

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الكهرباء (2) + الحرارة

كلية الهندسة المدنية – السنة الأولى

د. صبا عياش

تعريف عامة في السوائل

تصحيح شريحة في المحاضرة 6

الكتلة الحجمية ρ (الكثافة) : كتلة واحدة الحجم وهي نسبة كتلة المادة إلى حجمها

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

الجملة الدولية kg/m³

الجملة السغوية g/cm³

واحدة الكتلة
الحجمية

الوزن الحجمي W_v : وزن واحدة الحجم ويعبر عن نسبة وزن الجسم إلى حجمه

$$W_v = \frac{mg}{V}$$

الجملة الدولية N/m³

الجملة السغوية dyne/cm³

واحدة الوزن
الحجمي

$$W_t = \frac{\rho}{\rho_w}$$

الوزن النوعي W_t : نسبة الكتلة الحجمية للمادة إلى الكتلة الحجمية للماء

$$\rho_w = 1\text{g/cm}^3 = 1000\text{kg/m}^3$$

ليس له واحدة

مسألة في الكهرباء

مثلث قائم الزاوية متساوي الساقين ABC : $AB=AC=5\text{cm}$ وضعت في رؤوسه شحنات متساوية $q_A=q_B=+1 \times 10^{-7} \text{ coul}$ ، $q_C=-1 \times 10^{-7} \text{ coul}$ و المطلوب : أوجد شدة القوى المؤثرة في الرأس A ؟

تخضع الشحنة A لقوتين : قوة تجاذب مع الشحنة C (\vec{F}_{CA}) و قوة تنافر مع الشحنة B (\vec{F}_{BA})

$$|\vec{F}| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

محصلة القوى المؤثرة على الشحنة في الرأس A هي القوة F وتحسب من العلاقة:

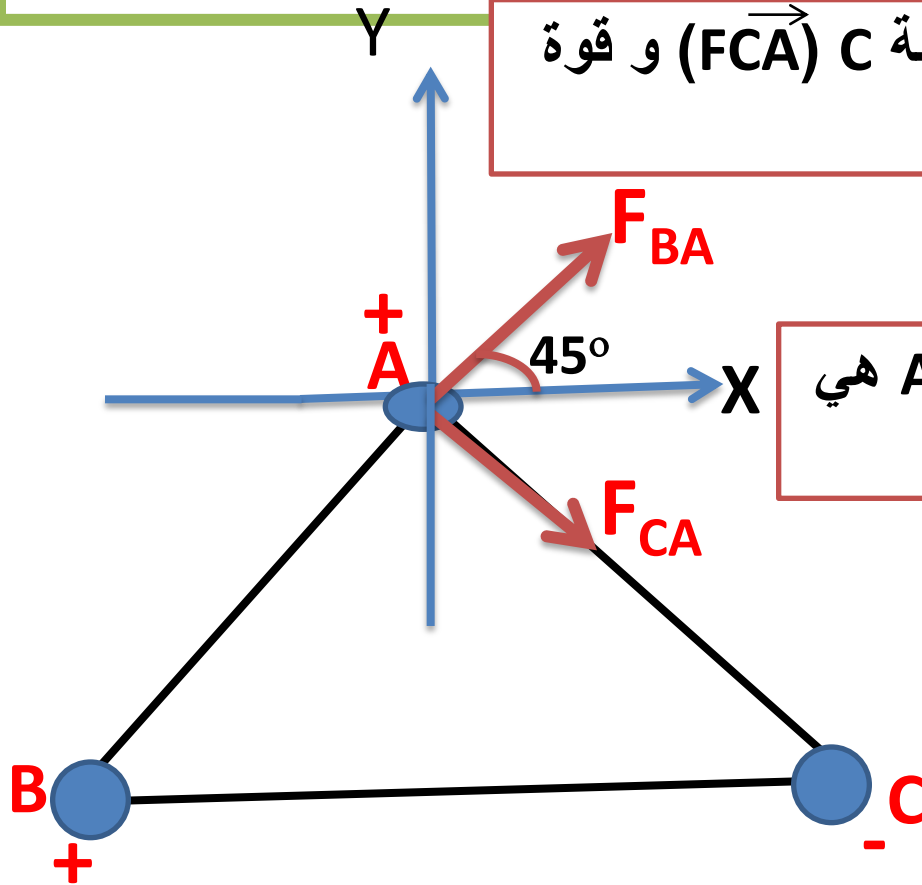
$$F_x = F_{BA} \cos 45 + F_{CA} \cos 45$$

$$F_y = F_{BA} \sin 45 - F_{CA} \sin 45$$

$$F_y = 0 \quad F_{BA} = F_{CA}$$

$$F = F_x = 2F_{BA} \cos 45 = 2F_{BA} \frac{\sqrt{2}}{2} = 2 \times 0.036 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 5.04 \times 10^{-2} \text{ N}$$

$$F_{BA} = F_{CA} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_B q_A}{BA^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_C q_A}{CA^2} = 9 \times 10^9 \frac{(10^{-7})^2}{(5 \times 10^{-2})^2} = 0.036 \text{ N}$$



مسألة في حساب الحقل و الكمون

توضع ثلاث شحنات موجبة متساوية
($q=+1\mu\text{C}$) في رؤوس مثلث متساوي
الأضلاع ABC (طول ضلعه 5m) ، أوجد شدة
الحقل و الكمون الكهربائي في رأس المثلث B
الناتج عن الشحنتين في القاعدة

