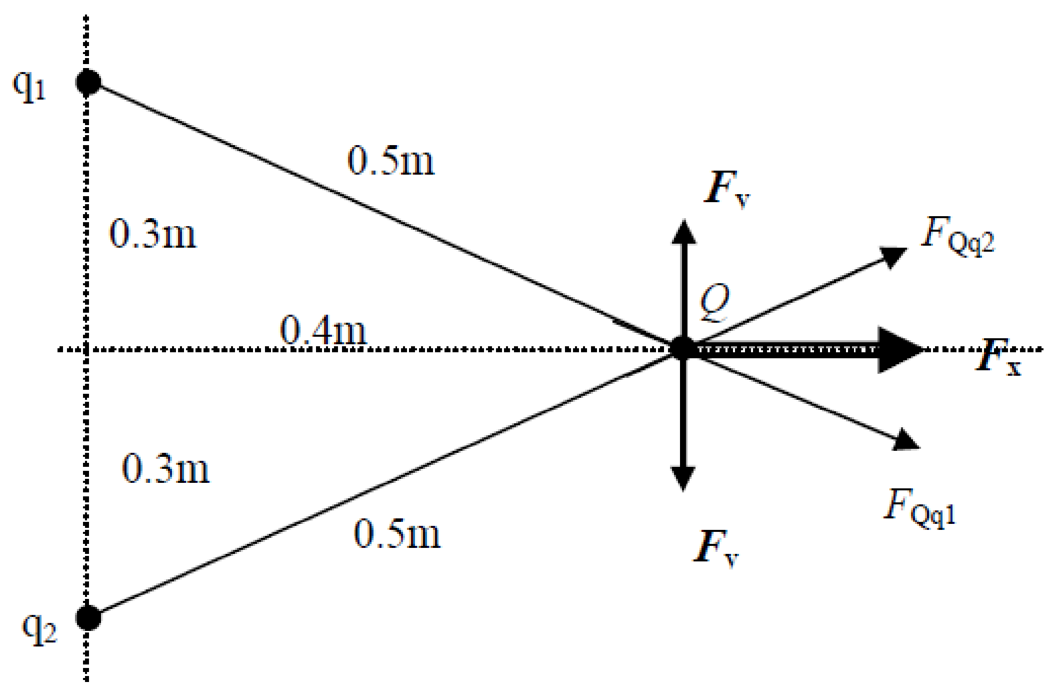
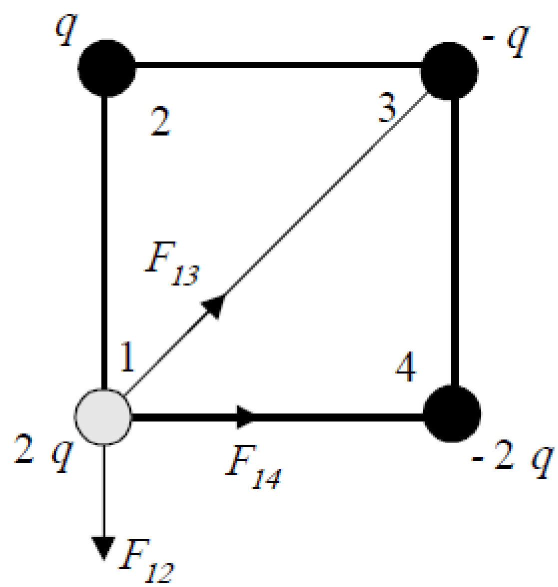
١- شحنتان متساويتان في المقدار و تفصلهما مسافة 50cm وتتنافران بقوة مقدارها 0.1N احسب مقدار كل من الشحنتين؟

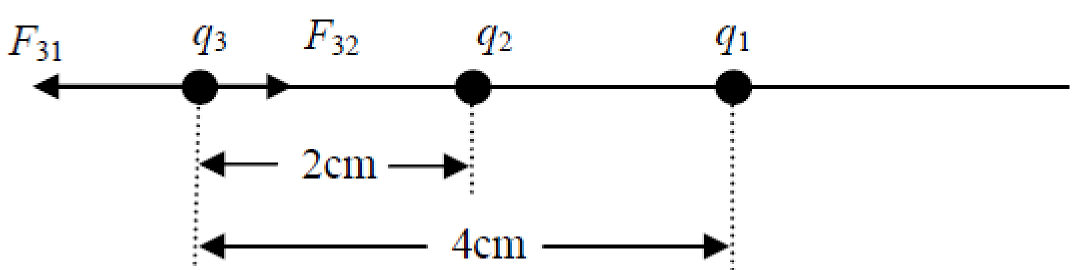
٢- في الشكل المجاور شحنتين موجبتين متساويتين في المقدار ومقدار كل منهما $q=2x10^{-6}C$ يتفاعلان مع شحنة ثالثة مقدارها $Q=4x10^{-6}C$ ، جد مقدار واتجاه القوة المحصلة على Q؟



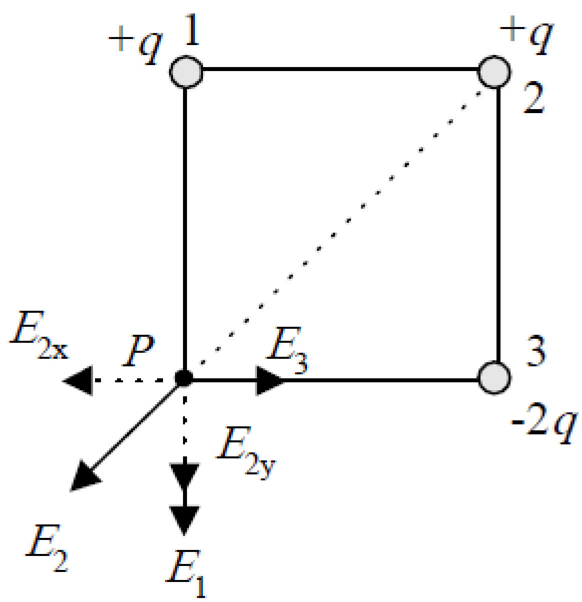
٣- في الشكل المجاور ما هي القوة المحصلة على الشحنة ١ في الشكل؟ افرض ان $q=1x10^{-7}$ C وa=5 cm.



٤- شحنتين موضوعتين على محور السينات الموجب كما في الشكل، الشحنة الأولى q1=2nC وتبعد 2cm عن نقطة الأصل و الشحنة الثانية q2=3nC وتقع على مسافة 4cm من نقطة الأصل. ما هي القوة الكلية المؤثرة من تلك الشحنتين على شحنه ثالثه q3=5nC وتقع في نقطة الأصل.



٥- اوجد المجال الكهربائي عند النقطة P الموضحة بالشكل، اعتبر قيمة الشحنة q=1x10-7C و a= .5cm



٦- بروتون شحنته (q=+e) يتأثر بقوة مقدارها 1.73×10^{-12}N من جسيم مشحون اخر عندما يقترب منة مسافة 20 nm ما هي مقدار شحنة هذا الجسيم المشحون؟

الشحنة و المادة
Charge and Matter

مثال : مقارنة بين القوة الكهربائية و قوة التجاذب الكتلي.

يفصل بين إلكترون و بروتون ذرة الهيدروجين مسافة $5.3 \times 10^{-11}\mathrm{m}$. أوجد مقدار القوة الكهربائية و قوة التجاذب الكتلي بين الإلكترون و البروتون، حيث:

$$m_e = 9.11 \times 10^{-31}\mathrm{kg}\,; \qquad m_p = 1.67 \times 10^{-27}\mathrm{kg}$$

من قانون كولوم نجد:

$$F_e = k\frac{e^2}{r^2} = \left(9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}\right)\frac{(1.60 \times 10^{-19}C)^2}{(5.3 \times 10^{-11}m)^2} = 0.82 \times 10^{-7}N$$

وباستعمال قانون نيوتن للجذب نجد ان:

$$F_g = G\frac{m_1 m_2}{r^2} = \left(6.7 \times 10^{-11}\frac{Nm^2}{kg^2}\right)\frac{(9.11 \times 10^{-31}kg)(1.67 \times 10^{-27}kg)}{(5.3 \times 10^{-11}m)^2}$$
$$= 3.62 \times 10^{-47}N$$

النسبة بين القوتين: $\frac{F_e}{F_g} = 2.26 \times 10^{39}$

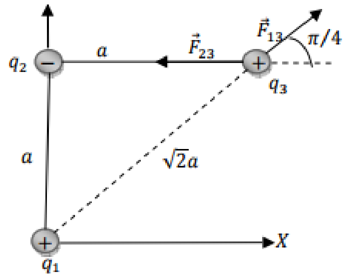
ان قوة التجاذب الكتلي او المادي همله بالمقارنة بالقوة الكهروستاتيكية

مثال

وضعت ثلاث شحنات نقطية عند أركان مثلث قائم و متساوي الساقين $q_1 = q_3 = 5.0\mu C$ و $q_2 = -2.0\mu C$ و $a = 0.1m$. اوجد محصلة القوة المبذولة عند q_3.

القوة المحصلة على q_3 هي المجموع الشعاعي للقوى الناتجة عن q_1 و q_2:

$$\vec{F}_{q_{3Y}} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$$



نحلل اي قوة تصنع زاوية مع المحاور وعلية يكون

$$\vec{F}_{13} = F_{13}\cos\frac{\pi}{4}\vec{i} + F_{13}\sin\frac{\pi}{4}\vec{j}$$

$$\vec{F}_{23} = -F_{23}\vec{i}$$

$$\vec{F}_{q_3} = \left(F_{13}\cos\frac{\pi}{4} - F_{23}\right)\vec{i} + F_{13}\sin\frac{\pi}{4}\vec{j}$$

نحسب قيمة كل قوة

$$F_{13} = k\frac{|q_1||q_3|}{(\sqrt{2}a)^2} = \left(9\times10^9\frac{N.m^2}{C^2}\right)\frac{(5\times10^{-6}C)^2}{2(0.1m)^2} = 11.25N$$

$$F_{23} = k\frac{|q_2||q_3|}{a^2} = (9\times10^9)\frac{(5\times10^{-6})(2.0\times10^{-6})}{(0.1)^2} = 9N$$

$$\vec{F}_{q_3} = (7.95 - 9)\vec{i} + 7.95\vec{j} = -1.05\vec{i} + 7.95\vec{j}$$

مثال :

ما هي المسافة الفاصلة بين إلكترونين في الفراغ إذا علمت أن القوة الكهروستاتيكية بينهما تساوي قوة جذب الأرض للإلكترون.

من قانون كولوم تكون القوة الكهروستاتيكية بين إلكترونين في الفراغ هي:

$$F_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}$$

وقوة جذب الأرض للإلكترون هي :

$$F_g = mg$$

ومن الفرض فان :

$$F_e = F_g$$

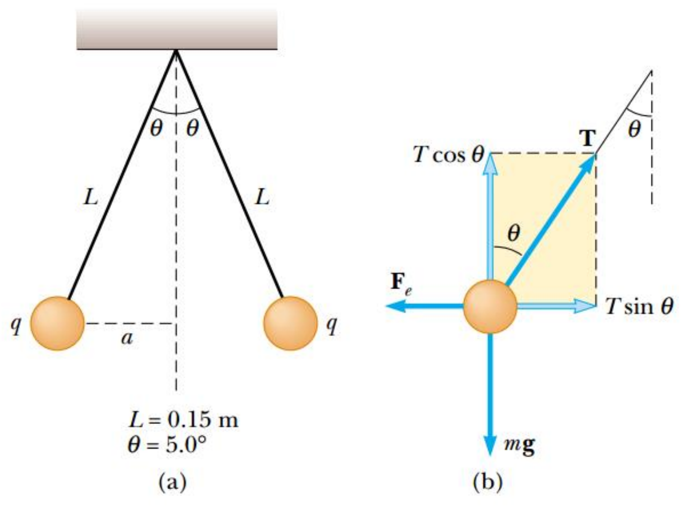
$$\therefore \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} = mg$$

$$9\times10^9 \frac{(1.6\times10^{-19})^2}{r^2} = 9.1\times10^{-13}\times9.8$$

$$\therefore r^2 = 0.258\times10^2 m = 25.8m \quad \text{or} \quad r = 5.1m$$

مثال:

كرتان تحملان شحنتان متماثلتان ، كتلة كل منهما 0.3gm علقتا بخيطين متساويين بطول 15cm، استقرت الكرتان عند الاتزان بحيث صنعت زاوية 5° مع العمود المقام على منتصف المسافة بينهما. احسب شحنة كل منهما.



الحل:

الكرة الموجودة على اليسار مثلاً، تكون في وضع إتزان تحت تأثير ثلاث قوى، قوة الشد T، قوة الجاذبية وقوة التنافر مع الشحنة الاخري. نحلل القوة كما بالشكل وهنا:

بما ان الكرة فى حالة اتزان كلا من مجموع القوى الافية تساوي صفر وكذلك المجموع الاتجاهي للقوى الرأسية :

$$\sum F_x = T \sin\theta - F_e = 0$$

$$F_e = T \sin\theta$$

$$\sum F_y = T \cos\theta - mg = 0$$

$$T = mg/\cos\theta$$

بالتعويض عن T

$$F_e = mg \sin\theta / \cos\theta$$

$$F_e = mg \tan\theta$$

$$= (3.0 \times 10^{-2}\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)\tan(5.0°)$$

$$= 2.6 \times 10^{-2}\ \text{N}$$

$$\sin\theta = a/L$$

$$a = L \sin\theta = (0.15\ \text{m})\sin(5.0°) = 0.013\ \text{m}$$

اذن

$$2a = 0.026\ \text{m.}$$

وبالتطبيق فى قانون كولوم

$$F_e = k_e \frac{|q|^2}{r^2}$$

حيث $r = 2a = 0.026\ \text{m}$

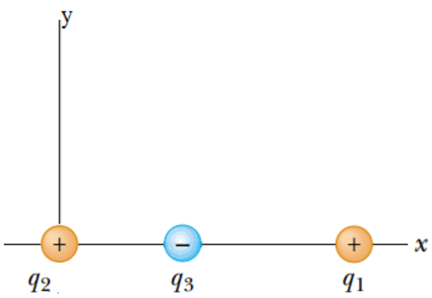
نجد ان

$$|q|^2 = \frac{F_e r^2}{k_e} = \frac{(2.6 \times 10^{-2}\ \text{N})(0.026\ \text{m})^2}{8.99 \times 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2} = 1.96 \times 10^{-15}\ \text{C}^2$$

$$|q| = 4.4 \times 10^{-8}\ \text{C}$$

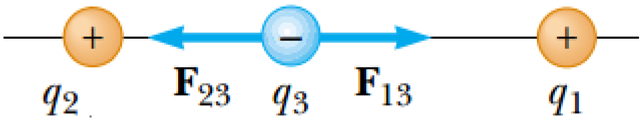
مثال:

ثلاث شحنات نقطية تقع على المحور السيني كما بالشكل . فإذا كانت $q_1=15\mu C$ وتقع عند $x=2m$ و $q_2=6\mu C$ وتقع عند نقطة الاصل وكانت $q3=-5\mu C$ وتقع فى المنتصف أوجد محصلة القوة الكهربية على q3.



الحل:

حيث ان q3 سالبة وتقع فى المنتصف فإن القوتان الناسئتان من الشحنتان الموجبتان ستعملان فى عكس الاتجاه ويكون القوة الاكبر فى اتجاه الشحنة الاكبر حيث ان المسافة واحدة وعلية يكون



F13>F23

وعلية تكون محصلة القوة في اتجاه المحور السيني الموجب.

