كتاب تجارب معمل

إنتقال الحرارة

أولاً: بيانات المعمل الأساسية

إسم المعمل: انتقال الحرارة

القسم العلمي: هندسة القوى الميكانيكية

المشرف: د. وليد العوضى

مهندس المعمل: م / سسماعيل السسيد فهييم

أمين المعمل: فاطمة الفرغلى على كشك

التليفون: 1306

الموقع بالنسبة للكلية: مبنى المعامل البحرية – الدور الأرضي

مساحة المعمل: حوالى 100 متر مربع

ثانياً: قائمة بالأجهزة والمعدات الموجودة بالمعمل:

م	إسم الجهاز	العدد	Serial Number
1	جهاز قياس لدرجة الحرارة	10	
2	جهاز أميتير تيار متغير	1	
3	جهاز فولتميتر تيار متغير من صفر الى 10	6	
4	جهاز مانوميتير لقياس سرعة الهواء	1	
5	جهاز قياس معد السريان	1	
6	جهاز اختبار الدوائر الكهربية	1	
7	جهاز تجارب انتقال الحرارة بالحمل		
8	نفق هوائى 12*12 كامل بمروحة محورية	1	
9	جهاز الهيجروميتر الرطب	1	
10	وحدة تعيين منفصلة	1	
11	ازدواج حرارى نيكل كروم	4	
12	ازدواج حرارى P-T-P	2	
13	جهاز امبيرميتر من صفر الى 10	6	
14	لمبة لحام اكسجين	1	
15	جهاز قياس درجة الحرارة point recorder	1	
16	وحدة تكييف منفصلة	1	
17	غلاية تسخين كهربية	1	
18	قاطع للتيار اوتوماتيكى	1	
19	اتوميتر رقمى ديجيتال	1	
20	اداه تحكم منطقى مبرمج مدمج	1	
21	جهاز كامل لدراسه انتقال الحراره خلال مبادل حرارى يعمل بموائع النانو	1	
22	جهاز كامل لدراسه انتقال الحراره خلال المسار الحلقى بين انبوبتين	1	
23	جهاز كامل لدراسه الاداء لانبوب حرارى	1	
24	جهاز قياس ضغط الهواء Digital manometer model PCE-P15	1	

	1	جهاز قياس سرعة الهواء Model 731A(BK Precision)	25
		جهاز قياس سرعة الهواء حتى 40متر/الثانية testo 416 Hot wire (turbine)	26
		جهاز قياس درجة الحرارة 12 نقطة +12 ثرموكابل	27
		Portable digital air parameters measuring devices(instruments) Model Testo-435 +4 sensors) sensor for pressure +temperature +humidity +air velocity)(	28
	1	جهاز قياس درجات الحرارة (قناتين)+عدد 2 مجس	29
		Rotameter لقياس معدل السريان حتى 1950CCM model Fl-1448-c	28

ثالثاً: قائمة بالتجارب التى تؤدي داخل المعمل:

م	التجربة	الغرض منها
1	تعيين معامل التوصيل الحرارى للمواد الصلبة	- التعرف على معامل التوصلية الحرارية للمعادن المختلفة. - حساب المقاومة الحرارية للعينة المطلوب قياس لها التوصلية الحرارية.
2	قياس معدل تصرف الهواء في مجري مقطعة مربع	- معرفة الطالب كيفية قياس السرعة المتوسطة داخل نفق هوائى مقطعه مربع وحساب كمية الهواء داخل النفق - تحديد نوعية السريان هل هو سريان طبقى او مضطرب
3	حساب معامل انتقال الحرارة بالحمل الجبرى على اسطوانة رأسية	- معرفة الطالب معامل انتقال الحرارة بالحمل الجبرى على اسطوانة رأسية ومقارنته بالحمل الحر - تأثير تغير سرعة الهواء على معامل انتقال الحرارة.
4	حساب معامل انتقال الحرارة بالحمل الجبرى على رصات انابيب	- مقارنة بين معامل انتقال الحرارة بالحمل الجبرى على رصات انابيب بترتيب متوازى و متناوب.

خامساالخدمات الطلابية التي يؤديها المعمل:

- عدد الطلاب المستفيدين من المعمل:

- الأقسام العلمية المستفيدة من المعمل: قسم هندسة القوى الميكانيكية

- الفرق الدراسية المستفيدة من المعمل: طلاب االفرقة الاول والثانى والثالث والرابع و الاعمال البحثية لطلاب الماجيستير والدكتوراه.
- المقررات الدراسية التي تستفيد من المعمل: مقرر قياسات وأجهزة قياس للفرقة الثانية ميكانيكا- مقرر انتقال حرارة- 1 للفرقة الثانية ميكانيكا- مقرر انتقال حرارة2 للفرقة الثالثة ميكانيكا - مقرر مبادلات للفرقة الرابعة ميكانيكا-التدريب الصيفى للصف الاول ميكانيكا-مشاريع التخرج للفرقة الرابعة ميكانيكا- المشاريع المصغرة لجميع الفرق بالقسم.
- الأنشطة الطلابية داخل المعمل: تنفيذ المشاريع المصغرة

- عدد طلاب الدراسات العليا المستفيدين من المعمل: .....كثيرة.....

