$4,120 t_r = 890,4 - 50,4 t_r$$

$$54,52 t_r = 890,4 \Rightarrow \boxed{t_r = 16,33 [°] < 17 [°]}$$

Scanned with CamScanner

طلب اضافي:

[2] حاسبي درجة حرارة السطح الداخلي للجدار والخارجي اذا كانت مقاومة السطح الداخلي $R_i = 0,13$ [$m^2 °C/W$]

$$Q_o = A_{w_o} \cdot U_{w_o} \cdot \Delta t = \alpha_i \cdot A_w \cdot \Delta t$$

$$(12 \times 3) - (8.10^{-4}) \cdot 2,33 \cdot (16,33 - 0) = \frac{1}{0,173} \cdot (2 \times 3) - 8.10^{-4} \cdot (16,33 - t_i)$$

$$228,263 = 796,479 - 48,774\, t_i$$

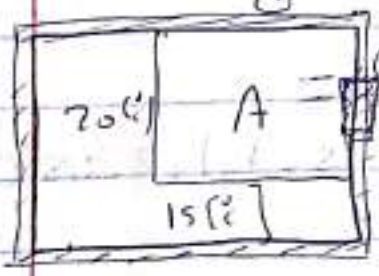
$$48,774\, t_i = 568,216$$

$$\boxed{t_i = 11,65\ [°C]}$$

* مسألة 2:

احسب درجة حرارة الغرفة (A) الغير مدفأة والمجاورة لأماكن مدفأة علماً بأن الغرفة ملاصقة لغرفة درجة حرارتها [20°C] وسطح معرض لجو خارجي درجة حرارته [0°C] علماً بأن عدد مرات تبدل الهواء بالساعة 2 مرة وأبعاد الغرفة 5×5×4 وارتفاع واحد وكثافة الهواء $1,2 \left[\frac{kg}{m^3}\right]$ و $U = 2$ [$W/m^2 °C$]

الحل:



① نحسب الضياع الحراري:

$$Q_1 = U_1 \cdot A_1 \cdot \Delta t$$

الجدار المحاذي للغرفة الخارجية

$$Q_1 = 2 \times (5 \times 4) \times (t_r - 0)$$

$$Q_2 = U_2 \cdot A_2 \cdot \Delta t$$

$$Q_2 = 2 \times (5 \times 4) \times (t_r - 0)$$

الجدار الثاني المحاذي للجدار الخارجي

$$Q_3 = U_3 \cdot A_3 \cdot \Delta t$$

للسقف

$$Q_3 = 2 \times (5 \times 5) \times (t_r - 0)$$

Scanned with CamScanner

$Q_v = \rho_a \cdot C_a \cdot \dot{V} \cdot \Delta t$

$Q_v = 1,2 \cdot 1026 \cdot \frac{5 \times 5 \times 4 \times 2}{3600} \times (t_r - 0)$

$\Rightarrow \boxed{Q_t = 40 t_r + 40 t_r + 50 t_r + 68,4 t_r}$

(2) حساب المردود الحراري :

للجدار المجاور للنزهة عند $(20°C)$: $Q'_1 = U_1 \cdot A_1 \cdot \Delta t$

$Q'_1 = 2 \times (5 \times 4) \times (20 - t_r)$

للجدار المجاور للنزل $(15°C)$: $Q'_2 = U_2 \cdot A_2 \cdot \Delta t$

$Q'_2 = 2 \times (5 \times 4) \times (15 - t_r)$

للأرضية حوض النزهة $(10°C)$: $Q'_3 = U_3 \cdot A_3 \cdot \Delta t$

$Q'_3 = 2 \times (5 \times 5) \times (10 - t_r)$

$$\boxed{Q'_t = (800 - 40 t_r) + (600 - 40 t_r) + (500 - 50 t_r)}$$

$\Rightarrow$

$$Q_t = Q'_t$$

$40 t_r + 40 t_r + 50 t_r + 68,4 = (800 - 40 t_r) + (600 - 40 t_r) + (500 - 50 t_r)$