F12=9*10^9*15*10^{-6}*5*10^{-6}/(1)^2 i= 0.675i N

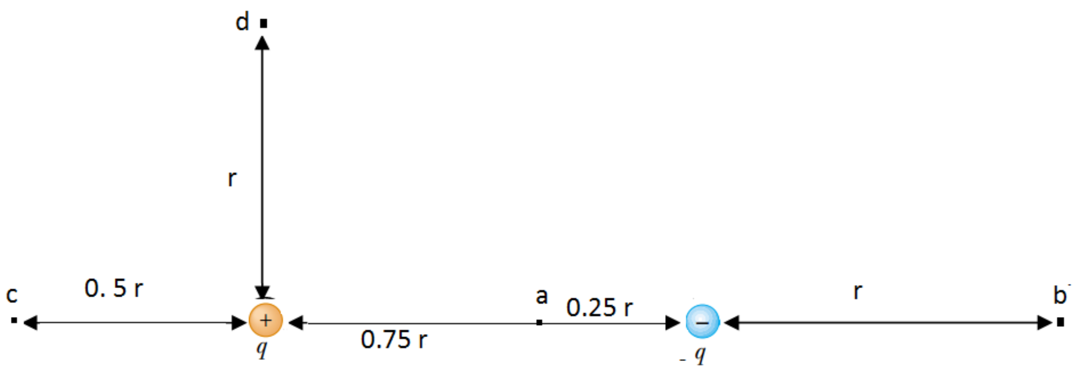
F23= - 9*10^9*6*10^{-6}*5*10^{-6}/(1)^2 i= -0.27 i N

Fq3= 0.675i - 0.27 i = 0.405 N to +ve x-direction

مثال:

شحنتان نفطيتان متساويتان كل منهما q إحداهما موجبة والأخرى سالبة تفصلهما مسافة مقدارها r كما هو بالشكل التالي . أحسب القوة المؤثرة على شحنة موجبة ثالثة q_1 إذا وقعت عند النقاط a و b و c و d . وماذا تكون قيمة هذه القوى إذا كانت

$q = 0.64\ \mu C\ ,\ \ q_1 = 0.32\ \mu C\ ,\ r = 8\ cm$



ملحوظة : لا يمكن حساب القوة (باستخدام قانون كولوم)عند نقطة الا اذا وجدت شحنة نقطية عند تلك النقطة وكان هناك شحنة آخري على الاقل.

استراتيجية الحل:

1- ننظر في نوع الشحنات ونحدد اتجاه القوة الكهربية بين الشحنه الثالثة وكلاً من الشحنه الاولي والثانية.

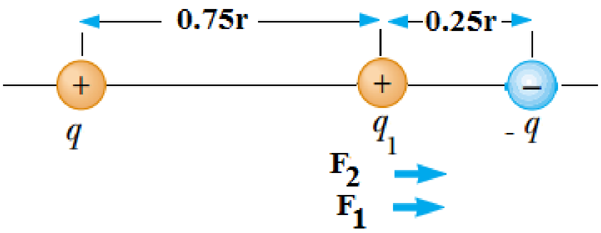
2- نحدد المسافات ونهتم بقيم الشحنات ونطبق قانون كولوم مع الاخذ في الاعتبار الوحدات.

3- اذا كان هناك زوايا بين القوي فلابد من التحليل الاتجاهي للقوي على المحور السيني والصادي .

4- نجمع القوي جمع اتجاهي ولابد من التدريب علية.

الحل:

(أ) تحديد متجهات القوي وحساب القوة المؤثرة على الشحنة q1 الواقعة فى النقطة a :



القوة F_1 قوة التجاذب بين الشحنة السالبة q والشحنة المتأثرة الموجبة q_1 وتتجه نحو الشحنة السالبة.

القوة F_2 قوة التنافر بين الشحنة الموجبة q والشحنة المتأثرة الموجبة q_1 وتتجه نحو الشحنة السالبة أيضا. ونلاحظ أن القوتين F_1 و F_2 تعملان في نفس الاتجاه ولذلك يمكن أن نقول أن القوة المحصلة هى عبارة عن مجموع القوتين. تعمل القوتين فى اتجاه المحور السيني الموجب

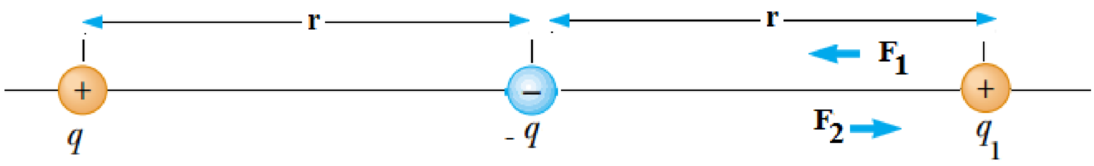
$$F_a = F_1 + F_2$$

$$F_1 = K\frac{q\,q_1}{r^2} = K\frac{q\,q_1}{(0.25\,r)^2} = 9\times10^9\,\frac{0.64\times10^{-6}\;0.32\times10^{-6}}{(0.25\times0.08)^2} = 4.608N$$

$$F_2 = K\frac{q\,q_2}{r^2} = K\frac{0.64\times10^{-6}\;0.32\times10^{-6}}{(0.75\times0.08)^2} = 0.512N$$

$$\begin{aligned}F_a &= F_1 + F_2\\ &= 4.608+0.512=5.12N \quad in+vex-axis\end{aligned}$$

(ب) حساب القوة المؤثرة على الشحنة q1 الواقعة فى النقطة b :



القوة F_1 قوة التجاذب بين الشحنة السالبة q والشحنة المتأثرة الموجبة q_1 وتتجه نحو الشحنة السالبة.

القوة F_2 قوة التنافر بين الشحنة الموجبة q والشحنة المتأثرة الموجبة q_1 وتتجه نحو الشحنة السالبة أيضا. ونلاحظ أن القوتين F_1 و F_2 تعملان في اتجاهين مختلفين ولذلك يمكن أن نقول أن القوة المحصلة هى عبارة عن الفرق بين القوتين. F1 تكون اكبر من F2 حيث انها تنتج عن الشحنة القريبة وبالتالي تكون المحصلة فى اتجاه المحور السيني السالب

$$F_b = F_2 - F_1$$

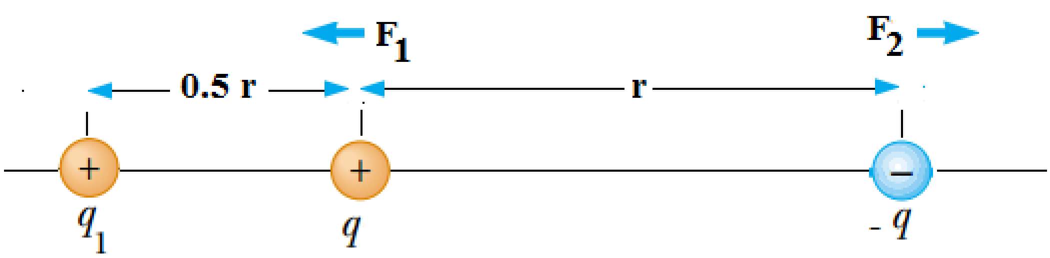
$$F_1 = K \frac{q\, q1}{r^2} = 9\times10^9 \times \frac{0.64\times10^{-6} \times 0.32\times10^{-6}}{\left(8\times10^{-2}\right)^2} = 0.288N$$

$$F_2 = K \frac{q\, q_2}{r^2} = K \frac{q\, q_2}{(2\, r)^2} = K \frac{q\, q_2}{4\, r^2}$$

$$F_2 = 9\times10^9 \times \frac{0.64\ x10^{-6} \times 0.32\ x\,10^{-6}}{4\times\left(8\times10^{-2}\right)^2} = 0.072N$$

$$F_b = F_2 - F_1 = 0.072 - 0.288 = -0.216N$$

(جـ) حساب القوة المؤثرة على الشحنة q1 الواقعة فى النقطة c :



القوة F_1 قوة التجاذب بين الشحنة السالبة q والشحنة المتأثرة الموجبة q_1 وتتجه نحو الشحنة السالبة.

القوة F_2 قوة التنافر بين الشحنة الموجبة q والشحنة المتأثرة الموجبة q_1 وتتجه نحو الشحنة السالبة أيضا. ونلاحظ أن القوتين F_1 و F_2 تعملان في اتجاهين مختلفين ولذلك يمكن أن نقول أن القوة المحصلة هى عبارة عن الفرق بين القوتين.

$$F_c = F_1 - F_2$$

$$F_1 = K_e \frac{q\,q1}{r^2} = K \frac{q\,q_1}{(1.5r)^2} =$$

$$F_1 = 9\times10^9 \times \frac{0.64\times10^{-6} \times 0.32\times10^{-6}}{\left(1.5\times8\times10^{-2}\right)^2} = 0.128N$$

$$F_2 = K \frac{q\,q_2}{r^2} = K \frac{q\,q_2}{(0.5r)^2}$$

$$F_2 = 9\times10^9 \times \frac{0.64\times10^{-6} \times 0.32\times10^{-6}}{\left(0.5\times8\times10^{-2}\right)^2} = 1.151N$$

$$F_c = F_1 - F_2 = 0.128 - 1.151 = -1.024N$$

Another solution

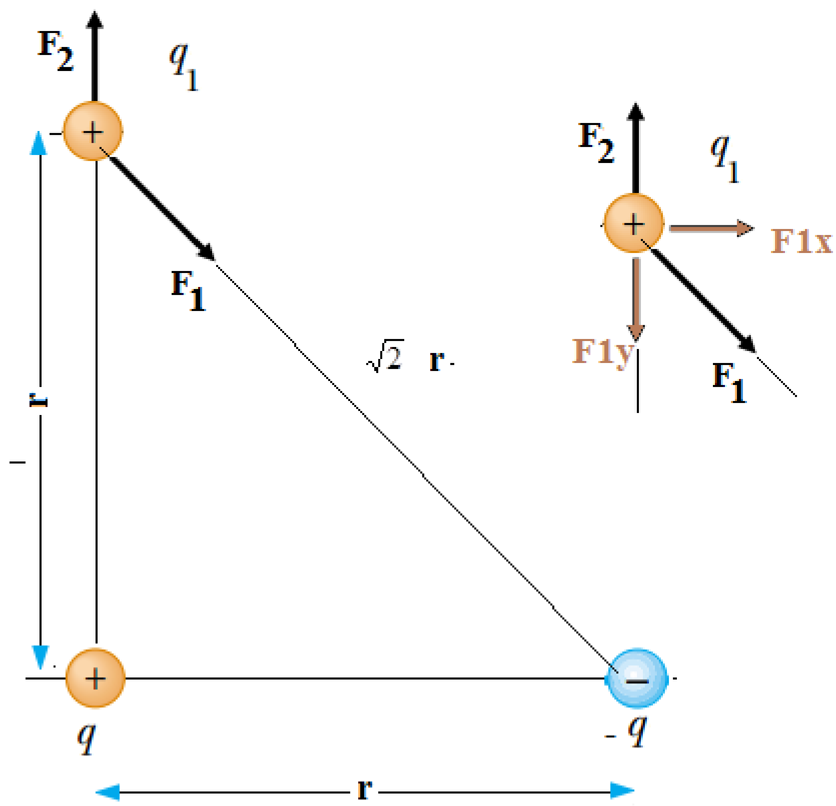
$$F_c = F_1 - F_2 = K \frac{q\,q_1}{r^2}\left(\frac{1}{(1.5)^2} - \frac{1}{(0.5)^2}\right) = 1.024N$$

(د) حساب القوة المؤثرة على الشحنة q1 الواقعة فى النقطة d :

في هذا الشكل تكون الشحنة المتأثرة عمودية على الشحنة الموجبة وتكون القوة بينهما F_2 فى إتجاة y الموجبة وبذلك ل تحتاج هذه القوة إلى تحليل. بينما تعمل القوة بين الشحنة المتأثرة والشحنة السالبة F_1 زواية مقدارها θ ولذلك تحتاج هذه القوة إلى تحليل في الاتجاه x والاتجاه y كما هو موضح بالشكل.

نقوم بحساب المسافة بين الشحنة السالبة والشحنة الاختبارية (المتأثرة) من نظرية فيثاغورث وتساوى $r\sqrt{2}$.

y



$$F_{1x} = F_1 \ \sin\theta = K \frac{q\,q_1}{\left(r\ \sqrt{2}\right)^2} \quad \sin 45$$

$$= \ 9\times10^9 \ \times \ \frac{0.64x10^{-6}\times 0.32x10^{-6}}{(8x10^{-2}\sqrt{2})^2}\times\sin(45) = 0.102\ N$$

$$F_{1y} \ = F_1 \ \cos\theta = K \frac{q\,q_1}{\left(r\ \sqrt{2}\right)^2} \quad \cos 45$$

$$= \ 9\times10^9 \ \times \ \frac{0.64x10^{-6}\times 0.32x10^{-6}}{(8x10^{-2}\sqrt{2})^2}\times\cos(45)$$

$$= 0.102\ N = \frac{\sqrt{2}}{2}\ x\ 9x10^9 \ \ x\ \frac{0.64x10^{-6}\ x\ 0.32x10^{-6}}{(8x10^{-2})^2}\times\cos(45) = 0.102\ N$$

وبذلك يحمل محور x قوة واحدة وهى F_{ix}

$$F_x \ = F_{1x} \ = 0.102 \quad N$$

بينما محور y يحمل قوتين متضادتين هما F_{1y} , F_2 وتعطى من العلاقة

$$F_2 = K \frac{q\ q_1}{r^2} = 0.288\ N$$

$$F_y = F_2 - F_{1y}$$
$$= 0.288 - 0.102$$
$$= 0.186\ N$$

وتكون القوة المحصلة المؤثرة على الشحنة عند الوضع d تعطى من العلاقة

$$F_d = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$
$$= 0.212\ N$$

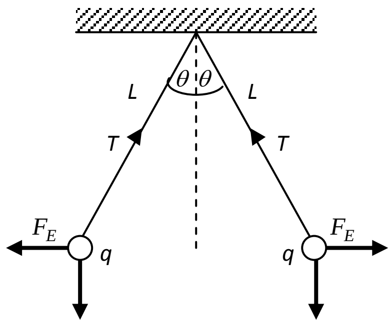
وتعمل زاوية تعطى من العلاقة

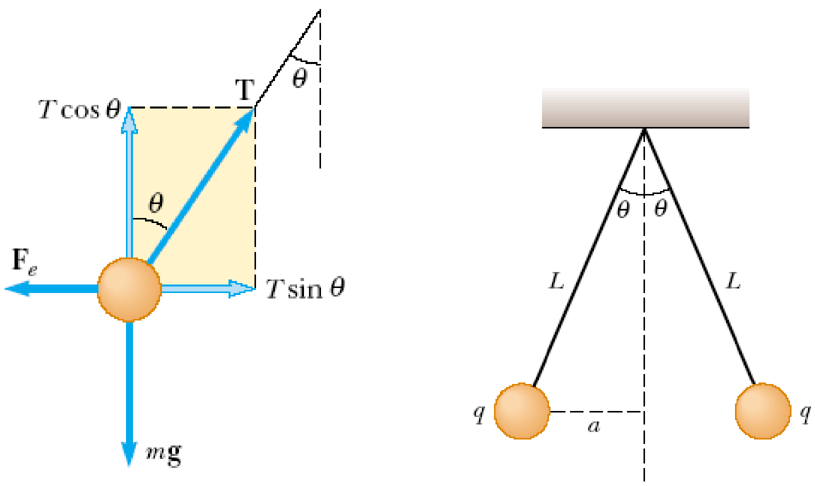
$$\tan\phi = \frac{F_y}{F_x} = \frac{0.186}{0.102} = 1.824$$

$$\phi = 61.26^o$$

مثال

كرتان تزن كل منهما m جرام معلقتان بخيطين إلى نقطة واحدة طول كل منهما L سم . ما هي الشحنة التي يجب أن تحملهما بالتساوي كل من الكرتين لمى تبتعدان عن بعضهما مسافة مقدارها x كما في الشكل التالي. وإذا كانت $m = 10^{-2}$ Kg , $\theta=4°$, L= 1 m فاحسب قيمة الشحنة q .