- عدد الرسائل العلمية التي تمت في المعمل: .....كثيرة.....

- عدد الدورات التدريبية التي تمت في المعمل: .....كثيرة.....

- المسابقات العملية التي شارك فيها طلاب من المستفيدين من المعمل: .....20.....

التجربة الأولي

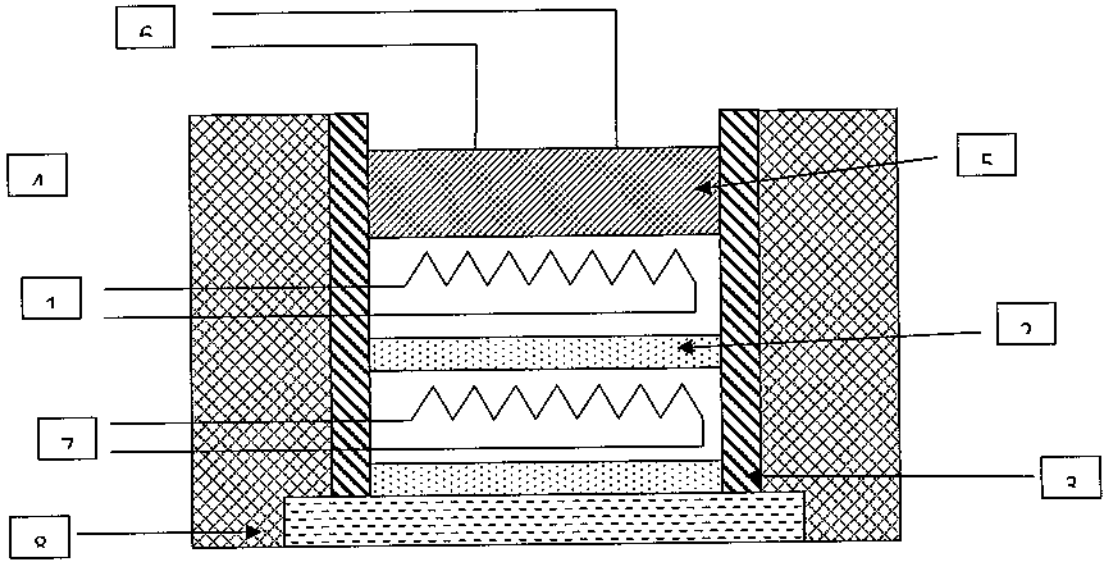
- **بيانات عامة:**

إسم التجربة: تعيين معامل التوصيل الحرارى للمواد الصلبة

الفرقة المقرر عليها التجربة: الفرقة الثانية (مادة انتقال حرارة 1)

الفصل الدراسي: الثانى

الأدوات المطلوبة للتجربة: يتكون الجهاز من الاجزاء المبينة بالشكل التالى



1	Heater	5	Specimen
2	Insulation	6	Upper Thermocouple
3	PVC Cylinder	7	Guard Heater
4	Lower Thermocouple	8	Insulation

وصف الجهاز:

(1) قدرته القصوي حوالي 300W شكله دائري على هيئة قرص تخرج الحرارة منه في اتجاه رأسي لأعلي أما أسفل السخان معزول عزلا حراريا بالصوف الزجاجي .

(2) ومدعم بأسطوانة من الـ PVC سمكها حوالي 5 mm .

(3) موضوع قرص من الصاج المعدني مثبت به محبسين حراريين .

(4) توجد العينة التي تزيد قياس معامل حرارتها على شكل قرص وسكمها (δ) .

(5) ومساحتها A ، ثم يوضع فوقها قرص من الصابع المعدني مثبت أيضا به محبسين حراريين (Thermo – Couple) .

(6) يوجد أيضا سخان حراري .

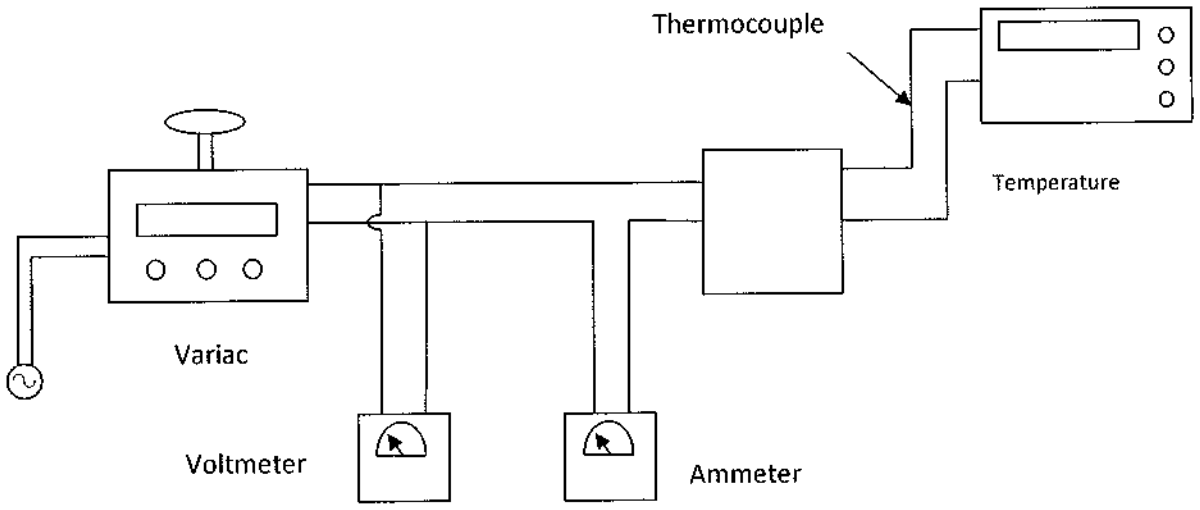
(7) تحث العازل السفلي وذلك لجعل حرار السخان العلوي في اتجاه واحد إلي أعلي فقط ويسمي Guard heater .