الحقل الكهربائي في الرأس B
 $\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_C$ و تحسب شدتها من العلاقة

$$|\vec{E}| = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

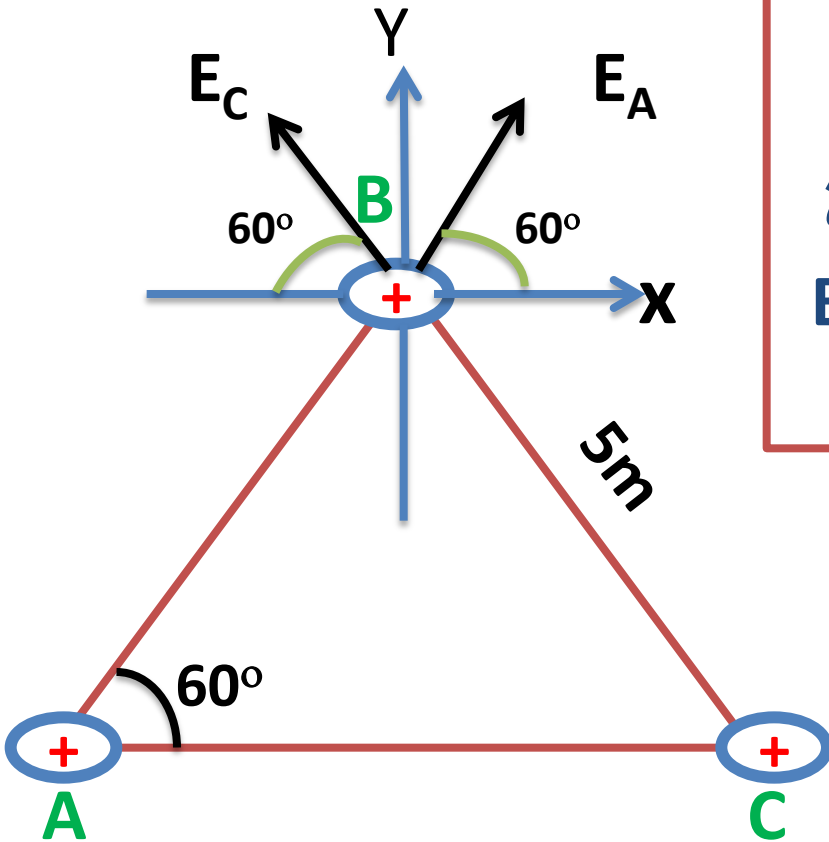
$$E_x = E_A \cos 60 - E_C \cos 60 = 0$$

$$E_y = E_A \sin 60 + E_C \sin 60$$

$$E = E_y = 2E_A \sin 60 = 2E_A \times \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \leftarrow E_A = E_C$$

$$E = 2 \times 360 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 622.8 \text{ N/C}$$

$$E_A = E_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_A}{BA^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_C}{BC^2} = 9 \times 10^9 \frac{1 \times 10^{-6}}{(5)^2} = 360 \text{ N/C}$$



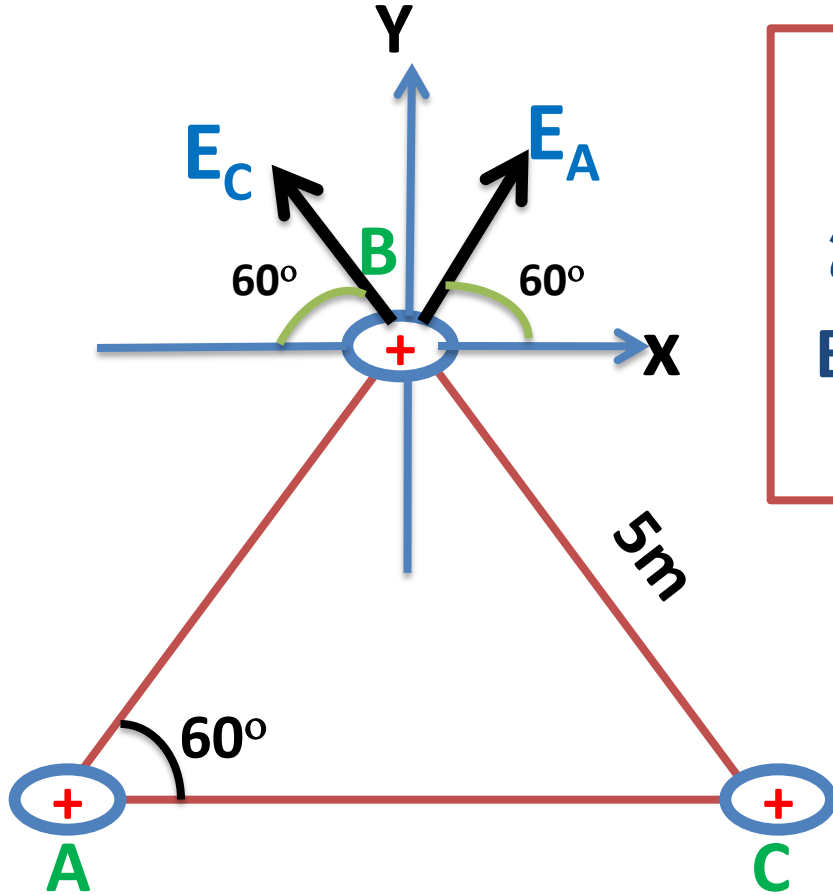
مسألة في حساب الحقل و الكمون

توضع ثلاث شحنات موجبة متساوية ($q=+1\mu\text{C}$) في رؤوس مثلث متساوي الأضلاع ABC (طول ضلعه 5m) ، أوجد شدة الحقل و الكمون الكهربائي في رأس المثلث B الناتج عن الشحنتين في القاعدة