يوضح الشكل السابق مخطط الجسم الحر لإحدى الشحنتين، و بما أن الشحنتين متزنتان اتزاناً ساكناً فإن:

$$F_E = T\sin\theta$$

$$mg = T\cos\theta$$

حيث تمثل T الشد في كل من الخيطين. و بحل المعادلتين السابقتين، و حذف T منهما، ينتج أن:

$$F_E = mg\tan\theta$$

من جهة أخرى، تعطى قوة التنافر بين الشحنتين من قانون كولوم على النحو التالي:

$$F_E = K\frac{q^2}{r^2}$$

حيث تمثل r في هذه المعادلة المسافة بين الشحنتين، و التي تساوي من الشكل السابق $2L\,sin\theta$. و بمساواة المعادلتين السابقتين ببعضهما و التعويض عن r بدلالة L و θ، نجد أن:

$$\frac{Kq^2}{(2L\,sin\theta)^2} = mg\,tan\theta$$

و منها نجد أن:

$$q^2 = \left(tan\theta\,sin^2\theta\right)\frac{4mgL^2}{K}$$

و بالتعويض في هذه المعادلة عن القيم المعطاة، نجد أن:

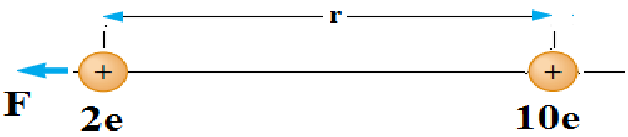
$$q^2 = \left(\tan 4^\circ \sin^2 4^\circ\right)\frac{4\times 1\times 10^{-2}\times 9.8\times 1^2}{9\times 10^9}$$

أي أن

$q = 1.218 \times 10^{-7}$ C

مثال

احسب قوة التنافر بين شحنة نواة الهليوم (+2e) وشحنة نواة النيون (+ 10 e) إذا كانت المسافة بينهما $3\text{x}10^{-9}$ m علما بان $e= 1.6\text{x}10^{-19}$ C .



$$F = K\frac{q_1\ q_2}{r^2} = 9\times 10^9\ \frac{\left(2\times 1.6\times 19^{-19}\right)\times\left(10\times 1.6\times 10^{-19}\right)}{\left(3\times 10^{-9}\right)^2}$$

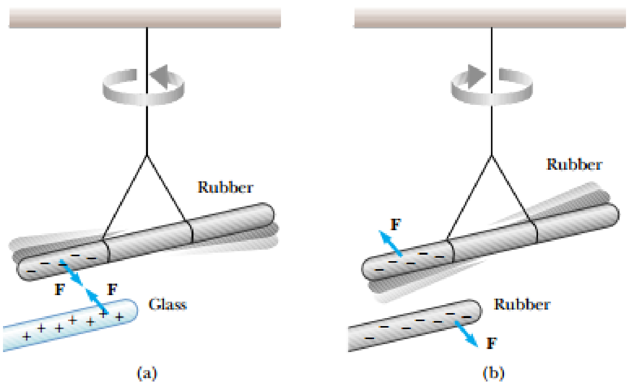
$$= 5.12\times 10^{-10}\quad N$$

الشحنة و المادة
Charge and Matter

الكهربية الساكنة:

لقد لاحظ العلماء منذ القدم أنّه عندما نحك قضيباً من المطاط أو البلاستيك بقطعة صوف أو قماش خشن، ثم نقرّب القضيب من قطعة من الورق، فإننا نلاحظ أن الجسم المطاطي يجذب طرف الورقة، بما يفيد بوجود قوة تجاذب، بين الجسم المطاطي وطرف الورقة.

ونفسر ذلك بكل سهولة على أنّ الإلكترونات التي انفصلت من الذرات بسبب الاحتكاك، تظل متجمعة في منطقة الاحتكاك، ولا يمكنها الانتقال خلال المادة لأنّ المطاط والبلاستيك وكذلك الصوف هي مواد عازلة كهربائياً؛ فهذه الشحنات المتجمعة السالبة (التي تنتج عن الإلكترونات التي اكتسبها القضيب بواسطة الاحتكاك) والموجبة (التي تنتج عن البروتونات الزائدة التي بقيت في قطعة الصوف بعد أن خسرت الإلكترونات) هي المسؤولة عن القوة التي ظهرت وأدّت إلى تجاذب قطع الورق الصغيرة إلى القضيب المطاطي. ويطلق على هذه الشحنات المنفصلة الشحنات الساكنة (static charges)لكي نميزها عن الشحنات المتحركة التي تنشأ في الأسلاك التي توصل التيار الكهربائي.



الشكل a قضيب المطاط المشحون بشحنة سالبة ينجذب لقضيب الزجاج المشحون بشحنة موجبة بينما فى الشكل b يتنافر قضيبي المطاط المشحونان بشحنة سالبة.

قضيب الزجاج يدلك بقطعة من الحرير فتنتقل الشحنات السالبة للحرير ويصبح قضيب الزجاج موجب الشحنة.

Properties of electric charge

- There are two kinds of charges in nature; charges of opposite sign attract one another and charges of the same sign repel one another.
- Total charge in an isolated system is conserved.
- Charge is quantized.

Quick Quiz 23.1 If you rub an inflated balloon against your hair, the two materials attract each other, as shown in Figure 23.3. Is the amount of charge present in the system of the balloon and your hair after rubbing (a) less than, (b) the same as, or (c) more than the amount of charge present before rubbing?

Quick Quiz 23.2 Three objects are brought close to each other, two at a time. When objects A and B are brought together, they repel. When objects B and C are brought together, they also repel. Which of the following are true? (a) Objects A and C possess charges of the same sign. (b) Objects A and C possess charges of opposite sign. (c) All three of the objects possess charges of the same sign. (d) One of the objects is neutral. (e) We would need to perform additional experiments to determine the signs of the charges.


Charles D. Winters

Figure 23.3 (Quick Quiz 23.1) Rubbing a balloon against your hair on a dry day causes the balloon and your hair to become charged.

الخلاصة 1:

- الكهرباء السكونية (والمتحركة أيضاً) هي جسيمات مادية تنتقل من مادة إلى أخرى (بالدلك مثلاً) .
- إنّ سبب وجود خصائص الكهرباء السكونية في هذه الجسيمات هو أنّ لها خاصية وجود شحنة Chargeعليها.
- الشحنة الكهروستاتيكية هي نوعان : شحنة سالبة وشحنة موجبة ولا ثالث لها .
- الشحنة السالبة ، ورمزها (-) ، وهي تلك الشحنة التي تظهر أثارها على مادة الأبونيت عند دلكها بالصوف . والشحنة السالبة هي عبارة عن ذرة كانت متعادلة كهربيا واكتسبت الكترون او اكثر.
- الشحنة الموجبة، ورمزها (+) ، وهي تلك الشحنة التي تظهر أثارها على مادة الزجاج عند دلكه بالحرير. والشحنة الموجبة هي عبارة عن ذرة كانت متعادلة كهربيا وفقدت الكترون او اكثر.
- أصغر جسيم في الطبيعة له أصغر شحنة سالبة هو الالكترون الذي يدور حول نواة الذرة .
- أصغر جُسيم في الطبيعة له أصغر شحنة موجبة هو البروتون الموجود في أنوية الذرات .
- يُسمي العُلماء شحنة الالكترون هذه شحنة أولية (Elementary Charge) ومقدارها حسب قياسات المختبرات يساوي 1.602×10^{-19} كولوم (الكولوم هو وحدة قياس الشحنات في النظام الدولي للوحداتSI) .
- توجد بين الشحنات الكهروستاتيكية المختلفة قوى تجاذب يُسميها العلماء "قوى التجاذب الكهروستاتيكي" ، كما توجد بين الشحنات المتشابهة " قوى تنافر كهروستاتيكي " .
- الشحنات الكهروستاتيكية لا تفنى ولا يمكن إحداثها فمجموع الشحنات الموجبة ثابتاً في الكون وكذلك مجموع الشحنات السالبة .
- تتبع القوي المتبادلة بين الشحنات الكهرواستاتيكية قانون كولوم وهو قانون تجريبي.

قيمة الشحنة الكهربائية

- وتجدر الإشارة إلى أنّ كلّ الشحنات الكهربائية التي أمكن قياسها حتى الآن، تساوي قيمتها عدداً صحيحاً من مضاعفات شحنة الإلكترون أو البروتون، ولكننا نعرف اليوم أنّ هناك جسيمات أوّليّة لها شحنات تساوي ثلث أو ثلثي شحنة البروتون غير أنّ هذه الجسيمات لا توجد بشكل حر في الطبيعة.
- ويتم التعبير عن الشحنات بوحدة كهربائية خاصة يطلق عليها "الكولوم (Coulomb) "بحيث تكون شحنة الإلكترون الواحد تساوي $1.602*10^{-19}C$ ، وذلك نسبة إلى العالم الشهير شارلز أوجستين كولوم، الذي درس طبيعة القوة المتبادلة بين الجسيمات المشحونة واستنتج القانون الخاص بذلك والذي يسمى أيضاً **قانون كولوم** الذي يعتبر من أهم القوانين الطبيعية.
- الجدول التالي يوضح قيمة الشحنة وكتلة كلاً من البروتون والنيترون والالكترون:

Particle	Symbol	Charge	Mass
Proton	*p*	$1.6 \times 10^{-19}C$	**$1.67 \times 10^{-27}Kg$**
Neutron	*n*	0	**$1.67 \times 10^{-27}K g$**
Electron	*e*	$-1.6 \times 10^{-19}C$	**$1.67 \times 10^{-31}K g$**

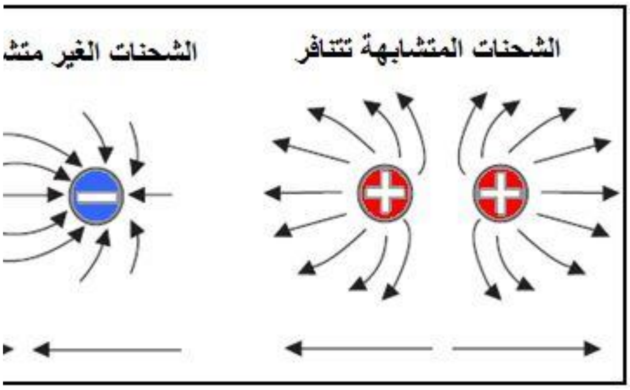
تصنيف المواد من حيث الموصلية الكهربية الى:

- المواد الموصلة :- و هي المواد التي تسمح بمرور التيار الكهربائي من خلالها مثل النحاس, الألمنيوم, و غيرها من المعادن الموصلة للكهرباء, و تتراوح المواد في موصليتها حسب المقاومة النوعية لكل مادة . تتمتع تلك المواد بوجود عدد كبير من الالكترونات الحرة.
- المواد العازلة :- و هي المواد التي لا تسمح بمرور التيار الكهربائي من خلالها, و ذلك بسبب تركيبها الداخلي و الترابط القوي بين ذراتها, مثل الخشب, المطاط, الخزف, و غيرها من المواد العازلة.
- المواد شبه الموصلة :- و هي مواد تقع بين المواد الموصلة و المواد العازلة من حيث توصيلها للكهرباء, أي بمعنى أخر فالمواد شبه الموصلة تكون عازلة عند درجة الصفر المطلق و تحت تأثير درجة حرارتها تبدأ موصليتها بالزيادة نتيجة تفكك الرابطة القوية بين ذراتها بفعل الحرارة, و من المواد شبه الموصلة الجرمانيوم, السيلكون.

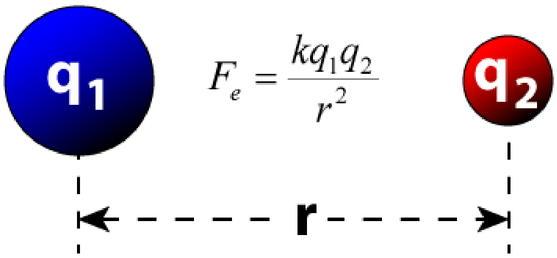
قانون كولوم

- **قانون كولوم** هو قانون تجريبي ينص على *أنّ القوة المتبادلة بين جسيمين مشحونين تتناسب طردياً مع قيمة شحنة كل منهما وعكسياً مع مربع المسافة بينهما*. ولاحظ أيضاً أنّ الشحنات ذات الطبيعة المختلفة تتجاذب، والشحنات ذات الطبيعة المتماثلة تتنافر؛ فإذا اقترب جسيمان مشحونان بشحنات ذات طبيعة مختلفة فإن كلاً منهما يجذب الآخر، وإذا كان الجسيمان بشحنتين موجبتين، أو شحنتين سالبتين، فإنّه تظهر بينهما قوة تنافر تعمل على دفعهما عن بعضهما البعض .

Figure 23.6 Coulomb's torsion balance, used to establish the inverse-square law for the electric force between two charges.



- ويمكن التعبير عن قانون كولوم رياضيا على النحو التالي:

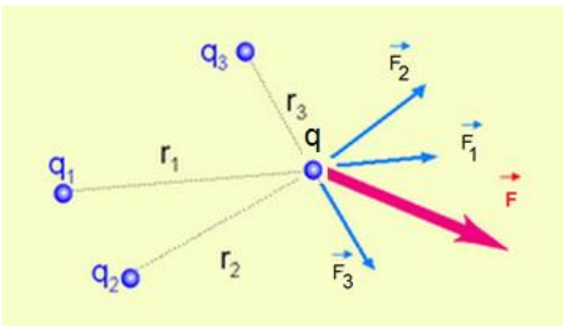


$$F_e = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

هنا يجب ان نلاحظ ان الشحنات المستخدمة هي شحنات نقطية اي يمكن اهمال الابعاد للجسم المشحون. R هي المسافة بين مركزي الشحنتين و q1 & q2 قيمة الشحنة الاولي والشحنة الثانية.

الثابت k يسمي بثابت كولوم ويساوي $9*10^9 N\ m^2/C^2$ ويمكن التعبير عنه بالعلاقة $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

حيث ϵ_0 تسمي نفاذية الفراغ او الهواء وتساوي $8.85*10^{-12} C^2/Nm^2$ وهو مقدار ثابت في الفراغ او الهواء.



إذا كان هناك مجموعة من الشحنات النقطية (q_1, q_2, q_3, q_4) يؤثر بعضها على بعض، فإن القوة الكلية التي تؤثر على إحداها تعطى

بجمع متجهات القوى بين الشحنة هذه و كل من الشحنات الأخرى. أي أن:

$$\vec{F_q} = \vec{F_1} + \vec{F_2} + \vec{F_3} ....$$

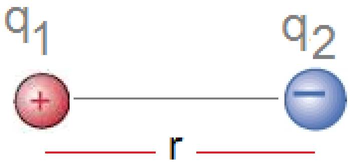
<u>امثلة تطبيقية:</u>

1. شحنت كرتان من نخاع البيلسان بحيث تحمل الاولي شحنة $+6\mu C$ والثانية شحنة $-4.3\mu C$

فإذا وضعت الكرتان على مسافة 0.12m :

ا) ما نوع القوة المتبادلة بين القوتين

ب) مقدار القوة واتجاه التي تؤثر على الشحنة الاولي.



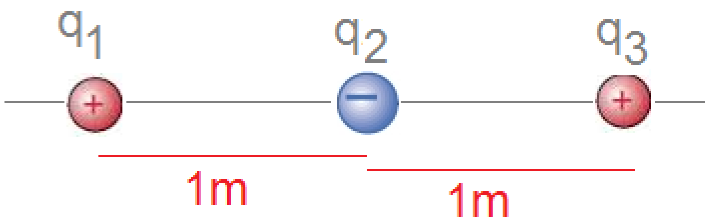
<table dir="rtl">
<tr><td colspan="2">حيث ان الشحنتان مختلفتان فإن القوة المتبادلة هي قوة تجاذب</td></tr>
<tr><td>الحل
$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$
$= \frac{9 * 10^9 * 6 * 10^{-6} * 4.3 * 10^{-6}}{0.12^2}$
$= 16.1N$
اتجاة القوة على Q1 تكون لليسار</td><td>المعطيات
$Q1=+6\mu C=+6*10^{-6}C$
$Q2=-4.3\mu C=-4.3*10^{-6}C$
$R=0.12m$</td></tr>
</table>

2. فى المثال السابق ما عدد الالكترونات الزائدة على الشحنة السالبة Q2 ؟

$N=Q_2/1.6*10^{-19}C = 4.3*10^{-6}/1.6*10^{-19} = 26.87*10^{12}$ electrons

3. وضعت ثلاث شحنات نقطية فى الهواء على المحور السيني كما بالرسم . اوجد مقدار واتجاه القوة التي تؤثر على الشحنة q3 .