(8) لأسطوانة الـ PVC عازل حراري من الصوف الزجاجي بسمك حوالي 20 mm من أعلي إلى أسفل .

(9) يتصل السخان العلوي بمنظم القدرة (Variac) للتحكم في قدرة السخان وبالتالي في درجة حرارة السطح السفلي للعينة كما تتصل مجسمات القرص الصابع السفلي والعلوي بجهاز قياس درجات الحرارة .

(Temperature Recorder) .

(10) كما يوجد أيضا أجهزة قياس الأمبير والفولت للدرائرة الكهربية كما في الشكل الاتى:



الأساس النظري للتجربة:

معامل التوصيل الحرارى هو كمية الحرارة المنتقلة عبر سطحين بسمك وحدة الاطوال لفرق درجات حرارة مقدرها الوحدة على السطحين فى وحدة الزمن
ومن معادلة (فورير) التى تعيين العلاقة بين انتقال الحرارة وسمك السطح والتدرج الحرارى فى الحالة المستقرة (Steady state) يمكن ايجاد معامل التوصيل الحرارى الاتى

$$Q = \frac{K\,A\,\Delta T}{\delta} \qquad [W]$$

Q كمية الحرارة المنتقلة عبر السطح فى الثانية

A مساحة السطح المنتقلة عبره الحرارة

ΔT فرق درجات الحرارة عبر السطحين

δ سمك السطحين

K معامل انتقال الحرارة للجسم

من هذه المعادلة فإن

$$K = \frac{Q\,\delta}{A\,\Delta T} \qquad \left[\frac{W}{m\,K}\right]$$

كما تعرف القيمة (Kδ/) بالمقاومة الحرارية لجسم سمكه (δ) وتقاس بـ $\frac{W}{m\,K}$ وإيجاد معامل انتقال الحرارة لجسم مساحة سطحه (A) وسمكه (δ) يجب معرفة كمية الحرارة المنتقلة عبر هذا السطح وفرق درجة الحرارة أو التدرج الحراري عبر هذا السمك .

- **خطوات تنفيذ التجربة:**
- **تحضير العينة :**

تحضر العينة عن طريق تشكيلها على هيئة قرص قطره (7.8 mm) وسمكه حوالي (30 mm) ثم توضع عليها القرص المعدني العلوي .

- **طريقة القياس :**

يشغل الجهاز بتشغيل السخان ومراقبة درجة الحرارة من المجسمات السفلية بحيث وذلك للحفاظ علي 10 °C تضبط القدرة لدرجة حرارة معينة لا تزيد عن

المجسمات تسجل نتائج الفولت والأمبير المار ودرجات الحرارة على سطحي العينة وذلك بحساب متوسط قراءة المجسمين السفليين والعلويين . نظل في تسجيل درجات الحرارة عند قدرة معينة إلي أن تثبت درجتي الحرارة على سطحي العينة وبالتالي تكون التجربة وصلت إلي حالة الاستقرار تدون النتائج في الجدول التالي .

- **النتائج:**

تدون النتائج في الجدول التالي :

T_1	T_2	$T_{ave\ 1}$	T_3	T_4	$T_{ave\ 2}$	Q = P = I V		
		$(T_1+T_2)/2$			$(T_3+T_4)/2$	I, amp	V,volt	P,watt

من المعادلة التالية يمكن حساب معادلة انتقال الحرارة للعينة :

$$K = \frac{Q\,\delta}{A\,(T_{ave\,1} - T_{ave\,2})} \qquad \left[\frac{W}{m\,K}\right]$$

يمكن تكرار التجربة وذلك لقدرات أخرى للسخان

النتائج

Q = P = I V	$T_{ave\ 1}$, °C	$T_{ave\ 2}$, °C	K, W/m.k
I= amp V= volt A= m^2 δ= m			

- **مناقشة النتائج:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- **أسئلة عامة:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