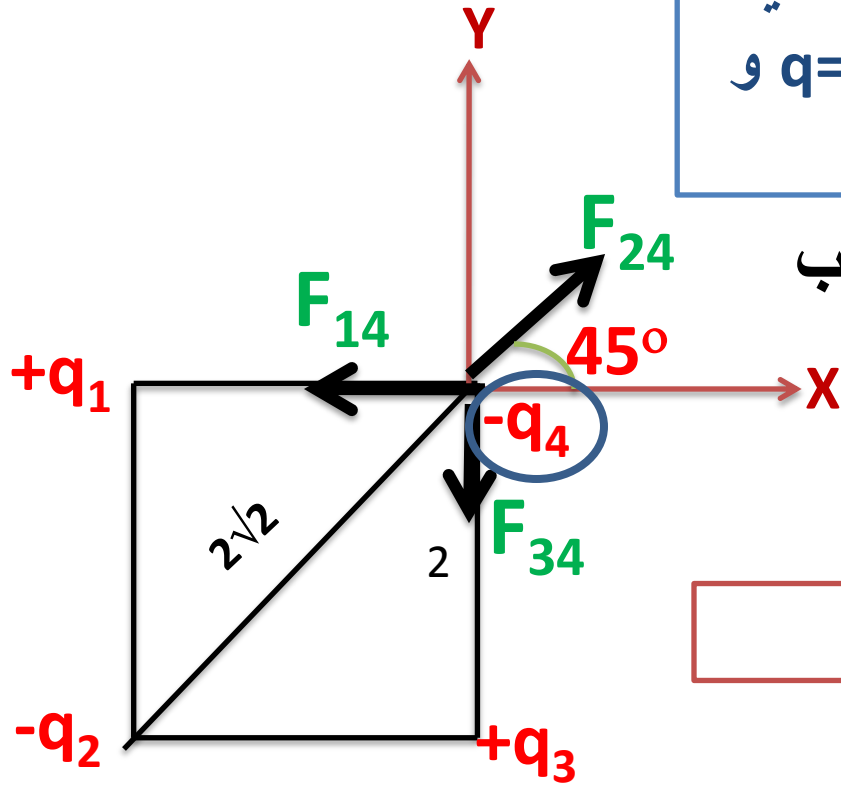
الكمون الكهربائي في الرأس B
 $V=V_A+V_C$ و تحسب شدتها من العلاقة

$$V_A = V_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_A}{BA} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_C}{BC} = 9 \times 10^9 \frac{1 \times 10^{-6}}{(5)} = 1800\text{V} = 1.8\text{kV}$$

$$V=1.8+1.8=3.6\text{kV}$$



أوجد محصلة القوى المؤثرة في الرأس الرابع حيث طول ضلع المربع 2m و قيمة الشحنة $q=10\mu\text{C}$ و الإشارات وفق الشكل المبين.



تخضع الشحنة q_4 لثلاث قوى : قوتا تجاذب مع الشحنتين q_1 و q_3 : F_{34} و F_{14} قوة تنافر مع الشحنة q_2 : F_{24}

$$\vec{F} = \vec{F}_{14} + \vec{F}_{24} + \vec{F}_{34}$$

محصلة القوى على المحور X : F_{14} , $F_{24}\cos 45$

$$1 \quad F_x = F_{24}\cos 45 - F_{14}$$

محصلة القوى على المحور Y : F_{34} , $F_{24}\sin 45$

$$2 \quad F_y = F_{24}\sin 45 - F_{34}$$

$$F_{14} = F_{34} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_4}{(2)^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_3 q_4}{(2)^2} = 9 \times 10^9 \frac{(10 \times 10^{-6})^2}{4} = 0.225 \text{ N}$$

$$F_{24} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 q_4}{(2\sqrt{2})^2} = 9 \times 10^9 \frac{(10 \times 10^{-6})^2}{8} = 0.1125 \text{ N}$$

نعوض في 1 و 2

$$F = 0.218 \text{ N}$$

$$F_y = -0.14625 \text{ N}$$

$$F_x = -0.14625 \text{ N}$$

تعاريف في بحث التيار الكهربائي

التيار الكهربائي i : مقدار الشحنة الكهربائية التي تعبر مساحة المقطع العرضي A من السلك خلال فاصل زمني dt ، واحده الأمبير A :

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{q}{t}$$

كثافة التيار الكهربائي J : نسبة شدة التيار I إلى مساحة مقطع الناقل أي $J = I/A = -nev$ ، حيث n عدد الإلكترونات في وحدة الحجم ، v السرعة الوسطية للإلكترونات ، e شحنة الإلكترون

أنواع التيار الكهربائي

التيار المستمر: تكون حركة الإلكترونات ضمن الناقل منتظمة أي سرعة الإلكترونات ثابتة مع الزمن $I = C$