$Q1=2\mu C$, $Q2= -2\mu C$, $Q3= 6\mu C$



الحل:

المعطيات	$F_3 = F_{13} + F_{23}$
Q1=2μC Q2= -2μC Q3= 6μC $r_{12}=r_{13}=1$m	$F_{13} = k\frac{q_1 q_3}{{r_{13}}^2} = \frac{9 * 10^9 * 2 * 10^{-6} * 6 * 10^{-6}}{2^2}$ $= 0.027$ i فى اتجاه السيني الموجب (اليمين) $F_{23} = k\frac{q_2 q_3}{{r_{23}}^2} = \frac{9 * 10^9 * 2 * 10^{-6} * 6 * 10^{-6}}{1^2}$ $= -0.108\ i$ فى اتجاه السيني السالب (لليسار) $F_3 = -0.108\ i$+0.027 i=- 0.081 i (to left لليسار)

المجال الكهربائي
The Electric Field

المجال الكهربي: هو عبارة عن المنطقة المحيطة بالشحنة الكهربية وتظهر خلالها نفوها الكهربية، بمعني ان أي شحنة كهربية اختبارية تتواجد في هذه المنطقة فسوف تؤثر عليها الشحنة الاصلية بقوة كهربية.

يعرف شدة المجال الكهربي عند نقطة في الفراغ بانه كمية متجهة تساوي مقدار القوة التي وحدة الشحنات الموجبة عند تلك النقطة. يمكن صياغة هذا على النحو التالي:

$$\mathbf{E} \equiv \frac{\mathbf{F}_e}{q_0}$$

وحدة شدة المجال الكهربي هي N/C .

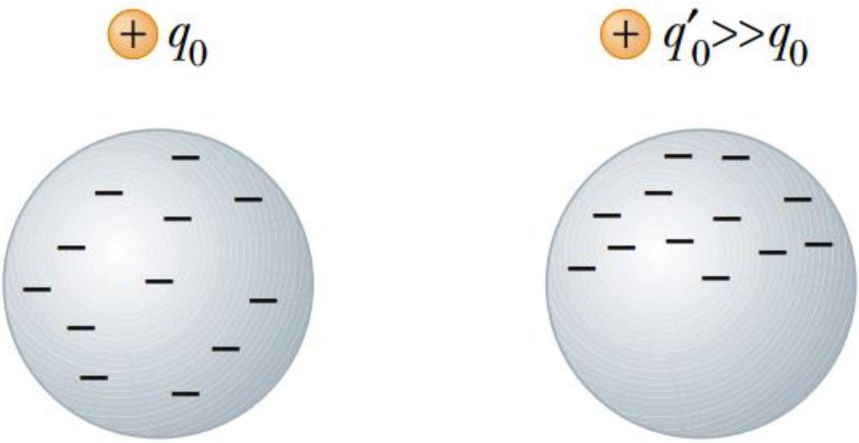
يجب ان نلاحظ ان هذا المجال قد يكون ناتج عن شحنة منعزلة او مجموعة من الشحنات او توزيع شحني معين وانه ليس مجال ناشيء من الشحنة الاختبارية ولابد ان تكون الشحنة الاختبارية متناهية في الصغر حتي لا تؤثر على الشحنات المسببة للمجال ولا لتوزيع الشحنات.

من المعادلة السابقة يمكن صياغة القوة بانها

$$\mathbf{F}_e = q\mathbf{E}$$

هنا نستطيع استخدام q مباشرة وبالتالي بمعلومية المجال عند نقطة يمكن حساب القوة التي يؤثر بها على شحنة q موضوعة عند تلك النقطة.

يوضح الشكل التالي ماذا يحدث اذا كانت الشحنة الاختبارية كبيرة وتقارن بالشحنة المسببة للمجال



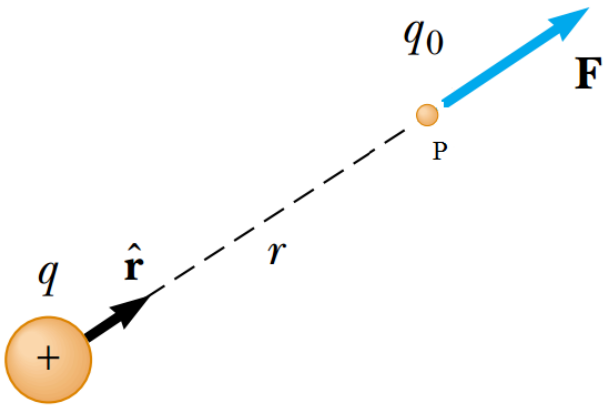
الجدول التالي يوضح بعض المجالات الكهربية مقدرة ب N/C

Typical Electric Field Values

Source	E (N/C)
Fluorescent lighting tube	10
Atmosphere (fair weather)	100
Balloon rubbed on hair	1 000
Atmosphere (under thundercloud)	10 000
Photocopier	100 000
Spark in air	>3 000 000
Near electron in hydrogen atom	5×10^{11}

المجال الكهربي الناتج عن شحنة نقطية:

ولإيجاد المجال الكهربائي E الناتج عن شحنة نقطية q، عند نقطة مثل p تبعد عن الشحنة مسافة r، كما في الشكل (2). نفترض وجود شحنة اختبار موجبة صغيرة، مثل q_0 في النقطة. ثم نحسب القوة التي تؤثر بها الشحنة q على شحنة الاختبار q_0، و أخيراً نقسم القوة F على q_0 لإيجاد قيمة E.



$$F = K\frac{q\,q_0}{r^2}\hat{r}$$

حيث تمثل $\hat{r}$ وحدة متجهات باتجاه r، أي أن

$$\hat{r} = \frac{\vec{r}}{|r|}$$

و لإيجاد المجال الكهربائي نعوض قيمة F في المعادلة (1).

$$E = \frac{F}{q_0} = K\frac{q}{r^2}\hat{r}$$

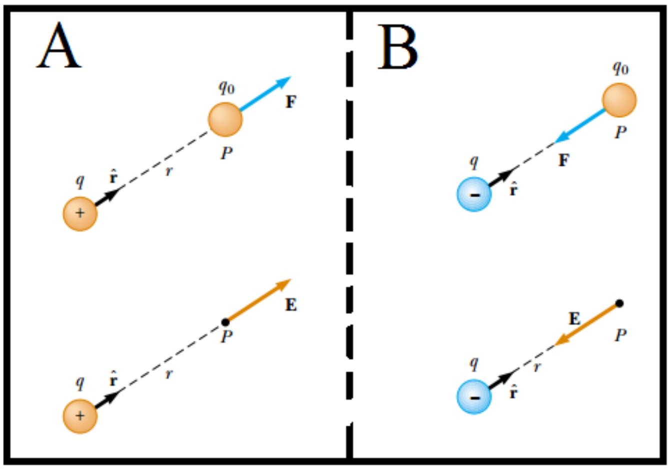
<u>من هنا نلاحظ ان:</u>

1- المجال E لا يعتمد على مقدار الشحنة الاختبارية q_0، و إنما يعتمد على الشحنة q (مصدر المجال)، و على المسافة r (التي تحدد مكان النقطة المراد حساب المجال عندها).

2- يكون اتجاه المجال E الناتج عن شحنة موجبة هو اتجاه r (مثل اتجاه القوة F) يكون اتجاه المجال E الناتج عن شحنة سالبة يكون عكس اتجاه r.

<u>اتجاه المجال الكهربى:</u>

يُعرف اتجاه المجال الكهربي بأنه اتجاه القوى المؤثرة على شحنة الاختبار الموجبة كما يسمى مسار هذه الحركة بخط القوة الكهربيه *Line of force* وهى خطوط وهمية تستخدم لوصف المجال الكهربي مقداراً واتجاهاً.



الشكل يوضح القوة الكهربية والمجال لكلاً من الشحنة الموجبة (A) والشحنة السالبة (B)

الصيغة الرياضية للقوة بين شحنتين والمجال عند نقطة:

$$\mathbf{F} = k\,\frac{q q_0}{r^2}\,\hat{\mathbf{r}}$$

$$\mathbf{E} = k\,\frac{q}{r^2}\,\hat{\mathbf{r}}$$

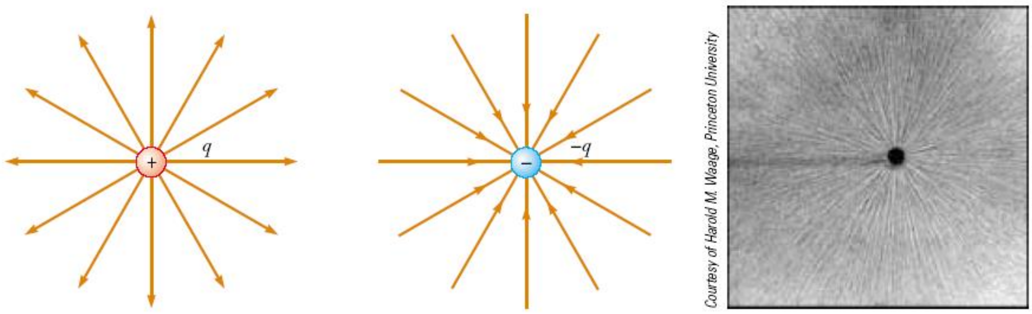
وفي حالة وجود عدد من الشحنات النقطية هنا يمكن ايجاد المجال الكهربي عند نقطة نتيجة عدد من الشحنات النقطية بالصيغة:

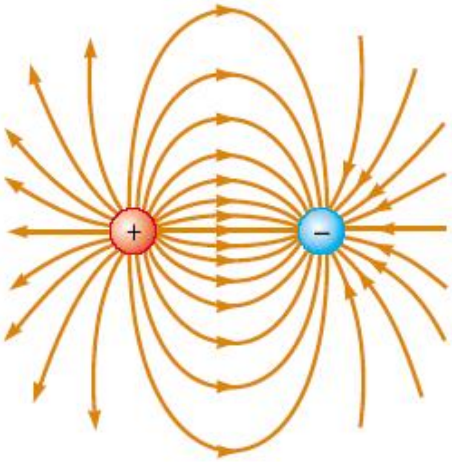
$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \mathbf{E}_3 + \text{ etc}$$

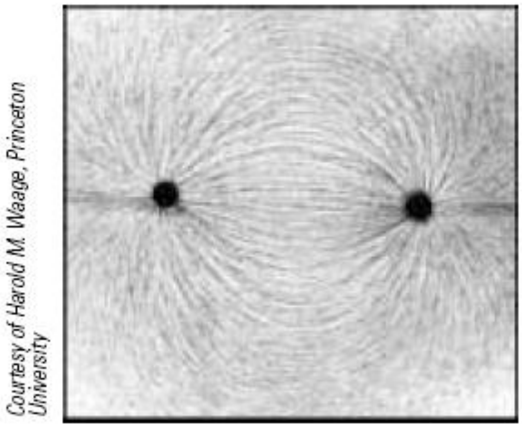
$$\mathbf{E} = k_e \sum_i \frac{q_i}{{r_i}^2}\,\hat{\mathbf{r}}_i$$

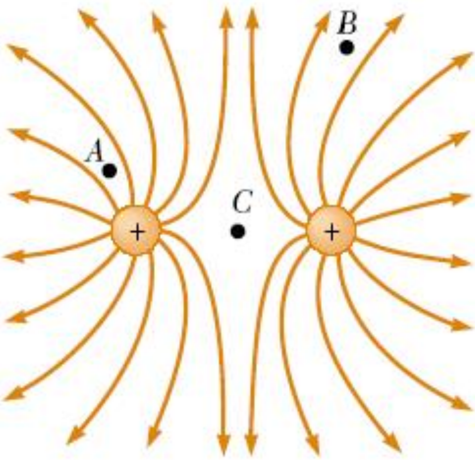
والتي تعني ان المجال الكهربي عند نقطة نتيجة عدد من الشحنات يساوي المجموع الاتجاهي لمجموعة المجالات الناتجة عن كل شحنة على حدي عند تلك النقطة. ستوضح الامثلة التالية هذا المفهوم بشكل افضل

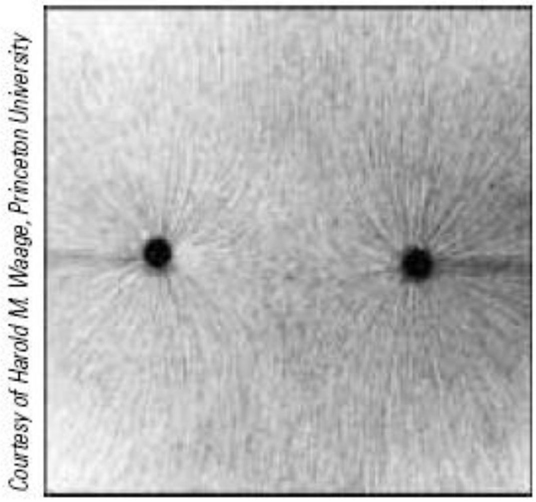
Quick Quiz 23.6 A test charge of $+3\ \mu$C is at a point P where an external electric field is directed to the right and has a magnitude of 4×10^6 N/C. If the test charge is replaced with another test charge of $-3\ \mu$C, the external electric field at P (a) is unaffected (b) reverses direction (c) changes in a way that cannot be determined









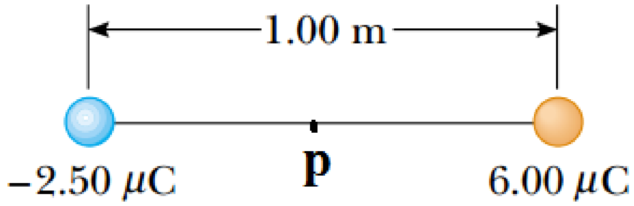


خصائص خطوط المجال الكهربي:

- يبدأ خط المجال من الشحنة الموجبة وينتهي عند الشحنة السالبة
- في حالة الشحنة المعزولة (واحدة) تنتهي الخطوط في مالانهاية
- ترسم خطوط المجال باسهم تخرج من الشحنة الموجبة وتدخل للشحنة السالبة وعدد الخطوط يتناسب مع مقدار المجال الكهربي .
- اتجاه المجال عند تي نقطة يمثل بمتجة المماس للمجال عند تلك النقطة
- لا تتقاطع خطوط المجال مهما زاد عددها.