التجربة الثانية

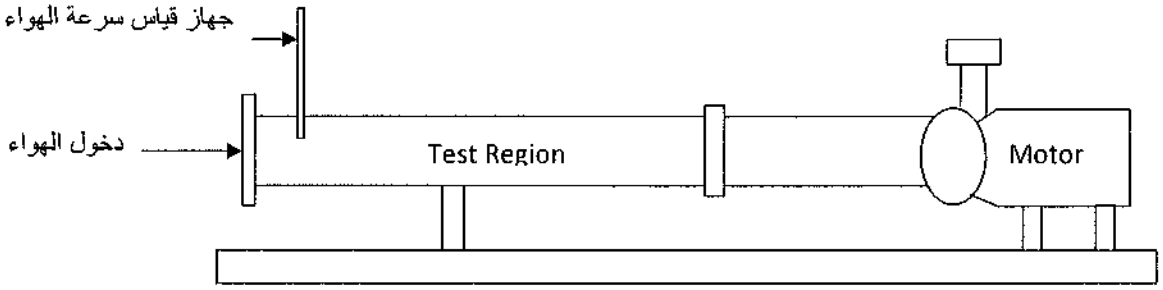
- **بيانات عامة:**

إسم التجربة: قياس معدل تصرف الهواء في مجري مقطعه مربع وذلك لحساب السرعة المتوسطة للهواء.

الفرقة المقرر عليها التجربة: الفرقة الثالثة (انتقال حرارة 2)

الفصل الدراسي: الأول

الأدوات المطلوبة للتجربة: الجهاز من الاجزاء المبينة بالشكل التالى



أجهزة القياس:

وهو جهاز يستخدم لقياس سرعة الهواء مزود بمؤشرات يقرأ بوحدات

m / s - - ft / hr .

مجرى الهواء مقطعة مربع (9 x 9) سم .

تعريف جهاز مقياس شدة سرعة الرياح ذات السلك الساخن

Hot – Wire Anemometer

هذا الجهاز يستخدم لقياس سرعات الهواء والغازات بصورة دقيقة . كما يمكن استخدامه حيث مثال ذلك في الطبقات (Velocity gradients are large) التدرج في السرعة يكون كبيرا (Boundary layers) الحدية .

وفكرة عمل هذا الجهاز أساسها أن المقاومة الكهربية لسلك تكون دالة في درجة حرارة هذا السلك يستخدم في هذا الجهاز جزء قصير من سلك بلاتينيوم يوضح بين نهايتي جهد ويسخن بواسطة تيار كهربي . وبما أن المقاومة لمرور التيار خلال هذا السلك دالة في درجة حرارته ، فإن مرور تيار من مانع حول هذا السلك الساخن يبرده مغيرا بذلك من مقاومته .

ويجعل فرق الجهد أو التيار المار في هذا السلك ثابت بقيمة معقولة ، فإن التغير في الجهد أو التيار تكون مقياس للسرعة المانع حول هذا السلك .

يمكن معايرة هذا الجهاز عن طريق وضعه في تيار هواء معروف سرعته مسبقاً .

انتقال الحرارة من السلك إلي الوسط المحيط به يعتمد أيضاً على كثافة المانع ولذلك يجب معايرة الجهاز على نفس المانع المراد قياس سرعاته . جهاز مقياس سرعة الرياح ذات السلك الساخن يستخدم أساسا في قياس سرعة الغازات ويعطي قراءات غير دقيقة مع السوائل وذلك تكرر التجارب لفتحات مختلفة للبوابة عند 50% ، 75% ، 100% .

يمكن إيجاد علاقة منحني السرعة مع ارتفاع المجري كالأتي :

$$f(y) = V = Ay^2 + By + C$$

يمكن ايجاد الثوابت بالتعويض فى المعادلة السابقة بالقيمة المقاسة.

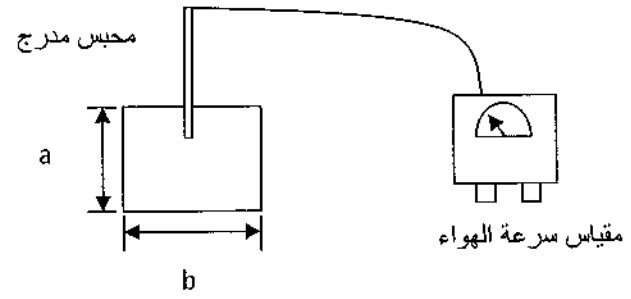
لوجود الفقاعات والمعالقات الصغيرة في السوائل والتي تتجمع على المحبس وتسبب أخطاء في القراءات .

خطوات تنفيذ التجربة:

1- نفتح البوابة على حد معين وليكن ربع فتحة 25% تقاس سرعة الهواء في المجري عن طريق تحريك محبس الجهاز من أسفل إلي أعلى حتى أخر نقطة ثم تؤخذ القراءة للسرعة من أسفل إلي أعلي .