$198,4 t_r = 1900 - 170 t_r$

$328,4 t_r = 1900$

$$\boxed{t_r = 5,786 \ [°C]}$$

Scanned with CamScanner

مسألة - 3 -:

يراد تدفئة الغرفة المبينة جانباً باستعمال المشعات، أبعاد الغرفة (م) 10 × 15 وارتفاعها 4 (م)، أبعاد النوافذ (م) 2×2 وعددها (6)، أبعاد الباب (م) 2×2

معامل انتقال الحرارة الكلي U:

الجدران الخارجية أو الداخلية $U = 1,8 \ [W/m^2 ^\circ C]$

السقف معرض للجو الخارجي $U = 2,2 \ [W/m^2 ^\circ C]$

النوافذ معرضة للجو الخارجي $U = 5,4 \ [W/m^2 ^\circ C]$

الباب على الجو الداخلي $U = 2 \ [W/m^2 ^\circ C]$

- درجة حرارة الغرفة [°C] 20، درجة حرارة الجو الخارجي [°C] -2
- درجة حرارة الغرفة المجاورة [°C] +10
- الأرضية الغرفة ساخنة درجة حرارتها [°C] 15 ومعامل انتقال الحرارة الأرضية $U = 1 \ [W/m^2 ^\circ C]$

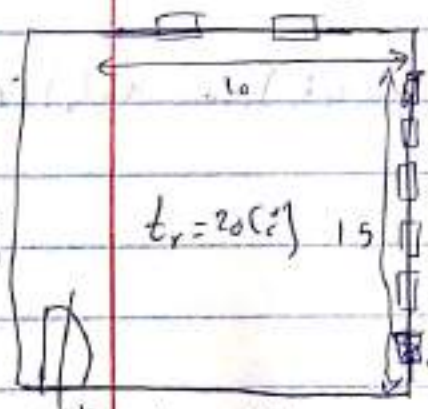
معدل تدفئة الهواء المتسرب عبر مرة واحدة من حجم الغرفة بالساعة.

المطلوب:

1- حساب الضياع الحراري لهذه الغرفة وتنظيمها في جدول؟

2- حساب عدد قطاع المشعات اللازم إذا كان المقطع الواحد يعطي [W] 140 ؟ $C_a = 1026 \ [J/kg ^\circ C]$ ، $\rho_a = 1,2 \ [kg/m^3]$

الحل:



أبعاد الغرفة: 15 × 10 × 4

عدد (6) النوافذ $A_{نوافذ} = 2 \times 1 = 2 \ [m^2]$

$A_{باب} = 2 \times 2 = 4 \ [m^2]$

$U_{نوافذ} = 5,4$ $U_{سقف} = 2,2$ $U_{جدران الخارجية والداخلية} = 1,8$

$U_{باب} = 2$ $U_{أرض} = 1$

$t_{غرفة} = 10 \ [^\circ C]$ $n = 1$

Scanned with CamScanner

محاسبات الحمل الحراري

$Q_1 = U_1 \cdot A_1 \cdot \Delta t$

$= 1,8 \cdot ((10 \times 4) - 2(2 \times 1)) \cdot (20 - (-2))$

$Q_1 = 1425,6 \quad [W]$

$Q_2 = U_2 \cdot A_2 \cdot \Delta t$

$= 1,8 \cdot ((15 \times 4) - 4(2 \times 1)) \cdot (20 - (-2))$

$Q_2 = 2059,2 \quad [W]$

$Q_3 = U_3 \cdot A_3 \cdot \Delta t$

$= 1,2 \cdot (10 \times 15) \cdot (20 - (-2))$

$Q_3 = 7260 \quad [W]$

$Q_V = \rho_a \cdot C_a \cdot V \cdot \Delta t$

$= 1,2 \cdot 1,026 \cdot \frac{10 \times 15 \times 4 \times 1}{3600} \cdot (20 - (-2))$

