الحمل الطبيعي «الحر»

- يتحرك المائع في الحمل الحر نتيجة لأسباب طبيعية ، كدافعة أرخميدس ولا تستخدم فيه وسيلة خارجية كالمضخة أو المروحة .

تنتقل الحرارة في الحمل الحر عند وجود سطح صلب على تماس مع مائع يختلف معه بدرجة الحرارة ، وبالتالي يكون السبب في انتقال الحرارة بالحمل الحر :

- الاختلاف في درجة الحرارة والذي يؤدي بدوره إلى حدوث تغير في كثافة المائع فتنشأ تيارات صاعدة للمائع الأخف وهابطة للمائع الأثقل .

مهم

- عامل الحمل :

من المعلوم أن عامل انتقال الحرارة بالحمل يتعلق بالسرعة ، حيث يزداد بازدياد السرعة ، وبما أن السرعة التي يتحرك بها المائع في الحمل الحر منخفضة جداً فنجد أن عامل انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي أقل بكثير من الحمل القسري .

- عامل التمدد الحجمي β : هو الخاصية التي تمثل تغير كثافة المائع بتغير درجة حرارته في ضغط ثابت .

(في الغازات المثالية $\beta = \frac{1}{T}$ واحدته $1/k$)

- عدد غراشوف Gr :

«تذكرة : في الحمل القسري عدد رينولدز يحدد طبيعة الجريان [صفائحي / مضطرب]»

أما في الحمل الحر ، عدد غراشوف يحدد طبيعة الجريان .

تعريف Gr : هو النسبة بين دافعة أرخميدس إلى القوة اللزجة المؤثرة في المائع .

$$Gr = \frac{\text{قوى دافعة أرخميدس}}{\text{القوى اللزجة}} = \frac{g \cdot \Delta\rho \cdot V}{\rho \cdot \nu^2} = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty)\delta^3}{\nu^2} \text{ أي}$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta (T_s - T_\infty) \delta^3}{\nu^2}$$

g : تسارع الجاذبية الأرضية .

β : عامل التمدد الحجمي

T_s : درجة حرارة السطح

T_∞ : درجة حرارة المائع

δ : الطول المميز للشكل الهندسي .

ν : اللزوجة الحركية للمائع .

* ويستعمل قانون نيوتن في التبريد لحساب معدل انتقال الحرارة في الحمل الحر من سطح صلب إلى المائع المحيط به :

$$\dot{Q}_{conv} = \alpha \cdot A \cdot (T_s - T_\infty)$$

مساحة سطح انتقال الحرارة .

عامل انتقال الحرارة بالحمل .

• عدد رالية Ra : وهو جداء $Gr \cdot pr$.

تعطى علاقة نوسلت للحمل الحر :

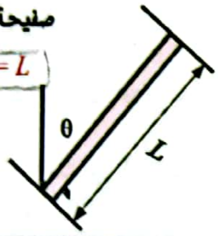
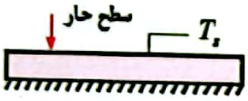
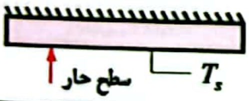
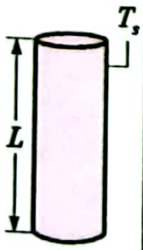
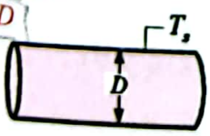
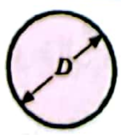
$$Nu = \frac{\alpha \cdot \delta}{k}$$

$$Nu = C (Gr \cdot pr)^n$$

$$Nu = C \cdot Ra^n$$

حيث n ، C ثوابت تتعلق قيمتها بالشكل الهندسي ونظام الجريان الذي يميزه مجال عدد رالية . « تؤخذ من الجدول 1-6 »

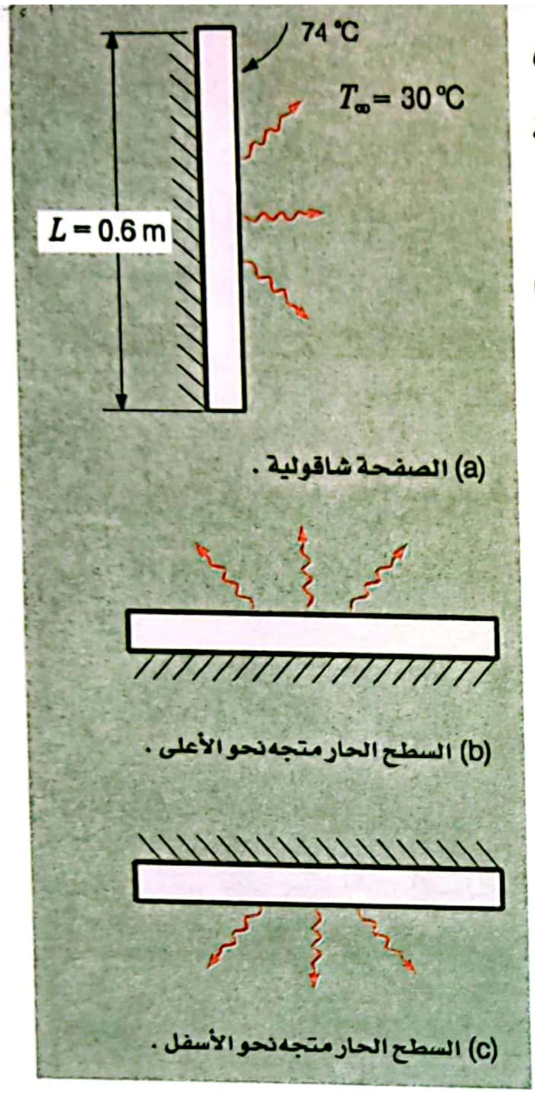
الجدول 6-1 علاقات عمليّة لعدد نوسلت المتوسط للحمل الطبيعي فوق السطوح