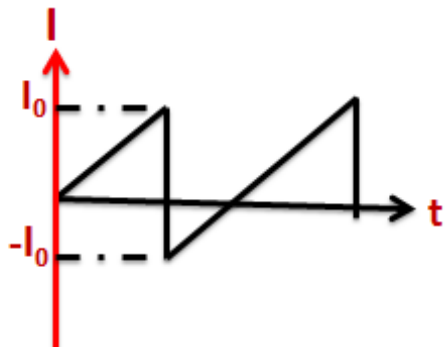


التيار المتناوب: تكون حركة الالكترونات غير ثابتة مع الزمن ، و له عدة أشكال :

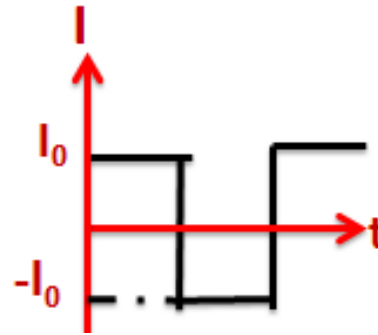
التيار المتناوب الجيبي: تكون حركة الالكترونات حركة اهتزازية توصف بتابع جيبي مع الزمن وفق العلاقة $I = I_0 \sin \omega t$ ، I_0 شدة التيار في اللحظة $t=0$ ، السرعة الزاوية لحركة الالكترونات وتعطى بالعلاقة $\omega = 2\pi f$ حيث f تردد التيار المتناوب.

التيار المتناوب المربع: شكل التيار مع الزمن (حركة الالكترونات) عبارة عن موجات مربعة.

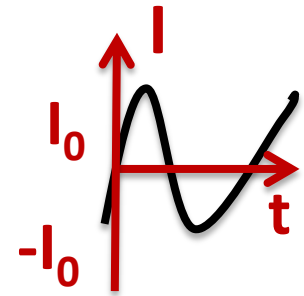
التيار المتناوب ذو سن المنشار: شكل التيار مع الزمن عبارة عن سن المنشار



التيار المتناوب ذو سن المنشار



التيار المتناوب المربع



التيار المتناوب الجيبي

عناصر الدارات الكهربائية: المقاومة الكهربائية - الملف - المكثف الكهربائية

المقاومة الكهربائية

ترتبط حركة الاكترونات(التيار الكهربائي) ضمن الناقل مع فرق الكمون المطبق على الناقل بالعلاقة :

$$I = \sigma \frac{V.A}{L}$$

يسمى σ ثابت الناقلية الكهربائية وهو ثابت يتعلق بنوع المادة و يرتبط مع المقاومة النوعية بالعلاقة :

$$I = \frac{V}{\rho \frac{L}{A}}$$

$$\rho = \frac{V.A}{L.I}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

بالمقاومة الكهربائية $R=V/I$

$$\rho \frac{L}{A}$$

يسمى المقدار

Ω

واحدة R

$\Omega.m$

واحدة ρ

المكثفات الكهربائية

المكثف : ناقلين معزولين عن بعضهما مشحونين بشحنتين متساويتين بالقيمة مختلفتين بالإشارة ، يسمى الناقلان باللبوسين ويفصل بينهما عازل أو الهواء

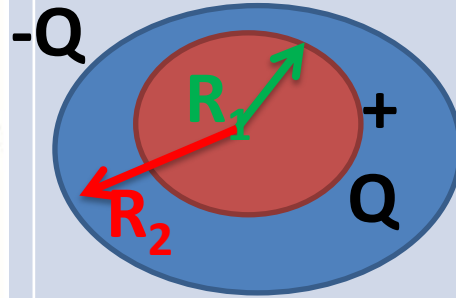
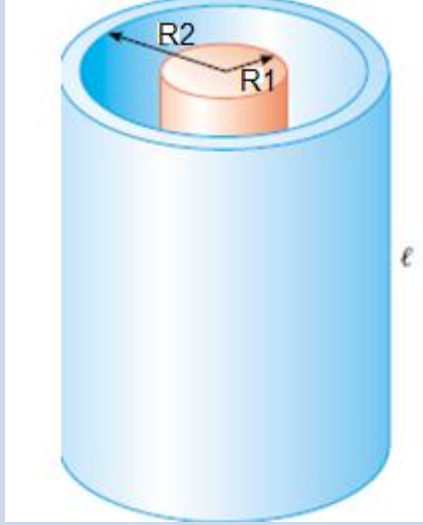
سعة المكثفة : إذا كان لدينا ناقل مشحون كهربائياً بشحنة Q وكمونه V تسمى نسبة شحنة المكثف إلى كمونها بسعة المكثفة و يرمز لها بالرمز C :

$$C = \frac{Q}{V_1 - V_2}$$

واحدات أخرى للسعة μF PF nF

واحدة السعة
[C]=coul/volt=Farad

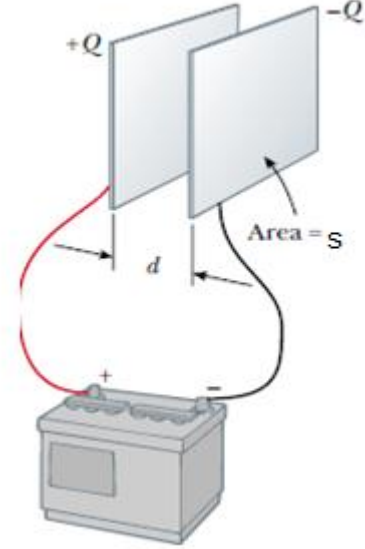
المكثفة الأسطوانية



المكثفة الأسطوانية:
 ناقلان أسطوانيان نصف
 قطر الناقل الداخلي R_1
 ونصف قطر الناقل
 الخارجي R_2