مثال 1 :

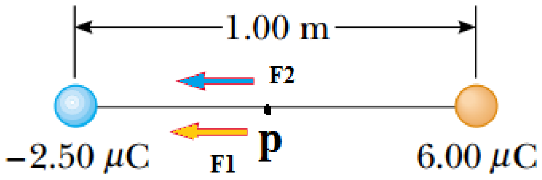
اوجد المجال الكهربي عند النقطة p في منتصف المسافة بين الشحنتين كما فى الشكل التالي:



الحل:

نفترض ان هناك شحنة اختبارية موجبة مقدارها الوحدة عند نقطة p . هناك مجال E1 نتيجة الشحنة الموجبة (6mC) ومجال E2 نتيجة الشحنة السالبة (-2.5mC) وبالتالي يكون المجال عبارة عن المجموع الاتجاهي للمجالين.

$$\mathbf{E_p = E_1 + E_2}$$

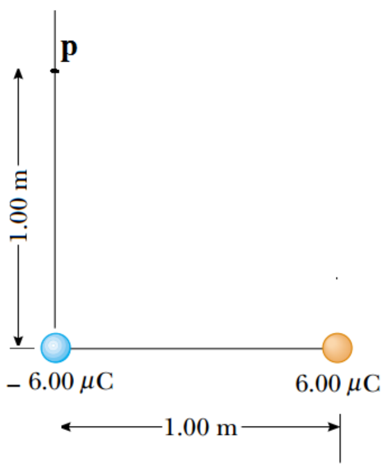


كما يتضح من الشكل ان كلا القوتين يتجهان الي المحور السيني السالب (اليسار)

$$\begin{aligned} E_p &= E_1 + E_2 \\ &= K\frac{q_1}{r_1^{\,2}} + K\frac{q_2}{r_2^{\,2}} = \\ &= 9\times10^9 \times\left(\frac{6\times10^{-6}}{(0.5)^2} + \frac{2.5\times10^{-6}}{(0.5)^2}\right) \\ &= 3*10^5\ N/C \end{aligned}$$

مثال 2 :

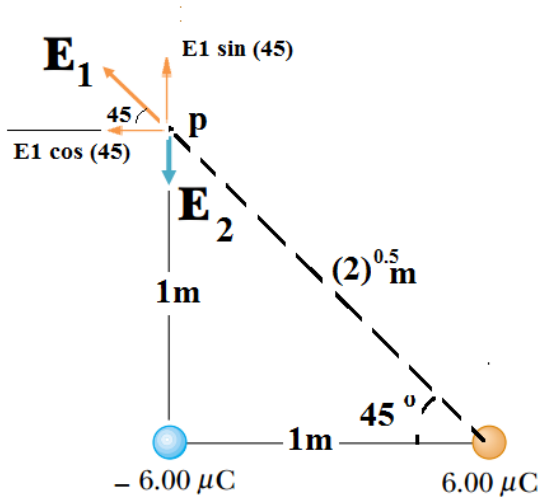
اوجد المجال الكهربي عند النقطة p في على المحور الصادي كما فى الشكل التالي:



:الحل

اولا يجب تمثيل اتجاه المجالات الكهربية الصادرة عن كل شحنة ثم تحليل المتجهات التي تصنع زوايا مع المحاول ووضع كل متجة في الصورة الرياضية الخاصة به (مركبة سينية واخري صادية) ثم جمع المتجهين.

الشكل التالي يوضح المتجهات على الرسم



وحيث ان المثلث متساوي الساقين فإن الزاوية التي يصنعها E1 مع المحور السيني السالب تساوي 45

$\mathbf{E}1=-E1\cos(45)\, i + E1\cos(45)\, j$

$\mathbf{E}2= - E2\, j$

$\mathbf{E}p= (-E1\cos(45))\, i + (E1\sin(45)-E2)\, j$

$E_1=9*10^9*6*10^{-6}/(2^{0.5})^2=2.7*10^4$ N/C

$E_2=9*10^9*6*10^{-6}/(1)^2 = 5.4*10^4$ N/C

$\mathbf{E}p= -1.91*10^4\, i + (1.91*10^4 - 5.4*10^4)\, j$

$\mathbf{E}p= -1.91*10^4\, i - 3.49*10^4\, j$

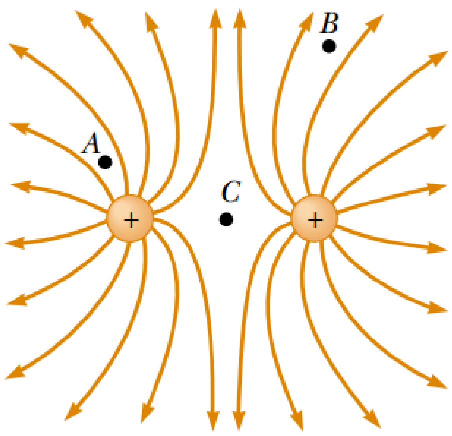
مقدار المجال واتجاهه

$Ep = (Ex^2 + Ey^2)^{0.5} = ((-1.91*10^4)^2 + (-3.49*10^4)^2)^{0.5} = 3.98*10^4$ N/C

$\theta=\tan^{-1}(E_y/E_x)= \tan^{-1}(-3.49*10^4/-1.91*10^4)= \tan^{-1}(1.83)= 61.3º$

وتقع في الربع الرابع بين المحور السيني السالب والصادي السالب.

مثال 3 :

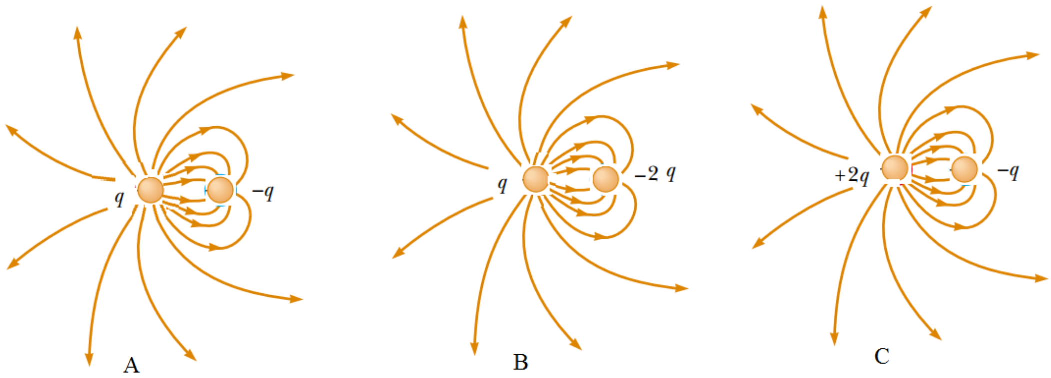


رتب تصاعدياً حسب قيمة شدة المجالات للنقاط A, B , C الموضحة بالرسم مع شرح السبب.

واجب

مثال 4 :

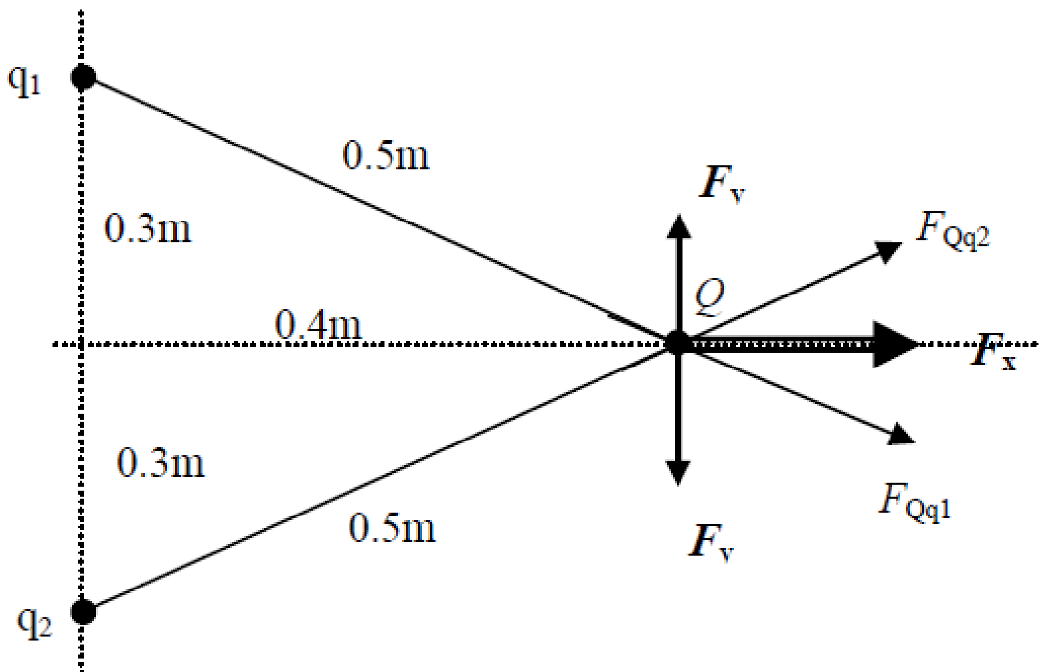
في الشكل التالي حالة واحدة فقط صحيحة وضح أي هذه الحالات صحيحة ولماذا؟.



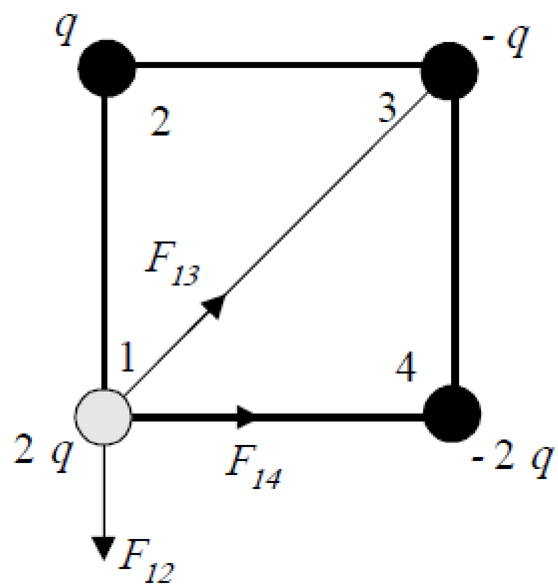
واجب

١- شحنتان متساويتان في المقدار و تفصلهما مسافة 50cm وتتنافران بقوة مقدارها 0.1N احسب مقدار كل من الشحنتين؟

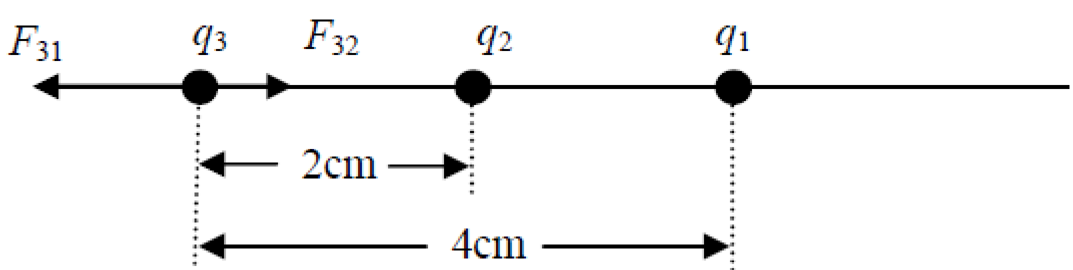
٢- في الشكل المجاور شحنتين موجبتين متساويتين في المقدار ومقدار كل منهما $q=2x10^{-6}C$ يتفاعلان مع شحنة ثالثة مقدارها $Q=4x10^{-6}C$ ، جد مقدار واتجاه القوة المحصلة على Q؟



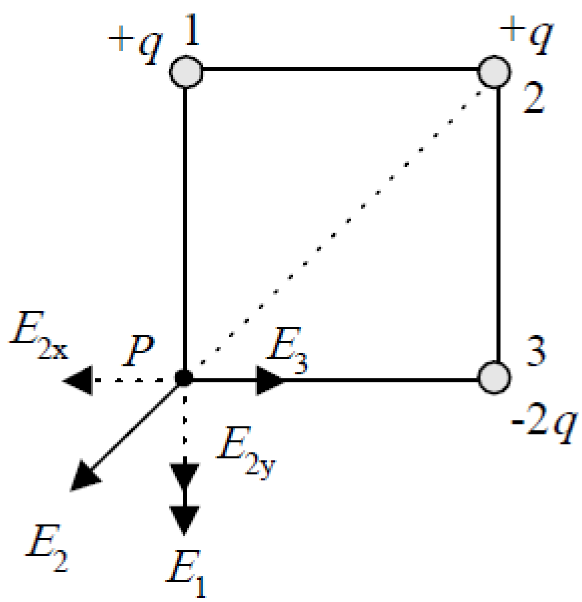
٣- في الشكل المجاور ما هي القوة المحصلة على الشحنة ١ في الشكل؟ افرض ان $q=1x10^{-7}$ C وa=5 cm.



٤- شحنتين موضوعتين على محور السينات الموجب كما في الشكل، الشحنة الأولى $q1=2nC$ وتبعد 2cm عن نقطة الأصل و الشحنة الثانية $q2=3nC$ وتقع على مسافة 4cm من نقطة الأصل. ما هي القوة الكلية المؤثرة من تلك الشحنتين على شحنه ثالثه $q3=5nC$ وتقع في نقطة الأصل.



٥- اوجد المجال الكهربائي عند النقطة P الموضحة بالشكل، اعتبر قيمة الشحنة $q=1x10-7C$ و $a=$ 5cm.



٦- بروتون شحنته $(q=+e)$ يتأثر بقوة مقدارها $1.73x10^{-12}N$ من جسيم مشحون اخر عندما يقترب منة مسافة 20 nm ما هي مقدار شحنة هذا الجسيم المشحون؟

١- شحنتان متساويتان في المقدار و تفصلهما مسافة 50cm وتتنافران بقوة مقدارها 0.1N احسب مقدار كل من الشحنتين؟

$$F = K\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

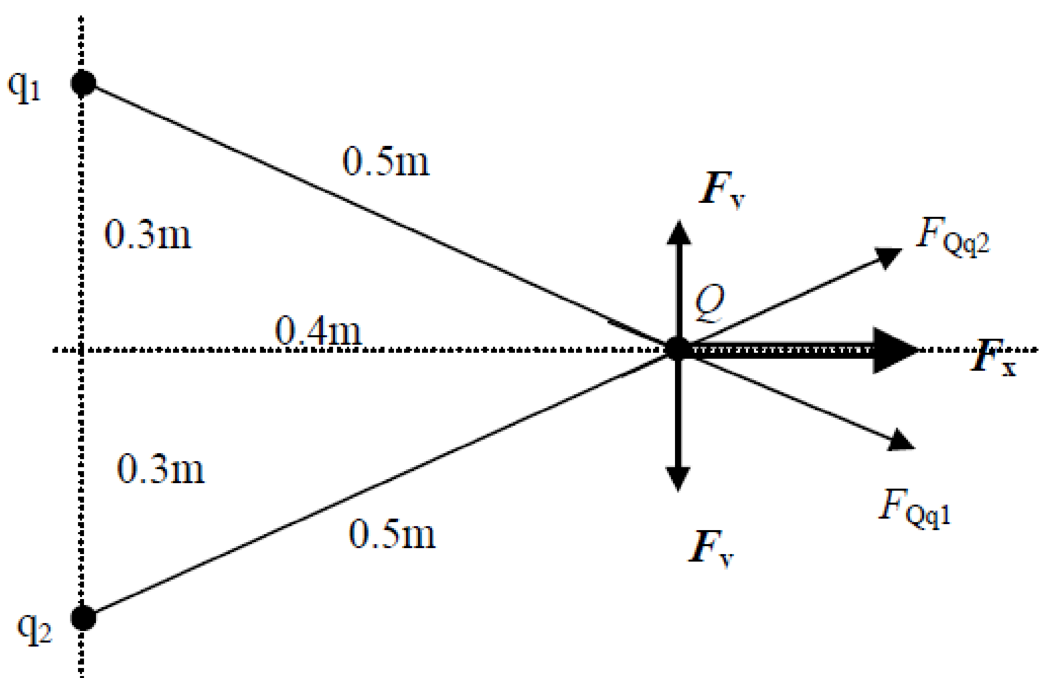
Since $q_1 = q_2$

$$0.1 = \frac{9\times10^9 \times q^2}{(0.5)^2}$$

$$q = 1.7\text{x}10^{-6}\text{C} = 1.7\mu\text{C}$$

وهذه هي قيمة الشحنة التي تجعل القوة المتبادلة تساوي 0.1N.