الشكل الهندسي / الطول المميز δ	مجال Ra	عدد نوسلت NU	
صفيحة شاقولية $\delta = L$ 	$10^4 - 10^9$	$NU = 0.59\, Ra^{1/4}$	(6-8)
	$10^9 - 10^{13}$	$NU = 0.1\, Ra^{1/3}$	(6-9)
	مجال شامل	$NU = \left\{0.825 + \dfrac{0.387\, Ra^{1/6}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16}\right]^{8/27}}\right\}^2$	(6-10)
صفيحة مائلة $\delta = L$ 		نستخدم علاقات الصفيحة الشاقولية كتقريب مقبول نستبدل g بـ $g \cos\theta$ من أجل $Ra < 10^9$	
صفيحة أفقية $\delta = A/P$ (a) السطح الحار أعلى الصفيحة 	$10^4 - 10^7$	$NU = 0.54\, Ra^{1/4}$	(6-11)
	$10^7 - 10^{11}$	$NU = 0.15\, Ra^{1/3}$	(6-12)
(b) السطح الحار أسفل الصفيحة 	$10^5 - 10^{11}$	$NU = 0.27\, Ra^{1/4}$	(6-13)
أسطوانة شاقولية $\delta = L$ 		يمكن معالجة الأسطوانة الشاقولية باعتبارها صفيحة شاقولية بحيث : $D \geqslant \dfrac{35\, L}{Gr^{1/4}}$	(6-14)
أسطوانة أفقية $\delta = D$ 	$10^5 - 10^{12}$	$NU = \left\{0.6 + \dfrac{0.387\, Ra^{1/6}}{\left[1 + (0.559/Pr)^{9/16}\right]^{8/27}}\right\}^2$	(6-15)
الكرة $\delta = \frac{1}{2}\pi D$ 	$Ra \leqslant 10^{11}$ $(Pr \geqslant 0.7)$	$NU = 2 + \dfrac{0.589\, Ra^{1/4}}{\left[1 + (0.469/Pr)^{9/16}\right]^{4/9}}$	(7-16)

ينبغي تقدير جميع خصائص المائع عند درجة حرارة الغشاء $T_f = 1/2 \times (T_s + T_\infty)$.

لتكن لدينا صفيحة مربعة أبعادها 0.6 m × 0.6 m موضوعة في حجرة درجة حرارتها 30 °C ، و درجة حرارة أحد وجهيها ثابتة عند 74 °C بينما الوجه الآخر معزول (الشكل 6-11) .

احسب مُعَدَّل انتقال الحرارة من الصفيحة بالحمل الطبيعي إذا كانت الصفيحة : (a) شاقوليَّة (b) أفقيَّة ، والسَّطح الحار مُتَّجه نحو الأعلى (c) أفقيَّة ، والسَّطح الحار مُتَّجه نحو الأسفل .



الشكل 6-11
مخطط المثال 6-2 .

الحل جدول 330

نفترض أنَّ ضغط الهواء في الحجرة هو الضغط الجوي .

تحسب خصائص الهواء عند درجة حرارة الغشاء التَّالية :

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{74+30}{2} = 52\ °C = 325\,K$$

عند هذه الدرجة يكون :

$$k = 0.0279\ W/(m\ .°C)$$

$$\nu = 1.815 \times 10^{-5}\ \ m^2/s$$

$$Pr = 0.709$$

$$\boxed{\beta = \frac{1}{T_f}} = \frac{1}{325K} = 0.00308\,K^{-1}$$

(a) في الحالة الموافقة لكون الصفيحة شاقوليَّة : $\boxed{\delta = L}$

إنَّ الطول المميز في هذه الحالة هو ارتفاع الصفيحة ، وهو : $\delta = 0.6\,m$. وعدد راليه يساوي :

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)\delta^3}{\nu^2} Pr$$

$$Ra = \frac{(9.8\,m/s^2)(0.00308\ K^{-1})[(74-30)K](0.6\,m)^3}{(1.815\times10^{-5}\ m^2/s)^2} = 6.034\times10^8$$

× 0,709

يمكن عندئذٍ حساب عدد نوسلت من المعادلة 6-8 كما يلي :

$$Nu = 0.59\,Ra^{1/4} = 0.59\,(6.034\times10^8)^{1/4} = 92.5$$

$$h = \frac{k}{\delta}\,Nu = \frac{0.0279\ \ W/(m.°C)}{0.6\ \ m}(92.5) = 4.3\ \ W/(m^2.°C)$$

$$A = L^2 = (0.6\,m)^2 = 0.36\,m^2$$

$$\dot{Q} = hA(T_s - T_\infty) = [4.3\ W/(m^2.°C)]\,(0.36\,m^2)\,(74-30)°C = 68.1\ W$$