المكثفة الكروية

المكثفة المستوية



المكثفة الكروية : ناقلان
 كرويان متحدا المركز
 نصف قطر الأول R_1 و
 نصف قطر الناقل الثاني
 R_2

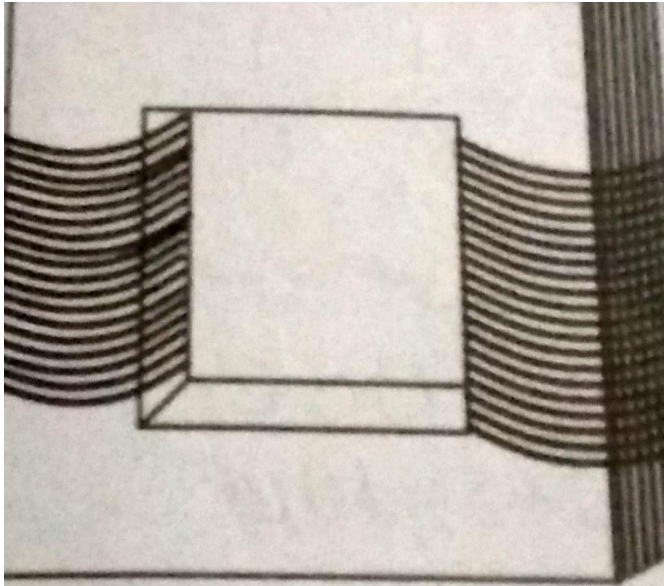
المكثفة المستوية : عبارة
 عن ناقلين مستويين البعد
 بينهما d ، تعطى سعة
 المكثفة المستوية
 بالعلاقة:

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

الملف الكهربائي (الوشية): سلك ناقل ملفوف عدد لفاته N ثابت وله نصف قطر معين و يسمى بالوشية ، و للملف ثابت مميز يسمى بذاتية الملف يرمز له بـ L و واحدته الهنري H

المحولات: تتألف المحولة العادية من نواة حديدية مغلقة على شكل صفائح معزولة بعضها عن بعض و يلف عليها سلكان نحاسيان يؤلفان وشيعةتين مستقتلتين متقابلتين

تسمى الوشية التي تتلقى التيار المتناوب بالوشية (الملف الأولي) والوشية أو الملف الذي نأخذ منه التيار بالملف الثانوي.



الملف
الثانوي

N2

الملف
الأولي

N1

الحرارة

السلالم الحرارية

الحرارة : شكل من أشكال الطاقة التي ترافق حركة الجزيئات أو الذرات داخل المادة ، و ترتبط الحرارة مع انتقال الطاقة الناتج غالبا عن فرق بين درجة حرارة الوسط و درجة حرارة الجسم المدروس .

درجة الحرارة : تقيس مستوى الطاقة الحرارية و تعد مقياس لدرجة سخونة الجسم و توجد عدة مقاييس لدرجات الحرارة

مقاييس درجة الحرارة:

المقياس المئوي (سيلزيوس) C°

المقياس المطلق (الكلفن) K

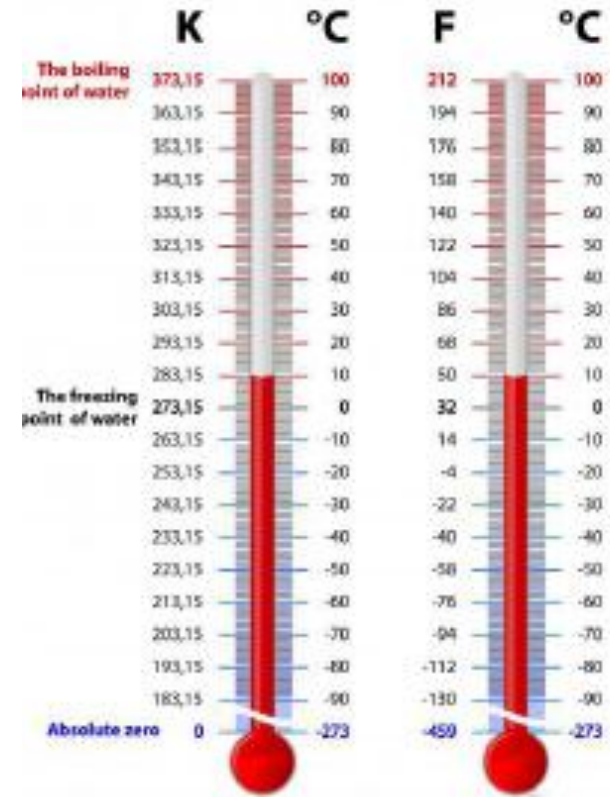
المقياس الفهرنهايتي F

$$K = 273 + C$$

$$C = K - 273$$

$$F = \frac{9}{5} \times C + 32$$

$$C = \frac{5}{9} \times (F - 32)$$



الحرارة

السعة الحرارية للجسم

كمية الحرارة التي يكتسبها الجسم كي ترتفع درجة حرارته درجة مئوية واحدة

ماهي واحدة السعة الحرارية؟

$$q = \frac{Q}{\Delta T}$$

الحرارة النوعية C

كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 كيلو غرام من المادة درجة مئوية واحدة