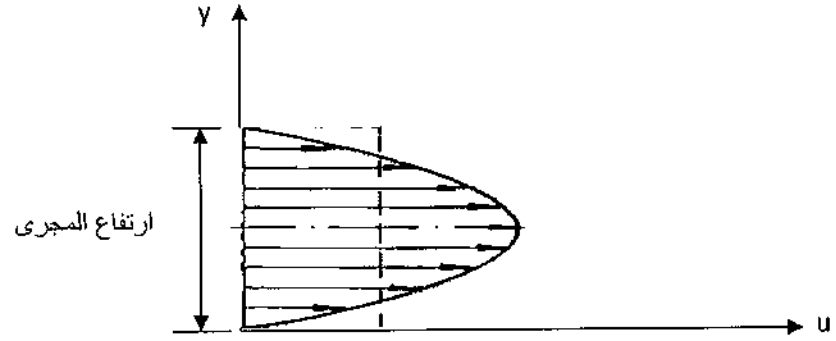
(ملاحظة) بالميتار لسرعة في الأتجاه الأفقي مثل السرعة في الأتجاة الرأسي a = b

2-يتم عمل جدول لتسجيل السرعات والمسافات كالآتي :



السرعـــــــة	أرتفـاع المحبس عن القـاعـدة
	أخر نقطة علوية للقياس

3- ترسم العلاقة ما بين المسافة الرأسية والسرعة كالآتي كما في الشكل



4- لقياس معدل التصرف يمكن استخدام العلاقة الآتية :

$$G = A\,\Delta V\; dA = V_{ave}A \qquad \left[\frac{m^3}{s}\right] \qquad (1)$$

حيث V_{ave} هي السرعة المتوسطة.

تقسم المسافة ما بين y_0 , y إلي عدة أجزاء متساوية Δy وكلما كانت الأجزاء كثيرة صغرت Δy وكلما كانت النتائج أدق.

توجد السرعة المتوسطة من العلاقة الآتية :

$$V_{ave} = \sum V \Delta y \begin{matrix} b \\ a.b \end{matrix} \qquad \left[\begin{matrix} m \\ s \end{matrix}\right]$$

من المعادلة (1) يمكن إيجاد التصرف خلال المجرى

يمكن تكرار التجربة وذلك عند معدلات تصرف اخرى

النتائج

run	V_{ave} m/sec	Discharge $m^3/_{sec}$
1		
2		
3		
4		

- **مناقشة النتائج:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- **أسئلة عامة:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

التجربة الثالثة

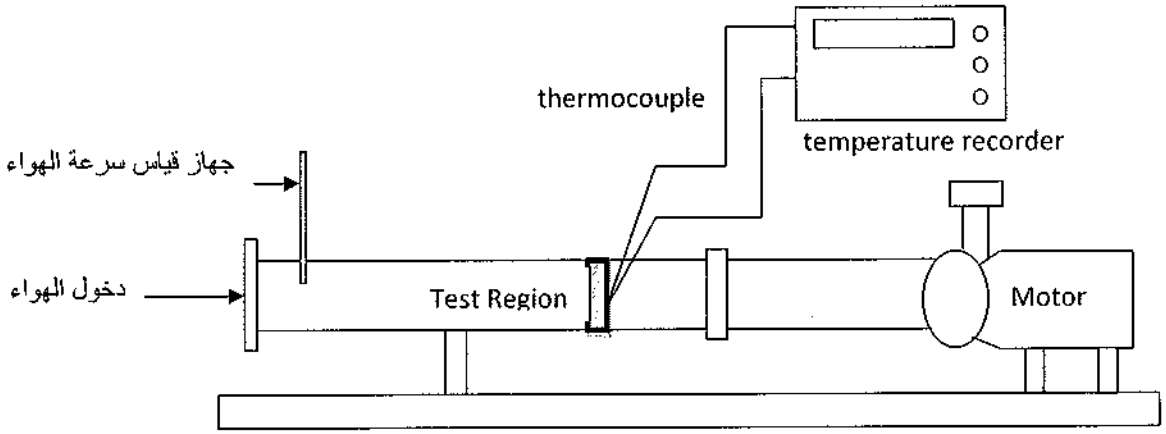
- **بيانات عامة:**

إسم التجربة: حساب معامل انتقال الحرارة بالحمل الجبرى والحر على اسطوانة رأسية

الفرقة المقرر عليها التجربة: الفرقة الثالثة (انتقال حرارة 2)

الفصل الدراسي: الأول

الأدوات المطلوبة للتجربة: الجهاز عبارة عن Wind Tunnel تسحب الهواء عن طريق Blower مزود ببوابة للتحكم في كمية الهواء المار اسطوانة رأسية من النحاس بداخلها سخان كهربى ومثبت عليها ثرموكابل وهو موضح بالشكل التالى :



خطوات تنفيذ التجربة:

1- نفتح البوابة على حد معين وليكن ربع فتحة 25% تقاس درجة الحرارة السطح مع الزمن .
2- يتم عمل جدول لتسجيل درجات الحرارة مع الزمن كالآتي :

Time, sec	Temperature, ^{o}C

الأساس النظري للتجربة:

معامل انتقال الحرارة بالحمل هو كمية الحرارة المنتقلة من سطح الجسم للمائع لوحدة المساحة و لفرق درجات حرارة مقدرها الوحدة بين السطح والمائع فى وحدة الزمن