٢- في الشكل المجاور شحنتين موجبتين متساويتين في المقدار ومقدار كل منهما $q=2\text{x}10^{-6}\text{C}$ يتفاعلان مع شحنة ثالثة مقدارها $Q=4\text{x}10^{-6}\text{C}$ ، جد مقدار واتجاه القوة المحصلة على Q؟



لإيجاد محصلة القوى الكهربائية المؤثرة على الشحنة Q نطبق قانون كولوم لحساب مقدار القوة التي تؤثر بها كل شحنة على الشحنة Q. وبما ان الشحنتين q1& q2 متساويتان وتبعدان نفس المسافة عن الشحنة Q فان القوتين متساويتان في مقدار وقيمة القوة.

$$F_{Qq1} = K\frac{qQ}{r^2} = 9\times10^9\,\frac{(4\times10^{-6})(2\times10^{-6})}{(0.5)^2} = 0.29\,N = F_{Qq2}$$

بتحليل متجه القوة إلى مركبتين ينتج:

$$F_x = F\cos\theta = 0.29\left(\frac{0.4}{0.5}\right) = 0.23\,N$$

$$F_y = -F\sin\theta = -0.29\left(\frac{0.3}{0.5}\right) = -0.17\,N$$

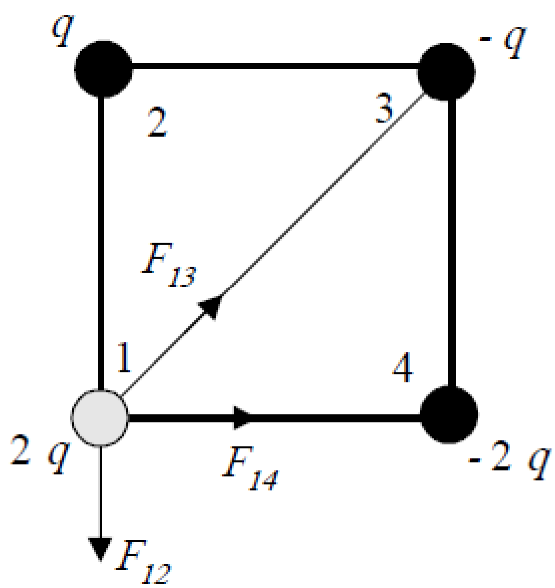
وبالمثل يمكن إيجاد القوة المتبادلة بين الشحنتين q_2 و Q وهي F_{Qq2} وبالتحليل الاتجاهي نلاحظ أن مركبتي y متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه.

$$\sum F_x = 2\times0.23 = 0.46\,N$$

$$\sum F_y = 0$$

وبهذا فإن مقدار القوة المحصلة هي 0.46N واتجاهها في اتجاه محور x الموجب.

٣- في الشكل المجاور ما هي القوة المحصلة على الشحنة ١ في الشكل؟ افرض ان $q=1x10^{-7}$ C وa=5 cm.



نرقم الشحنات كما في الشكل:

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14}$$

$$F_{12} = K\frac{2qq}{a^2}$$

$$F_{13} = K\frac{2qq}{2a^2}$$

$$F_{14} = K\frac{2q2q}{a^2}$$

لاحظ هنا أننا أهملنا التعويض عن إشارة الشحنات عند حساب مقدار القوى. وبالتعويض في المعادلات ينتج أن:

$F_{12} = 0.072$ N,

$F_{13} = 0.036$ N,

$F_{14} = 0.144$ N

لاحظ هنا أننا لا نستطيع جمع القوى الثلاث مباشرة لأن خط عمل القوى مختلف، ولذلك لحساب المحصلة نفرض محورين متعامدين x,y ونحلل القوى التي لا تقع على هذين المحورين أي متجه القوة F_{13} ليصبح

$F_{13x} = F_{13} \sin 45 = 0.025$ N &

$F_{13y} = F_{13} \cos 45 = 0.025$ N

$F_x = F_{13x} + F_{14} = 0.025 + 0.144 = 0.169$ N

$F_y = F_{13y} - F_{12} = 0.025 - 0.072 = -0.047$ N

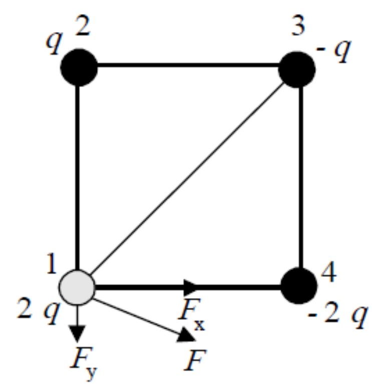
الإشارة السالبة تدل على أن اتجاه مركبة القوة في اتجاه محور y السالب.

The resultant force equals

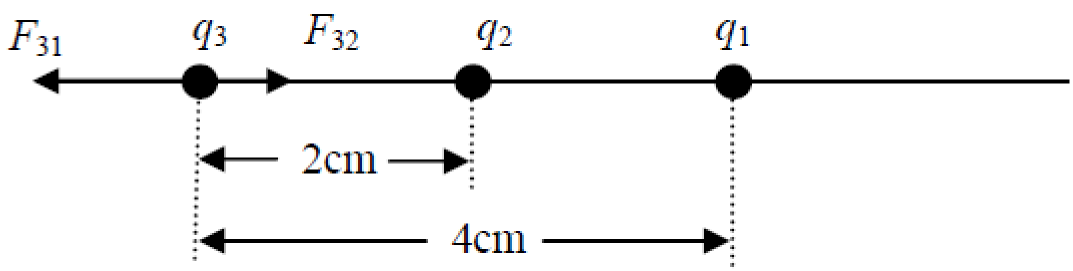
$$F_1 = \sqrt{(F_x)^2 + (F_y)^2} = 0.175 \text{ N}$$

The direction with respect to the x-axis equals

$$\theta = \tan^{-1} \frac{F_y}{F_x} = -15.5°$$



٤- شحنتين موضوعتين على محور السينات الموجب كما في الشكل، الشحنة الأولى q1=2nC وتبعد 2cm عن نقطة الأصل و الشحنة الثانية q2=3nC وتقع على مسافة 4cm من نقطة الأصل. ما هي القوة الكلية المؤثرة من تلك الشحنتين على شحنه ثالثه q3=5nC وتقع في نقطة الأصل.



القوة الكلية المؤثرة على q3 هو المجموع الاتجاهي لمجموع القوى q1 و q2.

$$F_{31} = \frac{(9\times10^{9})(2\times10^{-9})(5\times10^{-9})}{(0.02)^2} = 2.25\times10^{-4}\,N$$

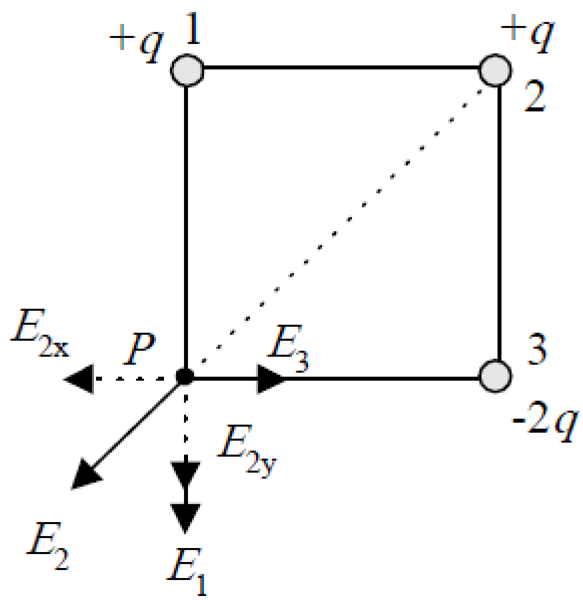
$$F_{32} = \frac{(9\times10^{9})(3\times10^{-9})(5\times10^{-9})}{(0.04)^2} = 0.84\times10^{-4}\,N$$

حيث أن الشحنة q_1 موجبة فإنها تؤثر على الشحنة q_3 بقوة تنافر مقدارها F_{31} واتجاهها كما هو موضح في الشكل، أما الشحنة q_2 سالبة فإنها تؤثر على الشحنة q_3 بقوة تجاذب مقدارها F_{32}.
وبالتالي فإن القوة المحصلة F_3 يمكن حسابها بالجمع الاتجاهي كالتالي:

$$F_3 = F_{31} + F_{32}$$
$$\therefore F_3 = 0.84\times10^{-4} - 2.25\times10^{-4} = -1.41\times10^{-4}\,N$$

اتجاه القوة باتجاه محور السينات السالب و تساوي 1.4×10^{-4}N.

٥- اوجد المجال الكهربائي عند النقطة P الموضحة بالشكل، اعتبر قيمة الشحنة q=1x10-7C و a= .5cm



$$E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \frac{q}{a^2}$$

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \frac{q}{2a^2}$$

$$E_3 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \frac{2q}{a^2}$$

وبالتعويض في قيمة كل من E1,E2,E3 نحصل على:

$$E_1 = 3.6\times10^5 \text{ N/C},$$

$$E_2 = 1.8 \times 10^5 \text{ N/C},$$

$$E_3 = 7.2 \times 10^5 \text{ N/C}$$

وبالتالي المجال الكهربائي الكلي:

$$\vec{E}_p = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

المتجه E2 يحتاج الى تحليل الى مركبتين:

$$E_{2x} = E_2 \cos45$$

$$E_{2y} = E_2 \sin45$$

$$E_x = E_3 - E_2\cos45 = 7.2\times10^5 - 1.8 \times 10^5 \cos45 = 6 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$E_y = -E_1 - E_2\sin45 = -3.6\times10^5 - 1.8 \times 10^5 \sin45 = -4.8 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \qquad = 7.7 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{E_y}{E_x} \qquad = -38.6^{\circ}$$

٦- بروتون شحنته (q=+e) يتأثر بقوة مقدارها $1.73x10^{-12}$N من جسيم مشحون اخر عندما يقترب منة مسافة 20 nm ما هي مقدار شحنة هذا الجسيم المشحون؟

$$F = K_e \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

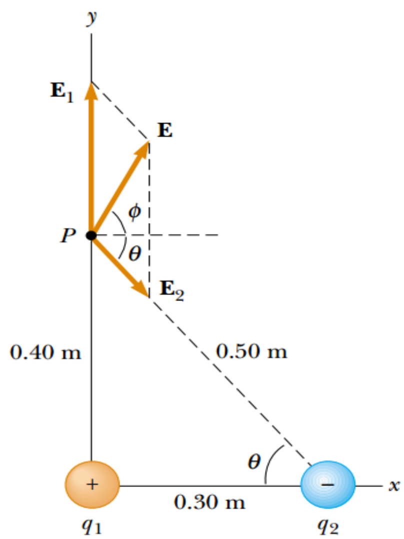
$$q_2 = \frac{Fr^2}{k_e q_1} = \frac{(1.73x10^{-17}\ \mathrm{N})(20x10^{-9}\ \mathrm{m})^2}{(8.99x10^9\ \frac{\mathrm{Nm}^2}{C^2})(1.6\,\mathrm{x}\,10^{-19}C)} = 4.8x10^{-19}C$$

الامثلة والتطبيقات الخاصة بالمجال الكهربي

تابع الفصل الثاني

مثال 20-5:

وضعت شحنة مقدارها q1=7mC عند نقطة الاصل وشحنة آخري q2=-5mC على مسافة 0.3m من نقطة الاصل على اوجد المجال الكهربي عند نقطة P والتي احداثيتها (0.4,0) .



الحل: شدة المجال الناشي عن الشحنة الموجبة يعمل فى اتجاه المحور الصادي الموجب بينما شدة المجال الناشيء عن الشحنة السالبة يعمل علي الخط الواصل بين نقطة P والشحنة q2 فلابد من تحليل هذا المجال الى مركبتية الاساسية كما سيرد بالحل وايجاد محصلة المجالين.

$$E_1 = k_e \frac{|q_1|}{r_1^2} = (8.99 \times 10^9\ \mathrm{N \cdot m^2/C^2}) \frac{(7.0 \times 10^{-6}\ \mathrm{C})}{(0.40\ \mathrm{m})^2}$$
$$= 3.9 \times 10^5\ \mathrm{N/C}$$

$$E_2 = k_e \frac{|q_2|}{r_2^2} = (8.99 \times 10^9\ \mathrm{N \cdot m^2/C^2}) \frac{(5.0 \times 10^{-6}\ \mathrm{C})}{(0.50\ \mathrm{m})^2}$$
$$= 1.8 \times 10^5\ \mathrm{N/C}$$

$$E_{2x} = E_2 \cos\theta = \tfrac{3}{5} E_2$$

$$E_{2y} = -E_2 \sin\theta = -\tfrac{4}{5} E_2$$

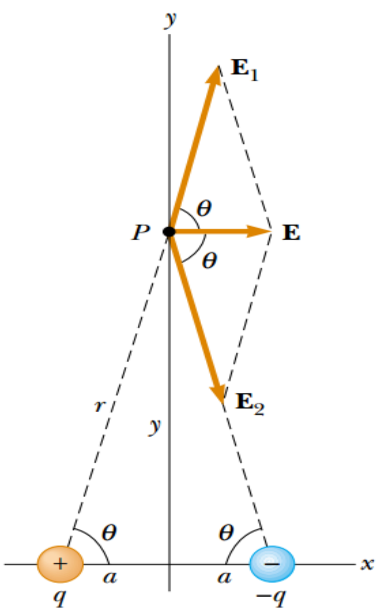
$$\mathbf{E}_1 = 3.9 \times 10^5 \hat{\mathbf{j}}\ \mathrm{N/C}$$
$$\mathbf{E}_2 = (1.1 \times 10^5 \hat{\mathbf{i}} - 1.4 \times 10^5 \hat{\mathbf{j}})\ \mathrm{N/C}$$

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 = (1.1 \times 10^5 \hat{\mathbf{i}} + 2.5 \times 10^5 \hat{\mathbf{j}})\ \mathrm{N/C}$$

$E = 2.7 \times 10^5$ N/C. $\quad \phi = \tan^{-1}(E_y / E_x)$

E makes an angle ϕ of 66°

مثال 20-6: المجال الناشئ عن ثنائي القطبين:



يعرف ثنائي القطب على انه شحنة موجبة q وشحنة سالبة q− تفصلهما مسافة صغيرة كما بالشكل. اوجد المجال الكهربي E عند نقطة P حيث P علي مسافة y>>a من نقطة الاصل.

الحل:

المجال عند P هو محصلة المجالين الناشئين عن الشحنتين وبفرض شحنة اختبارية موجبة عند P نجد ان مجال الشحنة الموجبة على امتداد r للخارج فى حين مجال الشحنة السالبة يكون فى اتجاة الشحنة السالبة كما بالرسم. لابد من حساب شدة المجالين وتحليل كل مجال الى مركبة سينية واخري صادية ثم ايجاد المحصلة.