$Q_V = 451,4 \quad [W]$

$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_V$

$[W]$

$Q_4 = U_4 \cdot A_4 \cdot \Delta t$

$= 1,8 \cdot (15 \times 4) \cdot (20 - 16)$

$Q_4 = 1080 \quad [W]$

Scanned with CamScanner

$Q_{\text{سقف}} = U_s \cdot A_s \cdot \Delta t$

$= 2 \times 4 \times (20-10)$

$Q_{\text{سقف}} = 80 \quad [W]$

$Q_{\text{جدار خارجي}} = U_6 \cdot A_6 \cdot \Delta t$

$= 1,8 \cdot ((10 \times 4) - (4)) \cdot (20-10)$

$Q_6 = 648 \quad [W]$

$Q_{\text{جدار}} = U_7 \cdot A_7 \cdot \Delta t$

$= 1 \cdot (10 \times 15) \cdot (20-10)$

$Q_7 = 1500 \quad [W]$

$$Q_t = 18567 \ [W]$$

عدد المشعات = الحمل الكلي / استطاعة المشع الواحد

$$= \frac{18567}{140} = 132,6$$

نأخذ 133 عدد المشعات

* العزل الحراري *

- تعريف العزل الحراري:

هو استخدام مواد لها خواص خاصة في الحد من تسرب الحرارة من داخل المبنى إلى خارجه صيفاً ومن داخله إلى خارجه شتاءً، ويمكن تقسيم الحرارة التي تخترق المبنى والتي نفترض التخلص منها باستعمال أجهزة التكييف للحفاظ على درجة الحرارة الملائمة إلى ثلاثة أنواع:

1. الحرارة التي تخترق الجدران والأسقف والأرضيات.
2. الحرارة التي تخترق النوافذ والأبواب والفتحات الأخرى.
3. الحرارة التي تنتقل عبر فتحات التهوية.

تقدر الحرارة التي تخترق الجدران والأسقف في أيام الصيف بنسبة 65 ÷ 70٪ من الحرارة المراد إزالتها بأجهزة التكييف وأما الباقي فتأتي من النوافذ وفتحات التهوية.

وتقدر نسبة الطاقة الكهربائية المستهلكة في الصيف لتبريد المبنى حوالي 60٪ من كامل الطاقة الكهربائية المستهلكة ومن هنا تنبع أهمية العزل الحراري لتخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية المستهلكة في التكييف وذلك للحد من تسرب الحرارة خلال الجدران والأسقف وذلك لتخفيض الحمل الوظيفي للمكيفات للمكان وتقليل التكلفة.

- فوائد العزل الحراري:

1. ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية أثناء عمليات التبريد والتدفئة بنسبة قد تقل عن 50 ÷ 40٪.
2. ترشيد استهلاك الوقود المستخدم في التدفئة بنسبة قد تقل إلى حوالي 50 ÷ 60٪.
3. حماية العناصر الإنشائية للمبنى والمحافظة على الأسكان من تغيرات درجة الحرارة.
4. رفع مستوى الراحة والسلامة الصحية لساكني المبنى.

Scanned with CamScanner

5- تخفيض تكاليف شراء أجهزة التكييف والتدفئة من خلال تخفيض استطاعتها.

6- التقليل من التلوث البيئي والانبعاثات الكربونية والضجيج.

- الشروط الواجب توفرها في العزل الحراري:

1- أن تكون المادة العازلة ذات معامل انتقال حراري بالتوصيل منخفض [W/m.K] وهو ما يعبر عنه بـ λ

2- أن تكون على درجة عالية من مقاومتها لنفاذ الماء والبخار.

3- أن تكون على درجة عالية من مقاومتها للاشتعال الحراري.

4- أن تكون على درجة عالية من مقاومتها للاجهادات الناتجة عن الفروقات الكبيرة في درجات الحرارة.

5- أن تكون ذات قوام ميكانيكي جيد كارتفاع معامل المقاومة الانضغاطية ومعامل المقاومة للكسر.

6- أن تكون مقاومة للحريق.

7- ألا ينتج عنها أضرار صحية وأن تكون مقاومة للبكتيريا والعفن وغير قابلة لنمو الحشرات فيها.