نفرض ان المسالة Lumped system

the convection heat loss from the body is evidenced as a decrease in the internal energy of the body

$$Q=hA_s\,(T-T_{amb})=\rho\, C_p\, V(dT/dt)$$

$$\frac{T-T_{amb}}{T_{i-}\,T_{amb}} = e^{\frac{-hAs}{\rho\, cp\, V.t}}$$

Q كمية الحرارة المنتقلة عبر السطح فى الثانية [W]

A_s مساحة السطح المنتقلة عبره الحرارة[m^2]

T درجة الحرارة عند لحظة زمنية معينة [^oC]

T_{amb} درجة حرارة الوسط المحيط [^oC]

T_i درجة حرارة الابتدائية للجسم [^oC]

t زمن انتقال الحرارة [sec]

C_p الحرارة النوعية للجسم [J/kg. ^oC]

ρ كثافة الجسم [kg/m^3]

V حجم الجسم [m^3]

h معامل انتقال الحرارة بالحمل الجبرى [$W/m^2.\,^oC$]

من هذه المعادلة السابقة فإن

$$h=\frac{-\rho\, Cp\, V.\,t}{A_s}\ \ln\left(\frac{T-T_{amb}}{T_{i-}\,T_{amb}}\right) \qquad \left[\frac{W}{m^2\,K}\right]$$

خطوات تنفيذ التجربة:

- **تحضير العينة :**

تحضـر العينـة (اسـطوانة مـن النحـاس قطرهـا الخـارجي12mm وطولهـا 100mm) ويركب بداخلها السخان الكهربى وهذا السخان متصل بمنظم القدرة (Variac) للتحكم في قدرة السخان وبالتالي في درجة حرارة السطح كما تتصـل الازدواجـات الحراريـة المثبتـة علـى سـطح العينـة بجهـاز قيـاس درجـات الحرارة .

- **طريقة القياس :**

1- يشغل الجهاز بتشغيل السخان ومراقبة درجة الحرارة من مسجل دراجات الحرارة حتى نصل لدرجة حرارة السطح المطلوبة ويتم تشغيل نافخ الهواء ونفتح البوابة على حد معين وليكن ربع فتحة 25% و تقاس سرعة الهواء في المجري عن طريق تحريك محبس الجهاز من أسفل إلي أعلى حتى أخر نقطة ثم تؤخذ القراءة للسرعة من أسفل إلي أعلي لتحديد سرعة الهواء .

2- نقوم بتسجيل درجة حرارة سطح الجسم مع الزمن حتى نصل الى حالة الاستقرار و تدون النتائج في الجدول التالي .

- **النتائج:**

تدون النتائج في الجدول التالي :

Forced convection			Free convection		
Time (sec)	T [^{o}C]	h[W/m^{2}.k]	Time (sec)	T [^{o}C]	h[W/m^{2}.k]

من المعادلة التالية يمكن حساب معادلة انتقال الحرارة بالحمل الجبرى :

$$h_i = \frac{-\rho \, Cp \, V.t}{A_s} \ln\left(\frac{T - T_{amb}}{T_{i-} T_{amb}}\right) \qquad \left[\frac{W}{m^2 \, K}\right]$$

$h_{ave}=\Sigma h_i/n$

حيث nعدد القراءات المأخوذة اثناء اجراء التجربة

يمكن تكرار التجربة وذلك عند سرعات مختلفة للهواء وذلك لتغير رقم رينولد.

Re= ρ.u.d/μ مع حساب عند كل سرعة h_{ave} وبعدها رقم نسلت (Nusselt number)

Nu=h.d/k

حيث:

ρ كثافة المائع [kg/m^3]

u سرعة الهواء [m/s]

d قطر الاسطوانة [m]

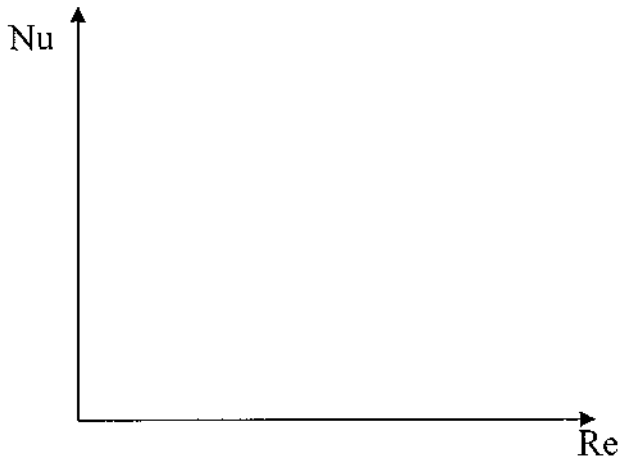
μ اللزوجة الديناميكية للهواء [Pa.sec]

k التوصلية الحرارية للهواء [W/m.k]

النتائج

u,m/s	Re	h_{ave}, $W/m^2.k$	Nu

بعد ذلك ترسم علاقة بين Re و Nu ومقارنة انتقال الحرارة بالحمل الحر ومقارنتها بالحمل الجبرى عند قيم Re المختلفة.