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$$

$$E_1 = E_2 = k_e \frac{q}{r^2} = k_e \frac{q}{y^2 + a^2}$$

المركبتين الصاديتين تلاشي بعض وتبقى المركبات السينة والتي تعمل فى نفس الاتجاة وعلية

$$\cos\theta = a/r = a/(y^2 + a^2)^{1/2}.$$

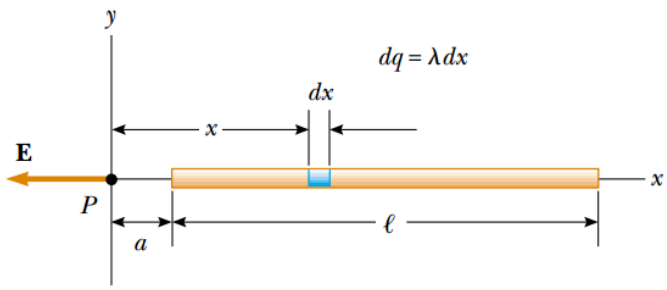
$$E = 2E_1 \cos\theta = 2k_e \frac{q}{(y^2 + a^2)} \frac{a}{(y^2 + a^2)^{1/2}}$$

$$= k_e \frac{2qa}{(y^2 + a^2)^{3/2}}$$

وحيث ان $y >> a,$

بأهمال a مقارنة ب y $E \approx \boxed{k_e \frac{2qa}{y^3}}$

7-20: المجال الكهربى الناشئ عن قضيب مشحون:

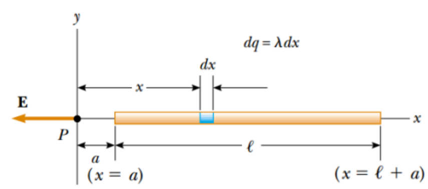


نفترض قضيباً طوله (L)، به شحنة كثافتها الخطية (λ)، المطلوب حساب شدة المجال الكهربي عند نقطة (P) والتي تبعد مسافة (a)، عن أحد طرفي القضيب وعلى امتداده.
نفترض أن القضيب موجود على محور (X)، لإيجاد المجال الكهربي الناتج عن القضيب ، نجزئه إلى أجزاء متناهية الصغر طول كل منها (dx) وشحنته (dq)، ثم نوجد المجال الكهربي (dE) الناتج عن أحد هذه الأجزاء وذلك بمعاملته كشحنة نقطية، مع التعبير عن عنصر الشحنة dq بكثافة الشحنة الخطية . وعلية

$$dq = \lambda \, dx.$$

$$dE = k_e \frac{dq}{x^2} = k_e \frac{\lambda \, dx}{x^2}$$

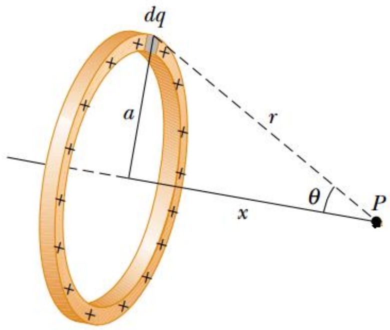
$$E = \int_a^{\ell + a} k_e \lambda \frac{dx}{x^2}$$



$$E = k_e \lambda \int_a^{\ell + a} \frac{dx}{x^2} = k_e \lambda \left[-\frac{1}{x} \right]_a^{\ell + a}$$

$$= k_e \lambda \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{\ell + a} \right) = \boxed{\frac{k_e Q}{a(\ell + a)}}$$

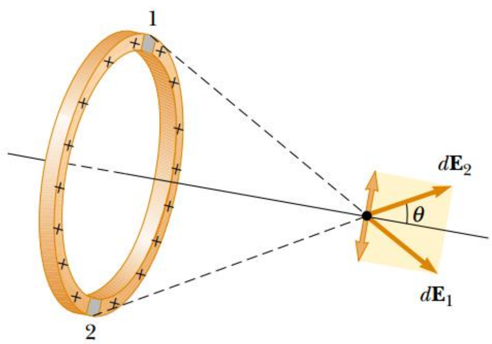
8-20المجال الكهربى لشحنة منتظمة على شكل حلقة:



لنحسب المجال عند نقطة (p) تقع على بعد (x) من محور الحلقة. نقسِّم الحلقة إلى أجزاء متناهية في الصغر طول كلٍ منها (dL) وشحنته (dq)، ومن ثم نوجد المجال (dE) الناتج عن هذا الجزء.

$$dE = k_e \frac{dq}{r^2}$$

الحل:



من الشكل يمكن التعبير عن r والزاوية علي النحو التالي

$$r = (x^2 + a^2)^{1/2} \qquad \cos\theta = x/r,$$

وبحساب عنصر المجال

$$dE_x = dE\cos\theta = \left(k_e \frac{dq}{r^2}\right)\frac{x}{r} = \frac{k_e x}{(x^2 + a^2)^{3/2}}\, dq$$

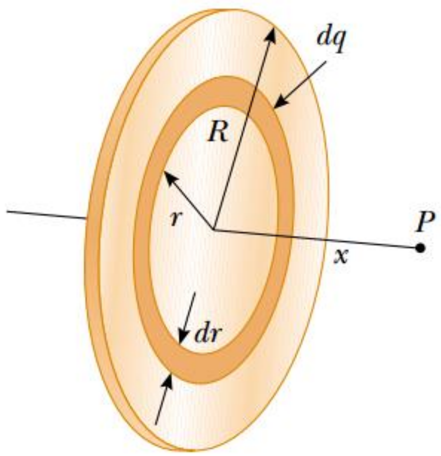
وبالتجميع علي كل العناصر عن طريق التكامل

$$E_x = \int \frac{k_e x}{(x^2 + a^2)^{3/2}}\, dq = \frac{k_e x}{(x^2 + a^2)^{3/2}} \int dq$$

$$= \boxed{\frac{k_e x}{(x^2 + a^2)^{3/2}}\, Q}$$ **نحصل على المجال عند النقطة P**

فى حالة ان $x \ll a,$ **تهمل x مقارنة ب a**

ونحصل علي المعادلة $$E_x = \frac{k_e Q}{a^3}\, x$$



9-20 المجال الكهربى لقرص منتظم الشحنة:

لحساب شدة المجال الناشئ عن قرص نصف قطرة R مشحون بكثافة شحنة سطحية σ عند نقطة تبعد x عن مركزها.

هنا نقوم بتجزئة القرص الي حلقات دائرية كعنصر للشحنة بنصف قطر r وعرض dr وبالتالي تكون عنصر الشحنة $dq=2\pi r\sigma dr$ ويسبب عنصر مجال قدرة **dE** .

نستخدم النتيجة التي حصلنا عليها للمجال الناتج عن حلقة مشحونة (التطبيق السابق) ومنها يمكن التعبير عن عنصر المجال على النحو

$$dE_x = \frac{k_e x}{(x^2 + r^2)^{3/2}}(2\pi\sigma r\, dr)$$

ولإيجاد المجال الناشئ عن القرص كاملاً نكامل المعادلة السابقة من 0 الي R حيث x, k, σ كلها ثوابت وعلية تكون

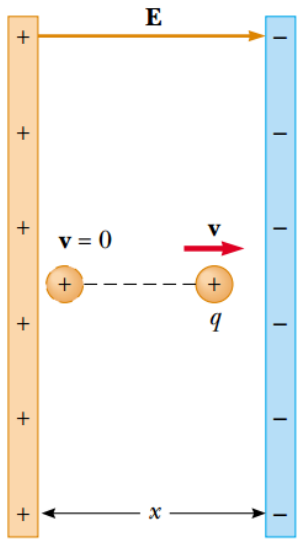
$$\begin{aligned} E_x &= k_e x\pi\sigma \int_0^R \frac{2r\, dr}{(x^2 + r^2)^{3/2}} \\ &= k_e x\pi\sigma \int_0^R (x^2 + r^2)^{-3/2}\, d(r^2) \\ &= k_e x\pi\sigma \left[\frac{(x^2 + r^2)^{-1/2}}{-1/2}\right]_0^R \\ &= 2\pi k_e\sigma \left(1 - \frac{x}{(x^2 + R^2)^{1/2}}\right) \end{aligned}$$

عندما x<<<R فإن المعادلة السابقة تؤول الي

$$E_x = 2\pi k_e\sigma = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

وذلك بإهمال R^2 مقارنة بx^2 كذلك (1/x) تؤول للصفر.

10-20 تسارع شحنة موجبة في مجال كهربي منتظم:



شحنة موجبة q كتلتها m وضعت من السكون داخل مجال كهربي منتظم E ناتج عن صفيحتين مختلفتين الشحنة البعد بينهما x، أحسب سرعة الإلكترون (v) ؟

الحل:

إذا وضع جسم مشحون بشحنة (q) في مجال كهربي (E) فإنه سيتأثر بقوة (F=q E)،هذه القوة تساوي الكتلة في التسارع (F = m a) اي يكتسب الجسم تسارع a .

نستخدم قوانين الحركة السابق دراستها وهي للتذكرة

$$x_f = x_i + v_i t + \tfrac{1}{2}at^2$$

$$v_f = v_i + at$$

$$v_f{}^2 = v_i{}^2 + 2a(x_f - x_i)$$

لايجاد السرعة النهائية ($v_0=0$ و $xi=0$) نعوض في المعادلة الاولي مع التعويض للتسارع a=q E/m نحصل علي

$$x_f = \tfrac{1}{2}at^2 = \frac{qE}{2m}t^2$$

وبالتالي فإن سرعة الجسيم تساوي (من المعادلة الثانية)

$$v_f = at = \frac{qE}{m}t$$

ومن المعادلة الثالثة للحركة نجد ان

$$v_f{}^2 = 2ax_f = \left(\frac{2qE}{m}\right)x_f$$

والتي منها يمكن حساب طاقة الحركة التي يكتسبها الجسم عندما يتحرك مسافة قدرها

$$\Delta x = x_f - x_i$$

وتكون طاقة الحركة تساوي

$$K = \tfrac{1}{2}mv_f{}^2 = \tfrac{1}{2}m\left(\frac{2qE}{m}\right)\Delta x = qE\Delta x$$

وحيث ان الجسم بدأ من السكون فإن طاقة الحركة المكتسبة تمثل الشغل الذي بذل لنقل الشحنة.

مثال: انطلق إلكترون من السكون داخل مجال كهربي شدته $(4\times10^{4}\ N/C)$ ناتج عن صفيحتين مختلفتين الشحنة البعد بينهما $(2cm)$، أحسب سرعة الإلكترون (v) ؟

الحل:

نوجد أولاً عجلة الإلكترون:

$$\mathbf{a=\frac{eE}{m}=\frac{1.6\times10^{-19}\times4\times10^{4}}{9.11\times10^{-31}}=7\times10^{15}\ m/sec^{2}}$$

من معادلات الحركة:

$$\mathbf{v^{2}=v_{0}^{2}+2xa}$$

ولكن:

$$\mathbf{v_{0}=0}$$

$$\mathbf{v^{2}=2xa=2(2\times10^{-2})\times(7\times10^{-15})}$$

$$\mathbf{v=1.67\times10^{7}\ m/sec}$$

الجهد الكهربي وفرق الجهد الكهربي
Electric Potential and Potential Difference

$$\Delta V_e = -\int_A^B (\vec{\mathbf{F}}_e / q_t) \cdot d\vec{\mathbf{s}} = -\int_A^B \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} ,$$

$$\Delta U = q\Delta V .$$

$1\,\text{volt} = 1\ \text{joule/coulomb}\ \ (1\ \text{V} = 1\ \text{J/C})$.

$1\,\text{eV} = (1.6\times10^{-19}\,\text{C})(1\,\text{V}) = 1.6\times10^{-19}\,\text{J}$.

$$\Delta V = V_B - V_A = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A}\right).$$

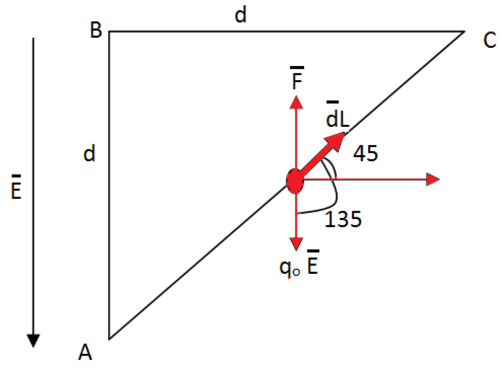
$$V_P = -\int_\infty^P \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} , \qquad V(\infty) = 0 .$$

$$V(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r} .$$

$$V(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_i \frac{q_i}{r_i} = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

Electrostatics
Charge q
Electric force $\vec{\mathbf{F}}_e = k_e \dfrac{Qq}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$
Electric field $\vec{\mathbf{E}} = \vec{\mathbf{F}}_e / q$
Potential energy change $\Delta U = -\int_A^B \vec{\mathbf{F}}_e \cdot d\vec{\mathbf{s}}$
Electric Potential $\Delta V = -\int_A^B \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{s}}$
Potential function, $V(\infty) = 0$: $V = k_e \dfrac{Q}{r}$
$\lvert \Delta U \rvert = qEd$, (constant $\vec{\mathbf{E}}$)

مثال (1)



احسب فرق الجهد الكهربي لشحنة اختبار تحركت حسب المسار الموضح بالشكل وبدون تسارع بين النقطتين A , C .

$$V_C - V_A = -\int_A^C E\ Cos135\ dL = -\int_A^C E\ \frac{-1}{\sqrt{2}}\ dL$$
$$= \frac{E}{\sqrt{2}}\int_A^C dL = \frac{E}{\sqrt{2}}\ \sqrt{2}\ d = E\ d$$

أما بالنسبة للنقطتين B , C فلهما نفس الجهد لأن الزاوية بين dL والمجال E تساوى 90

$$V_C - V_B = -\int_B^C E\ Cos90\ dL = 0$$

أما الجهد بين النقطتين A , B فيعطى بالعلاقة

$$V_B - V_C = \int_B^A E\ \cos 0\ dL = E\int_B^A dL$$
$$= E\ d$$

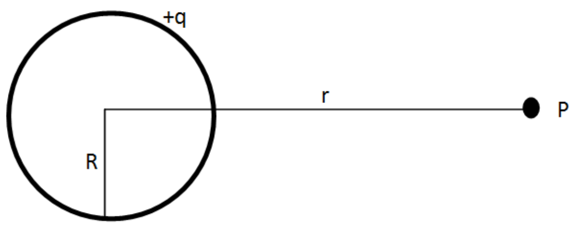
وهذه النتيجة تبين لنا أن

$$V_B - V_A = V_C - V_A = E\ d$$

أي أن فرق الجهد بين نقطتين لا يعتمد على المسار بينهما.

مثال (2)

احسب الجهد الكهربي عند نقطة تبعد مسافة قدرها r من مركز كرة مشحونة بشحنة موجبة كما هو موضح بالشكل التالي.



$$\because E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2}$$

$$\because E = \frac{dV}{dr}$$

$$\therefore dV = E\ dr$$

$$V = \int dV = \int E\ dr$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_o}\int \frac{1}{r^2}\,dr$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_o}\frac{1}{r} + C$$

وثابت التكامل C يساوى صف لأنه عندما r تساوى ملا نهاية فإن الجهد V يساوى صفر

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_o}\frac{1}{r}$$

و يكون الجهد على سطح الكرة r = R يعطى بالعلاقة

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_o}\frac{1}{R}$$

الامثلة التالية من المرجع :
http://repository.uobabylon.edu.iq/2010_2011/3_29549_65.pdf

مثال (3)

إذا كان فرق الجهد بين قطبي بطارية هو $12V$ فما مقدار الشغل الذي تبذله البطارية لنقل إلكترون من قطبها الموجب إلى السالب. وكم لنقله بالاتجاه المعاكس.

الحل :

الانتقال بالإلكترون من قطب البطارية الموجب إلى السالب يعني المرور خلال انخفاض جهد وعليه فان $V=-12Volt$ ، لذا فان الشغل المبذول في هذه الحالة هو:

$$W=\Delta Vq=(-12)(-1.6\times10^{-19})=1.9\times10^{-18}\,J$$

أما ترك الإلكترون وشأنه سيجذبه نحو القطب الموجب وهذا يعني أنها تكون عند الجهد الأعلى أي $V=+12Volt$ لذا فالشغل المبذول في هذه الحالة يكون :

$$W=\Delta Vq=(+12)(-1.6\times10^{-19})=-1.9\times10^{-18}\,J$$

مثال (4)

إذا علم أن فرق الجهد بين لوحين متوازيين متعاكسي الشحنة المسافة بينهما $1cm$ هو $100\,V$. احسب : 1- مقدار شدة المجال الكهربائي بينهما ، 2- مقدار التعجيل الذي يتحرك به ايون الهيدروجين كتلته $3.32\times10^{-27}kg$ وشحنته $1.6\times10^{-19}C$ إذا وضع في هذا المجال ، 3- سرعته بعد أن يقطع مسافة قدرها $0.5cm$ ، 4- طاقته الحركية بعد أن يقطع هذه المسافة.