8- أن تكون ثابتة الأبعاد على المدى الطويل وقليلة القابلية للتمدد أو التقلص تحت تأثير العوامل الجوية والمناخية المحيطة.

9- أن تكون مقاومة للتفاعلات والتغيرات الكيميائية.

10- أن تكون سهلة التركيب.

11- أن تكون مطابقة للمواصفات القياسية العالمية.

- تأثير موضع العازل الحراري على الاختزان الحراري:

1) عزل خارجي:

في الحالات التي يتم فيها وضع طبقة ثقيلة جيدة الاختزان الحراري في الجانب الداخلي من العنصر الإنشائي مع وضع طبقة خفيفة عازلة للحرارة في الخارج فإن الطبقة الداخلية تقوم بامتصاص الحرارة الداخلية أثناء تدفئة المنزل وافترائها والاحتفاظ بها.

Scanned with CamScanner

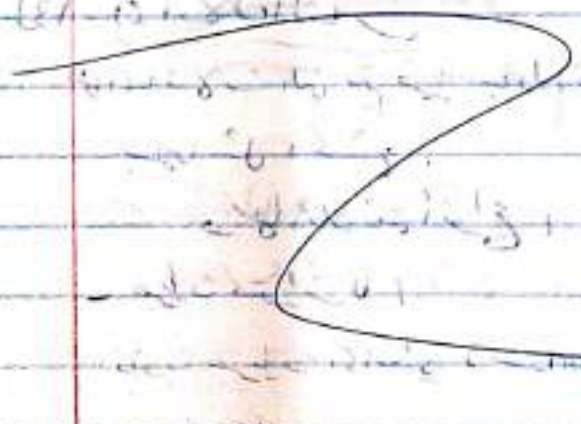
بينما تقوم الطبقة الخارجية (العازلة) بإزالة انتقال الحرارة المختزنة إلى الخارج والحيلولة دون فقدانها بسرعة وتكون كمية الحرارة المختزنة في هذه الحالة كبيرة، إلا أن هذه الحرارة المختزنة تنبعث ثانية إلى داخل البناء في فترات توقف أجهزة التدفئة عن العمل مما يساعد على بقاء الجو الداخلي دافئاً لفترة من الزمن.

أما في فصل الصيف:

فإن الطبقة الخارجية (العازلة للحرارة) تعمل على إعاقة انتقال الحرارة الخارجية المرتفعة إلى الداخل وتحمي الطبقة الداخلية من تأثير الحرارة الخارجية، بينما تعمل هذه الطبقة الداخلية كخزان تبريد يستلم الحرارة الداخلية من البناء، فتقوم بامتصاص الحرارة المتسربة إلى الداخل من خلال الأبواب والنوافذ وأجهادها.

2. عزل داخلي:

في الحالات التي يتم فيها عزل الطبقة الخفيفة العازلة للحرارة إلى الداخل فإنها تقوم وبنتيجة لصغر توصيليتها الحرارية وتدني اختزانها للحرارة، فتعمل على إبراز أي خلل قد تحدثه الأبنية أو تكيفه إلا أن توقف أجهزة التدفئة والتكييف يؤدي أحياناً إلى سرعة فقدان الحرارة الداخلية ستاذ وارتفاعها صيفاً.



المبادلات الحرارية

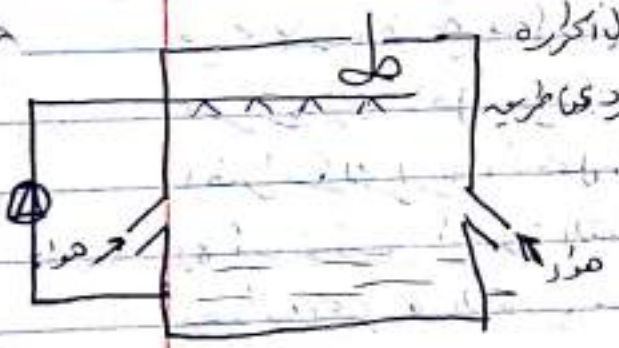
- تعريف المبادل الحراري:
هو عبارة عن جهاز يتم فيه نقل الحرارة من المائع الساخن إلى المائع البارد.