ماهي واحدة الحرارة النوعية؟

$$C = \frac{q}{m \cdot \Delta T}$$

←

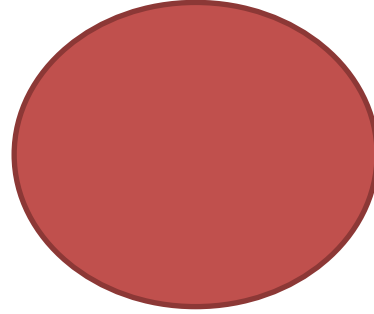
$$C = \frac{q}{m}$$

مبدأ التوازن الحراري

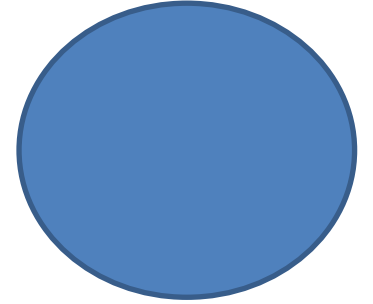
تطبيق مبدأ انحفاظ الطاقة لدراسة التبادل الحراري بين جسمين وفق درجتى حرارة مختلفتين وصولاً لدرجة حرارة التوازن

$$Q_1 = Q_2$$

$$T_1 > T_2$$



$$m_2, C_2, T_2$$



$$m_1, C_1, T_1$$

T_3 : درجة حرارة التوازن

تحويل الطاقة من شكل لآخر

مثال حالة سخان كهربائي
مطبق عليه كمون V و يمر
ضمنه تيار I

$$W=Q$$

تحويل الطاقة الكهربائية
إلى طاقة حرارية

مثال تحويل الطاقة الحركية
لجسم متحرك إلى طاقة حرارية
نتيجة اصطدامه بالأرض

$$E_k=Q$$

تحويل الطاقة الحركية و
الكامنة إلى طاقة حرارية

أمثلة محلولة ص 147 ، 150 ، 151

مسألة في الحرارة

سخانة باستطاعة 700W ترفع درجة حرارة كمية من الماء من الدرجة 20°C إلى الدرجة 100°C خلال عشر دقائق إذا كانت الحرارة النوعية للماء 4200J/kg.K / كلفن و بإهمال الفقدان الحراري: أوجد كتلة الماء؟

طاقة كهربائية ← طاقة حرارية

$$Q = W$$

$$m.C. \Delta T = P.t$$

$$m \times 4200 \times 80 = 700 \times 600$$

$$m = 1.25\text{kg}$$

$$m = 1250\text{g}$$

$$P = 700\text{W}$$

$$T_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 100^\circ\text{C}$$

$$t = 10\text{min} = 10 \times 60 = 600\text{s}$$

$$C = 4200\text{J/kg.K}$$

مفهوم العزل الحراري

- ✓ تعد عملية عزل المنازل حراريا ضرورة اقتصادية لتوفير استهلاك الطاقة .
- ✓ يتم العزل الحراري بواسطة الجدران المملوءة بالفجوات الهوائية و النوافذ الزجاجية المزدوجة.

معامل التسرب الحراري

$$\frac{dE / dt}{S \cdot \Delta T} = \frac{\text{فقدان الطاقة الحرارية}}{\text{مساحة السطح} \times \text{فرق درجتي الحرارة}} = U$$

واحدة U

كيف تختلف قيمة U للنواقل الجيدة و العوازل الجيدة للحرارة ؟

علاقة U بالثخانة L

U للنوافذ المزدوجة و النوافذ ذات الطبقة الواحدة

U للجدران المحتوية على فجوات هوائية

ماذا لو ملئت الفجوات بمادة عازلة ؟

مسألة

تبلغ مساحة جدار قرميدي $3 \times 4 \times m^2$ و سماكته 10 cm إذا علمت أن $\Delta T = 50 \text{ K}^\circ$ فأوجد:

- (1) معامل التسرب الحراري و الاستطاعة للجدار
- (2) معدل فقدان الطاقة الحرارية من الجدار القرميدي إذا احتوى على فجوات هوائية (و مملوءة بمادة عازلة) و أصبح معامل التسرب الحراري مساويا إلى $0.6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- (3) -التناقص في الطاقة المستهلكة (بسبب العزل الناتج عن الفجوات الهوائية) خلال يوم كامل. $K_b = 0.5 \text{ w/m} \cdot \text{K}^\circ$ القرميد.