- **<u>مناقشة النتائج:</u>**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- **أسئلة عامة:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

التجربة الرابعة

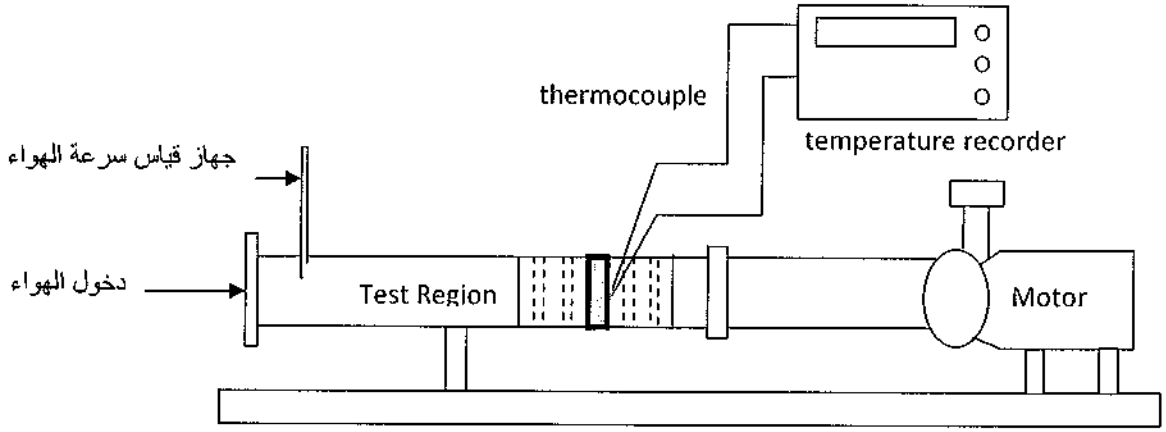
- **بيانات عامة:**

إسم التجربة: حساب معامل انتقال الحرارة بالحمل الجبرى على رصات انابيب

الفرقة المقرر عليها التجربة: الفرقة الثالثة (انتقال حرارة 2)

الفصل الدراسي: الأول

الأدوات المطلوبة للتجربة: الجهاز عبارة عن Wind Tunnel تسحب الهواء عن طريق Blower مزود ببوابة للتحكم في كمية الهواء المار و اسطوانة من النحاس بداخلها سخان كهربى ومثبت عليها ثرموكابل ومجموعة اسطوانات وهو موضح بالشكل التالى :



خطوات تنفيذ التجربة:

- **تحضير العينة :**

تحضر العينة (اسطوانة من النحاس قطرها الخارجى12mm وطولها 100mm) ويركب بداخلها السخان الكهربى وهذا السخان متصل بمنظم القدرة (Variac) للتحكم في قدرة السخان وبالتالي في درجة حرارة السطح كما تتصل الازدواجات الحرارية المثبتة على سطح العينة بجهاز قياس درجات

الحـــرارة . تـــرص مجموعـــة الاســـطوانات حـــول العينـــة (In-line) او (Staggered)

- **طريقة القياس :**

1-نفتح البوابة على حد معين وليكن ربع فتحة 25% تقاس درجة الحرارة السطح مع الزمن .
3- يتم عمل جدول لتسجيل درجات الحرارة مع الزمن كالآتي :

In-line arrangement		Staggered arrangement	
Time , sec	Temperature ,°C	Time , sec	Temperature ,°C

الأساس النظرى للتجربة:

معامل انتقال الحرارة بالحمل هو كمية الحرارة المنتقلة من سطح الجسم للمائع لوحدة المساحة و لفرق درجات حرارة مقدرها الوحدة بين السطح والمائع فى وحدة الزمن

The convection heat loss from the body is evidenced as a decrease in the internal energy of the body

$Q=hA_s\ (T-T_{amb})=\rho\ C_p\ V(dT/dt)$

$$\frac{T-T_{amb}}{T_{i-}\ T_{amb}} = e^{\frac{-hAs}{\rho\ cp\ V.t}}$$

Q كمية الحرارة المنتقلة عبر السطح فى الثانية [W]

A_s مساحة السطح المنتقلة عبره الحرارة[m^2]

T درجة الحرارة عند لحظة زمنية معينة [°C]

T_{amb} درجة حرارة الوسط المحيط [°C]

T_i درجة حرارة الابتدائية للجسم [°C]

t زمن انتقال الحرارة [sec]

C_p الحرارة النوعية للجسم [J/kg. °C]

ρ كثافة الجسم [kg/m^3]