- أنواع المبادلات الحرارية:

1- المبادلات الارجاعية:
هي المبادلات التي يتم فيها تبادل الحرارة بين المائعين على نفس السطح وبشكل دوري مثل

$t_1 = 100\ (^\circ C)$ $t_2 = 20\ (^\circ C)$ $t = 80\ (^\circ C)$

2- المبادلات الحرجية:
وهي المبادلات التي يتم فيها انتقال الحرارة من المائع الساخن إلى المائع البارد على طرفيه حيز جهازها فعلياً مثل برج التبريد.



برج تبريد

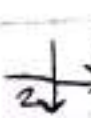
3- المبادلات التيارية:
هو المبادلات التي يتم فيها تبادل الحرارة بين المائعين عبر جدار يفصل بينهما مثل المشع.

وله ثلاثة أنواع:

- جريان متوازي:
تكون جريانات المائعين (ساخن - بارد) بنفس الجهة

- جريان عكسي:
تكون جريانات المائعين (ساخن - بارد) بعكس جهتها

- جريان عرضي:
تكون جهة جريان المائعين عمودية على بعضها



Scanned with CamScanner

- المفاهيم الأساسية في معادلات المبادلات الحرارية:

التحمل الحراري المتبادل: $Q = K \cdot A \Delta t$

K: معامل انتقال الحرارة الكلي المتوسط

t_1, t_2: درجة حرارة المائعين الساخن والبارد

معادلة الحريان:

$$Q = \dot{m}_1 = V_1 \rho_1 \cdot C_{p_1} \Delta T_1 = V_2 \cdot \rho_2 \cdot C_{p_2} \cdot \Delta T_2$$

$\dot{m}$: المكافئ المائي للشرط

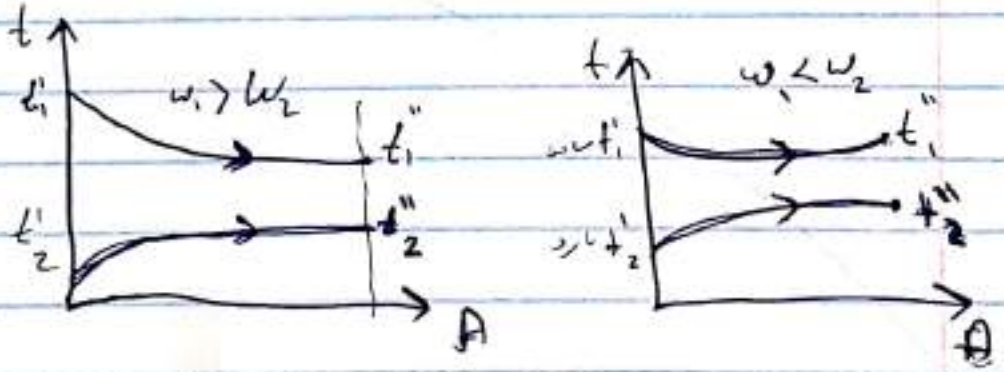
مائع ساخن: $\Delta t_1 = t_1' - t_1''$ (الداخل - الخارج)

مائع بارد: $\Delta t_2 = t_2'' - t_2'$

تتبع طبيعة تغير درجة حرارة السائل على امتداد سطح التبادل الحراري تبعاً لنوعية الحريان والنسبة W_2/W_1

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}$$

أ) حالة الحريان المتوازي:



في الحريان المتوازي تكون درجة حرارة خروج المائع البارد أقل دوماً من درجة حرارة خروج المائع الساخن

- في حالة الجريان المتعاكس :

في الجريان المتعاكس تكون درجة حرارة خروج المائع البارد أكبر أو تساوي درجة حرارة خروج المائع الساخن.

- من الشروط :

فإن المبادل الحراري في حالة الجريان المتعاكس أفضل من جريان متوازي.