(1) - معامل التسرب الحراري يحسب من العلاقة : $U = \frac{K}{X} = \frac{0.5}{0.1} = 5 \text{ W/m}^2 \text{ k}$

الاستطاعة الحرارية (P أو dE/dT): $P_1 = U \cdot S \cdot \Delta T = 5 \times 12 \times 50 = 3000 \text{ Watt}$

(2) $P_2 = U \cdot S \cdot \Delta T = 0.6 \times 12 \times 50 = 360 \text{ Watt}$ عزل أفضل $\Leftarrow U$ و P أصغر من الحالة السابقة

(3) -التناقص في الاستطاعة الحرارية نتيجة العزل بواسطة الفجوات :

التناقص في كمية الطاقة المستهلكة بسبب العزل $P_1 - P_2 = 3000 - 360 = 2640 \text{ Watt}$

خلال يوم $2640 \times 24 \times 60 \times 60 = P \times t$

علاقة U بالثخانة L

واحدة K

K معامل التوصيل الحراري
(الناقلية الحرارية) ولها
قيمة ثابتة لكل مادة من
المواد

$$U = \frac{k}{L}$$

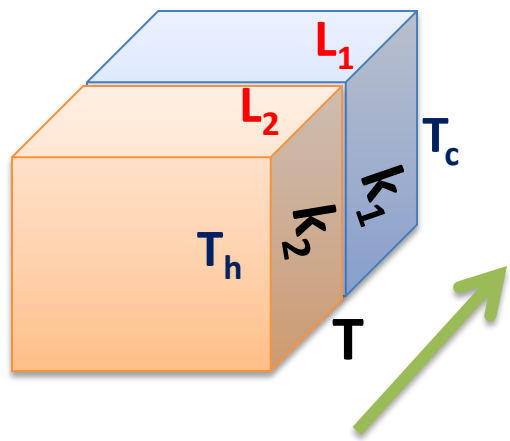
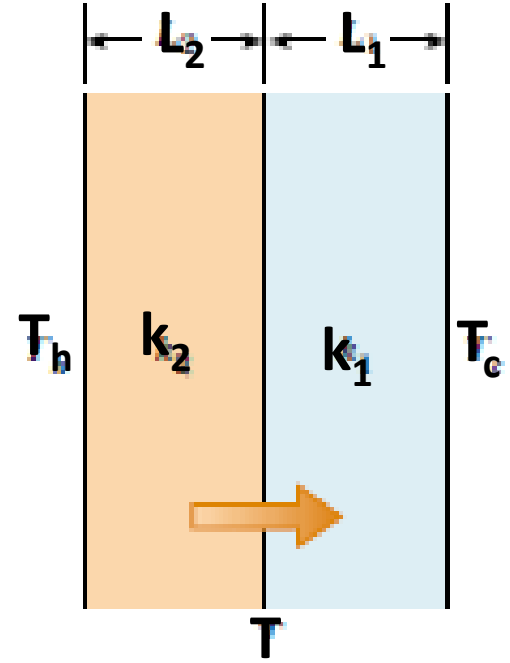
معدل تدفق الطاقة الحرارية

$$P = \frac{dE}{dt} = k \cdot S \cdot \frac{(T_h - T_c)}{L} \quad \Leftarrow \quad U = \frac{k}{L} = \frac{dE/dt}{S \cdot \Delta T}$$

حيث T_h, T_c درجات الحرارة عند طرفي الجسم المدروس بحيث تكون $T_h > T_c$

انتقال الطاقة الحرارية بين لوحين على تماس فيما بينهما

- ❖ ليكن لدينا لوحين على تماس مع بعضهما البعض:
ثخانة اللوح الأول L_1 و معامل التوصيل الحراري له k_1
ثخانة اللوح الثاني L_2 و معامل التوصيل الحراري له k_2
❖ درجة حرارة السطوح الخارجية للوحين : T_h ، T_c
على الترتيب بحيث $T_c < T_h$.
❖ تحسب درجة حرارة سطح التماس بين اللوحين T في حالة الاستقرار الحراري من العلاقة:
معدل تدفق الطاقة الحرارية عبر اللوح 1 = معدل تدفق الطاقة الحرارية عبر اللوح 2



$$k_1 \cdot S \cdot \frac{(T - T_c)}{L_1} = k_2 \cdot S \cdot \frac{(T_h - T)}{L_2}$$

عزل المنازل

تدعى النسبة L/k بالقيمة R وتستعمل هذه القيمة بشكل شائع في عزل المباني و لها قيمة ثابتة لكل مادة من المواد المستخدمة في البناء وترتبط مع عملية العزل الحراري.

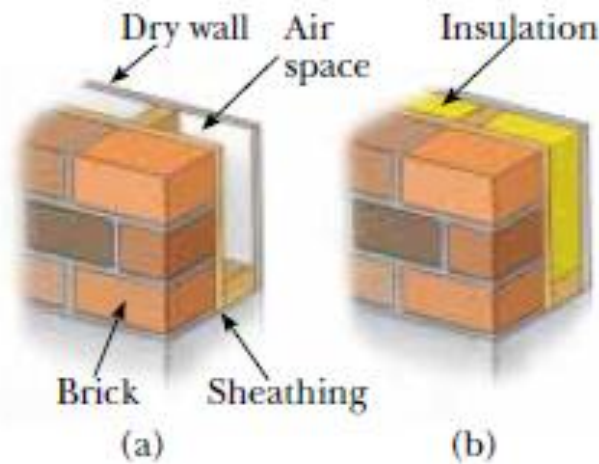
بتعويض قيمة R في علاقة تدفق الطاقة الحرارية من أجل جدار مكون من أكثر من طبقة نجد:

$$P = \frac{dE}{dt} = S \cdot \frac{(T_h - T_c)}{\sum_i R_i}$$

حيث $\sum_i R_i$ مجموع قيم R للطبقات المكونة للجدار

ملاحظة : لدى دراسة قيمة R لأي سطح معرض للهواء يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار وجود طبقة سطحية و رقيقة من الهواء الساكن الملاصقة للسطح (تتعلق ثخانة هذه الطبقة بسرعة الرياح) حيث تؤخذ قيمة R لها وتضاف لقيم R لباقي الطبقات

يبين الشكل التالي حائط مكون من الطبقات التالية : طبقة هواء خارجية، قرميد أحمر ، فجوة هوائية ، حشوة (Sheathing) ، جدار جاف، طبقة هواء داخلية).