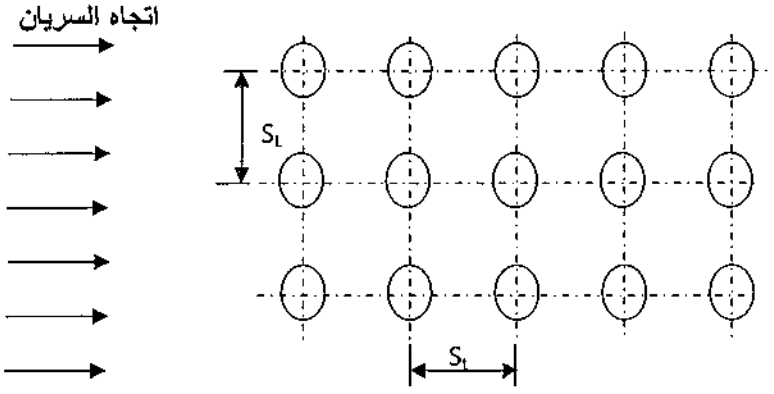
V حجم الجسم [m^3]

h معامل انتقال الحرارة بالحمل الجبرى [W/m^2. °C]

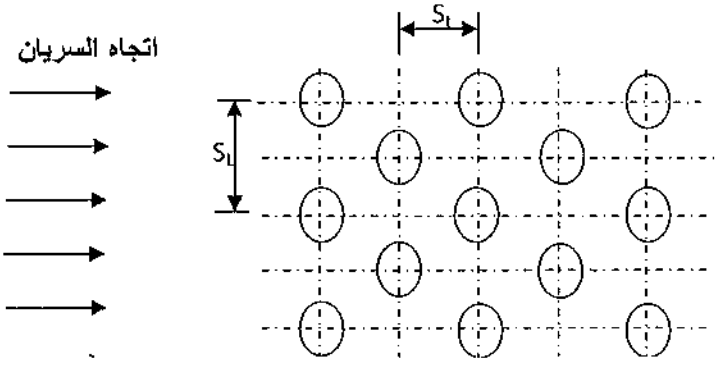
من هذه المعادلة السابقة فإن

$$h = \frac{-\rho\, Cp\, V.t}{A_s} \ln\left(\frac{T - T_{amb}}{T_i - T_{amb}}\right) \qquad \left[\frac{W}{m^2\, K}\right]$$

انتقال الحرارة فى الانسياب المتعامد على رصات انابيب اهمية خاصة عند تصميم المبادلات الحرارية . ويعتمد معدل انتقال الحرارة من الانابيب الى الوسط على شكل ترتيب الانابيب والتى تكون اما مستقيمة (متوازية) (In-line) او متعرجة (متناوب)(Staggered)



In-line arrangement



- **النتائج:**

تدون النتائج في الجدول التالي :

In-line arrangement			Staggered arrangement		
Time , sec	T ,°C	h,W/m^2.K	Time , sec	T ,°C	h,W/m^2.K

من المعادلة التالية يمكن حساب معادلة انتقال الحرارة بالحمل الجبرى :

$$h_t = \frac{-\rho\ \mathrm{Cp}\ V.t}{A_s}\ \ln\left(\frac{T - T_{amb}}{\mathrm{T_{i-}\ T_{amb}}}\right) \qquad \left[\frac{W}{m^2\ K}\right]$$

$h_{ave}=\Sigma h_i/n$

حيث n عدد القراءات المأخوذة اثناء اجراء التجربة

يمكن تكرار التجربة وذلك عند سرعات مختلفة للهواء وذلك لتغير رقم رينولد.

Re= ρ.u.d/μ مع حساب عند كل سرعة h_{ave} وبعدها رقم نسلت (Nusselt number)

Nu=h.d/k

حيث:

ρ كثافة المائع [kg/m^3]

u سرعة الهواء [m/s]

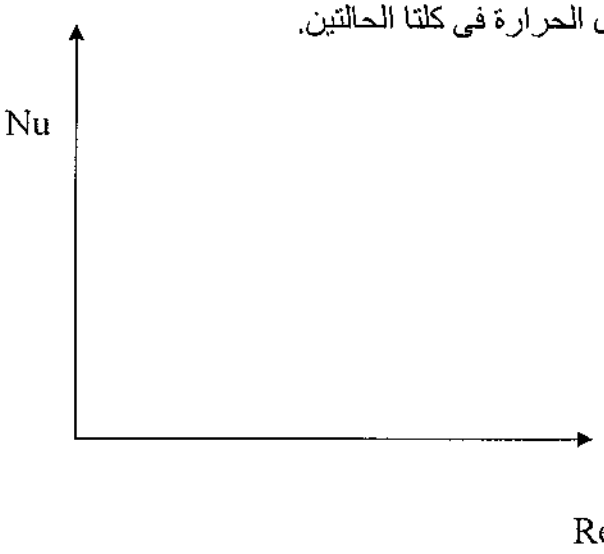
d قطر الاسطوانة [m]

μ اللزوجة الديناميكية للهواء [Pa.sec]

k التوصلية الحرارية للهواء [W/m.k]

u , m/sec	Re	In-line arrangement		Staggered arrangement	
		h_{ave},W/m^2.K	Nu	h_{ave},W/m^2.K	Nu

بعد ذلك ترسم علاقة بين Re و Nu فى حالة الترتيب المتوازى والمتناوب للانابيب. مع مقارنة معامل انتقال الحرارة فى كلتا الحالتين.



- **مناقشة النتائج:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- **أسئلة عامة:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....