Solution Referring to Table 20.4, we find that

R_1 (outside stagnant air layer)	= 0.17 ft ² ·°F·h/Btu
R_2 (brick)	= 4.00 ft ² ·°F·h/Btu
R_3 (sheathing)	= 1.32 ft ² ·°F·h/Btu
R_4 (air space)	= 1.01 ft ² ·°F·h/Btu
R_5 (drywall)	= 0.45 ft ² ·°F·h/Btu
R_6 (inside stagnant air layer)	= 0.17 ft ² ·°F·h/Btu
R_{total}	= 7.12 ft ² ·°F·h/Btu

وحدة R المستخدمة

لإيجاد قيمة R الكلية للجدار تجمع قيم R لكل طبقة من الطبقات المكونة للجدار

التمدد الحراري

عندما نسخن جسم معدني أو قضيب فولاذي لدرجة حرارة عالية فإنه يتمدد نتيجة التسخين و يتقلص عند تبريده .

تعد هذه العملية مهمة لتصميم و بناء الإنشاءات الهندسية حيث تتشكل **قوى مدمرة للبناء** نتيجة التمدد (صيفا) و التقلص (شتاء).

مثال : إكساء سطوح المباني بطبقات سيراميكية ،
تصميم الجسور

اختلاف حجم الأجسام نتيجة التمدد و التقلص مما يؤثر على
تصدع انابيب المياه في الجو البارد

التمدد الطولي

تغير طول الجسم نتيجة تغير درجة الحرارة بالتسخين

معامل التمدد الطولي α

ماهي
واحدة α ؟

التمدد السطحي و الحجمي

تغير مساحة الجسم أو حجمه نتيجة تغير درجة الحرارة بالتسخين

معامل التمدد الحجمي γ

معامل التمدد السطحي β

ماهي واحدة

γ β

د. صبا عيش

توضع ثلاثة أنابيب شعيرية في الماء فيرتفع الماء داخل الأنابيب على ارتفاعات 2cm,4cm,8cm إذا علمت أن الماء يبيل الزجاج بشكل كامل فأوجد :

- أنصاف أقطار الأنابيب
- أنصاف أقطار تقعر سطح الماء داخل الأنابيب
- لضغط اللابلاسي المطبق في كل أنبوب

حيث σ للماء = 0.073N/m

$\alpha=0$

ρ للماء = 1000kg/m³

$$R_{\text{tube}}=2\sigma\cos\alpha/\rho gh \iff h=2\sigma\cos\alpha/\rho gR_{\text{tube}}$$

نصف قطر الأنبوب الأول $R_{\text{tube1}}=2\times 0.073\times 1/10^3\times 10\times 8\times 10^{-2}= 1.8\times 10^{-4} \text{ m}$

نصف قطر الأنبوب الثاني $R_{\text{tube2}}=2\times 0.073\times 1/10^3\times 10\times 4\times 10^{-2}= 3.65\times 10^{-4} \text{ m}$

نصف قطر الأنبوب الثالث $R_{\text{tube3}}=2\times 0.073\times 1/10^3\times 10\times 2\times 10^{-2}= 7.3\times 10^{-4} \text{ m}$

توضع ثلاثة أنابيب شعرية في الماء فيرتفع الماء داخل الأنابيب على ارتفاعات 2cm,4cm,8cm إذا علمت أن الماء يبلى الزجاج بشكل كامل فأوجد :

- أنصاف أقطار تقعر سطح الماء داخل الأنابيب
- لضغط اللابلاسي المطبق في كل أنبوب

$$\text{Cos}\alpha = R_{\text{tube}}/R$$

نصف قطر تقعر سطح الماء يحسب من العلاقة

$$R_{\text{tube3}} = R_3 \\ = 7.3 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$R_{\text{tube2}} = R_2 \\ = 3.65 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$R_{\text{tube1}} = R_1 \\ = 1.8 \times 10^{-4} \text{ m}$$

و بما أن التبلل كلي : $\text{cos}\alpha = 1$ ←

يحسب الضغط اللابلاسي من العلاقة $Pl = 2\sigma/R$

الضغط اللابلاسي في الأنبوب الأول : $Pl_1 = 2 \times 0.073 / 1.8 \times 10^{-4} = 800 \text{ Pa}$

الضغط اللابلاسي في الأنبوب الثاني : $Pl_2 = 2 \times 0.073 / 3.65 \times 10^{-4} = 400 \text{ Pa}$

الضغط اللابلاسي في الأنبوب الثالث : $Pl_3 = 2 \times 0.073 / 7.3 \times 10^{-4} = 200 \text{ Pa}$

كما يمكن حساب الضغط اللابلاسي من العلاقة : $Pl = \rho gh$