الحل:

1 − $\Delta V = Ed$

$$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{100}{10^{-2}} = 10^4\,NC^{-1}$$

2- لما كانت شحنة ايون الهيدروجين موجبة، فان تعجيله يكون باتجاه المجال الكهربائي وعلى خط مستقيم، أما مقداره فيمكن إيجاده من المعادلة :

$$F = ma \Rightarrow qE = ma$$

$$a = \frac{qE}{m} = \frac{1.6\times10^{-19}\times10^{4}}{3.32\times10^{-27}} = 4.819\times10^{11}\,m/\sec^{2}$$

3- سرعة ايون الهيدروجين بعد أن يقطع مسافة قدرها $0.5cm$ هي :

$$\vartheta = \sqrt{2ax} = \sqrt{2\times4.819\times10^{11}\times0.5\times10^{-2}} = 6.94\times10^{4}\,m/\sec$$

4- طاقة ايون الهيدروجين بعد أن يقطع المسافة نفسها هي:

$$K = \frac{1}{2}m\vartheta^2 = \frac{1}{2}\times3.32\times10^{-27}\times(6.94\times10^{4})^2$$

$$= 7.99515\times10^{-18}\,J$$

مثال (5)

احسب الجهد المطلق في الهواء على بعد $3cm$ من شحنة نقطية $500\mu c$

الحل :

$$V=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$$

$$V=9\times10^{9}\frac{500\times10^{-6}}{0.03}=150000\ V=150KV$$

مثال (6)

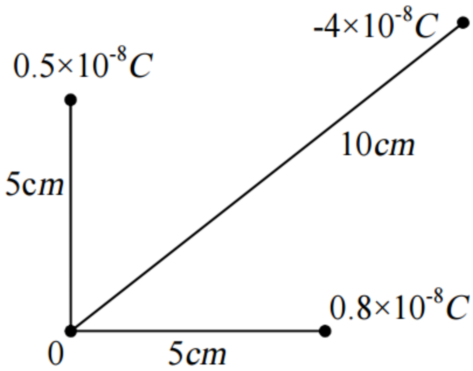
ثلاث شحنات نقطية $0.5\times10^{-8}C +$ و $-4\times10^{-8}C$ و $0.8\times10^{-8}C$

جميعها واقعة في المستوي xy ومثبتة في المواقع المؤشرة في الشكل اوجد مقدار

1- الجهد الكهربائي عند نقطة الأصل 0 الناشئ عن الشحنات.

2- الشغل اللازم إنجازه لإحضار إلكترون إلى النقطة 0 من مسافة بعيدة جداً.

الحل :



1- الإسهامات المختلفة في الجهد عند النقطة 0 هي :

$$V_1=9\times10^{9}\frac{0.5\times10^{-8}}{0.05}=900\ V$$

$$V_2=9\times10^{9}\frac{-4\times10^{-8}}{0.1}=-3600\ V$$

$$V_3=9\times10^{9}\frac{0.8\times10^{-8}}{0.05}=1440\ V$$

والجهد الكلي عند 0 هو:

$$V=V_1+V_2+V_3$$

$$V=900+(-3600)+1440=-1260\ V$$

2- الشغل المطلوب إنجازه لإحضار إلكترون بعيد جداً هو :

$$W=qV=(-1.6\times10^{-19})(-1260)=2\times10^{-16}\,J$$

مثال (7)

إلكترون يتحرك بسرعة $6\times10^5 m/\sec$ عند مروره بنقطة A في طريقه إلى نقطة B. فإذا كانت سرعته عند B هي $12\times10^5 m/\sec$ فاحسب فرق الجهد بين A و B وبين أيهما تكون عند جهد أعلى.

الحل :

الشغل المبذول في نقل الإلكترون من نقطة A إلى نقطة B وهو يمثل الطاقـــة الكامنة المفقودة $(P.E)$ وتساوي $q(V_B - V_A)$ ، ومن المعلوم أن الفقد في $(P.E)$ يظهر كطاقة حركية للإلكترون ، أي :

$$q(V_B - V_A) = \frac{1}{2}m\vartheta_2^2 - \frac{1}{2}m\vartheta_1^2$$

$$V_B - V_A = \frac{m}{2q}(\vartheta_2^2 - \vartheta_1^2)$$

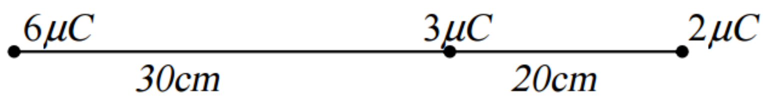
$$V_B - V_A = \frac{9.1\times10^{-31}}{2\times1.6\times10^{-19}}\left((12\times10^5)^2 - (6\times10^5)^2\right)$$

$$V_B - V_A = 3.07\ V$$

من ذلك نستنتج أن نقطة B تكون عند جهد أعلى.

مثال (8)

احسب الطاقة الكامنة الكهربائية لثلاث شحنات نقطية موضوعة على محـــور السينات بالترتيب الموضح في الشكل (9-6).



الشكل (9-6)

الحل :

لنقلِ أي شحنة من المالانهاية إلى نقطة يكون عندها الجهد V فان شغلاً يجب أن يبذل على الشحنة. هذا الشغل يظهر على هيئة طاقة كامنة كهربائية $(P.E)$ مختزنـــة في الشحنة. أن نقل الشحنة $2\mu C$ من المالانهاية لا يتطلب شغلاً لعدم وجـــود شـــحنات أخرى قريبة، في حين يكون الشغل اللازم لنقل الشحنة $3\mu C$ (من المالانهاية) نتيجـــة التنافر مع الشحنة $+2\mu C$ هو:

$$W_{3\mu c} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{r}$$

حيث الجهد هنا يكون نتيجة الشحنة $+2\mu C$

$$W_{3\mu c} = 9\times10^{9}\,\frac{3\times10^{-6}\times2\times10^{-6}}{0.2} = 0.27J$$

لنقلِ الشحنة $6\mu C$ إلى الموضع المطلوب إحضارها عنده حيث الجهـــد يكـــون نتيجـــة الشحنتين $+2\mu C$ و $3\mu C$، وعليه فان الشغل اللازم لإنجاز ذلك $6\mu C$ هو:

$$W_{6\mu c} = 9\times10^{9}\times6\times10^{-6}\left[\frac{2\times10^{-6}}{0.5}+\frac{3\times10^{-6}}{0.3}\right]$$

$$= 0.756J$$

بجمع مقادير الشغل اللازم لنقل الشحنات الكلية نحصل على الطاقة الكامنة الكهربائيـــة المختزنة في النظام وهي:

$$p.E = 0 + 0.27 + 0.765 = 1J$$

وعلى الطالب أن يثبت بأن الترتيب الذي تم به نقل الشحنات من المالانهاية لا يؤثر على هذه النتيجة؟

مثال (9)

إذا علم إن فرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائي يـــساوي $1000\,V$ فمـــا مقدار الشغل المطلوب لتحريك جسيمٍ ذي شحنة مقدارها 2e من أحدى النقطـــتين إلى الأخرى بوحدات.

1- إلكترون فولت، 2- الجول.

الحل :

1 - $W = q(V_2 - V_1)$

$W = qV_{21} = (2e)\times(100\ V)$

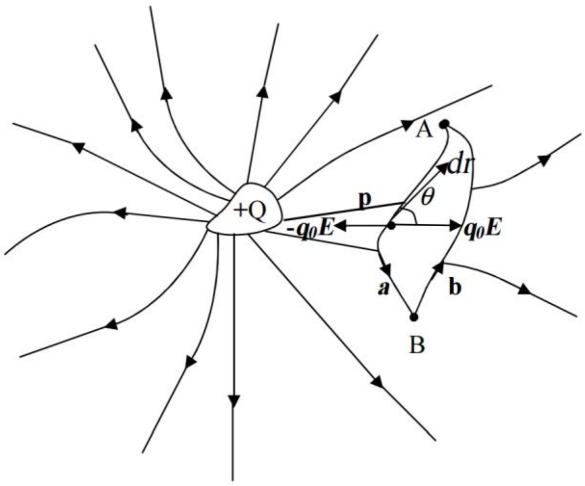
$W = 200\,eV$

2 - $W = 2\times1.6\times10^{-19}\times100\ V$

$= 3.2\times10^{-17}\,J$

الجهد الكهربائي
Electric Potential

عند وضع شحنة كهربائيـة q في مجـال كهربائي سيؤثر عليها المجال بقوة مقدارها qE ويكون اتجاهها في اتجاه المجال الكهربائي . وإذا أردنا أن تظل هذه الشحنة في مكانها فلابد أن نؤثر عليها بقوة مقدارها **-qE** **.** لنعتبر حالة شحنة إختبارية موجبة q_0 موجودة أصلاً في النقطة p داخل مجال كهربائي غير منتظم كما في الشكل التالي



فرق الجهد بين نقطتين واقعتين في مجال كهربائي.

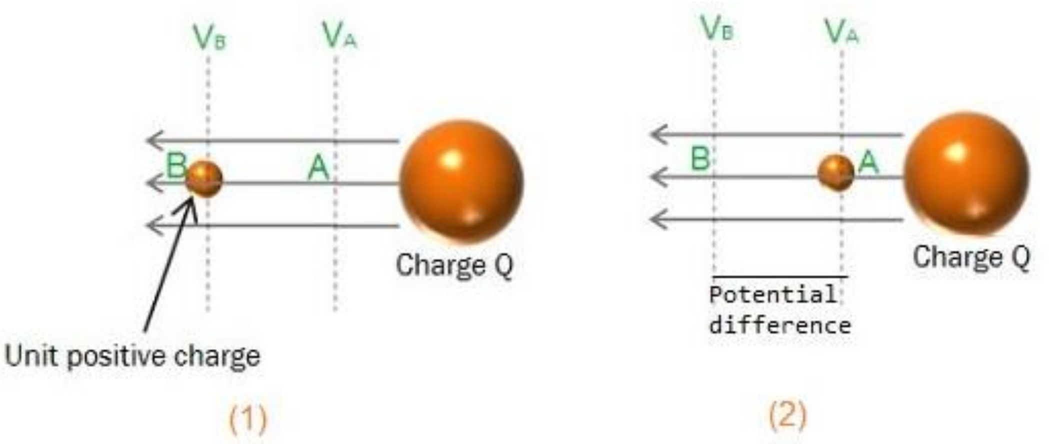
. فلو أردنا تحريكها إلى النقطة B على طول المسار a للزم علينا بذل شغل بعامل خارجي ضد القوة الكهربائية بحيث تبقى حركـة الشحنة دائماً في حالة اتزان وهذا الشغل يساوي الزيادة في الطاقة الكامنة للشحنة .إن فرق الجهد بين النقطتين A و B داخل المجال الكهربائي هو الشغل المبذول ضد القوة الكهربائية لنقل وحدة شحنة الاختبار الموجبة من A إلى B ويعرف فـرق الجهد بين النقطتين VAB بأنة مقدار الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات الموجبة بين هاتين النقطتين .

$$V_B - V_A = V_{BA} = \frac{W_{AB}}{q_o}$$

<u>فرق الجهد بين نقطتين:</u>

كما هو موضح من الشكل لنقل شحنة اختبارية موجبة مقدارها الوحدة واقعة داخل مجال الشحنة Q من النقطة A الى النقطة B فان هناك شغل مبذول من النقطة A الى النقطة B . وهذا الشغل قد يكون موجب او سالب حسب نوع الشحنة المسببة للمجال. فإذا كان انتقال

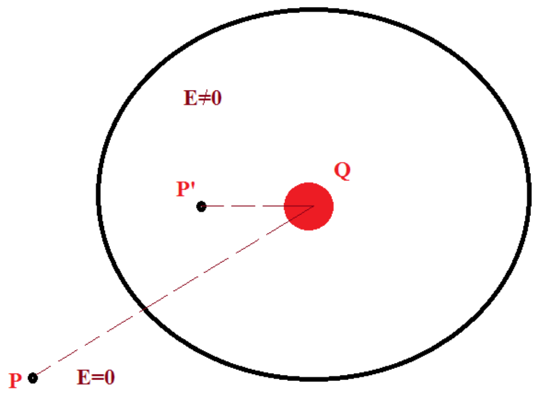
الشحنة الاختبارية في اتجاه المجال فيكون الانتقال من الأعلى جهد الى الأدنى جهد ($V_B<V_A$) وبالتالي يكون فرق الجهد سالب ($V_{AB}=V_B-V_A$) واذا كان الانتقال في عكس اتجاه المجال ($V_B>V_A$) يكون فلرق الجهد موجب. عندما يكون جهد النقطة A مساويا لجهد النقطة B ($V_A=V_B$)هنا يكون فرق الجهد يساوي صفر.



في الشكل الشحنة الاختبارية تنتقل من الأعلى جهد للادني جهد وبالتالي فرق الجهد سالب (لاحظ اتجاه خطوط الفيض الكهربي).

الجهد عند نقطة داخل مجال كهربى:

في الشكل التالي الشحنة Q يكون لها مجال كهربي محيط بها فإذا كانت النقطة P تقع خارج هذا المجال فلا تتأثر اي شحنة اختبارية موجودة عند P باي قوى كهربية وبالتالي اذا تحركت خارج المجال فإن الشغل المبذول يساوي صفر بمعني ان الجهد عند تلك النقطة يساوي صفر.



اذا كانت نقطة P′ تقع داخل مجال الشحنة Q فهنا ستتأثر الشحنة الاختبارية بقوة نتيجة وجودها فى مجال الشحنة Q فلابد من وجود جهد كهربي عند النقطة P′. وعلي وجه العموم لقياس الجهد عند أي نقطة، اتفق أن يكون جهد النقاط البعيدة جداً عن الشحنات مساوياً إلى صفر (خارج مجال الشحنة). وفي حالتنا دعنا نختار النقطة A في ما لانهاية ليصبح الجهد عند A (V_A) يساوي صفراً، وبالتعويض في المعادلة

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0}$$

نحصل على الجهد الكهربائي عند النقطة B اي V_B.

إذن تعريف الجهد عند نقطة ما هو عبارة عن الشغل اللازم بذلة لجلب وحدة الشحنة الاختبارية الموجبة من المالانهاية إلى تلك النقطة (أو من نقطة جهد صفر إلى النقطة المعنية) والعلاقة الرياضية هي

$$V = \frac{W}{q_0}$$

أي

$$V_B = \frac{W_{\infty B}}{q_o}$$

$$V_B = \frac{F.r}{q_o} = k\frac{Q}{r_B}$$

فرق الجهد بين نقطتين داخل مجال كهربى منتظم:

لو تصورنا ان هناك شحنة اختبار q_0 (موجبة) فى مجال كهربي شدته E فإنها سوف تتحرك في نفس اتجاه المجال مبتعدة عن الشحنة المصدر (من النقطة B القريبة من الشحنة الاصلية الي النقطة A البعيدة عن الشحنة الاصلية) . بحساب الشغل المبذول بواسطة قوة خارجية (F_{ex}) ضد القوى الكهربية (qE) لتحريك شحنة الاختبار q_0 من A إلى B (عكس المجال) بحيث تكون دائما في حالة اتزان أي أن

$$F_{ex} = q_o \text{ E}$$

فإن هذا الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات من A الى B يمثل فرق الجهد بين النقطتين B و A

وعلية يُعريف فرق الجهد الكهربي بين نقطتين A&B واقعتين في مجال كهربي شدته E بالآتي :

هو مقدارالشغل الازم لنقل وحدة الشحنات الموجبة بين هاتين النقطتين عكس المجال الكهربى

$$V_B - V_A = V_{BA} = \frac{W_{AB}}{q_o}$$

$$V_{BA} = \frac{F\,r}{q_0} = k\frac{Qq_0}{r^2}\,r\,\frac{1}{q_0} = k\frac{Q}{r}$$

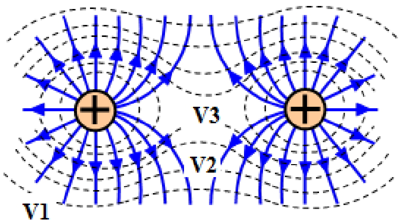
ووحداته ***Volt = Joule/Coulomb***

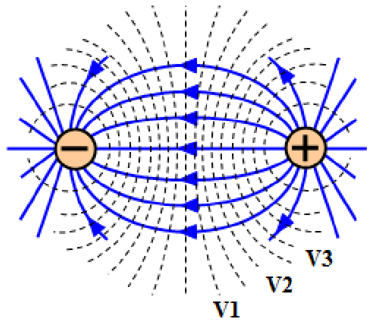
الأسطح المتساوية الجهد ***The equipotential surface***

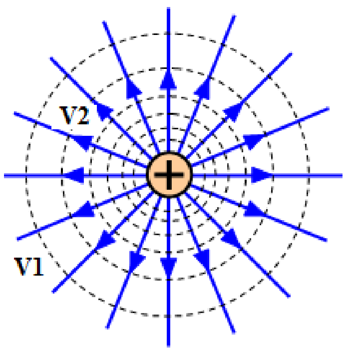
هى تلك الأسطح التي يكون فيها الجهد له نفس القيمة عند كل نقطة على السطح إي ان

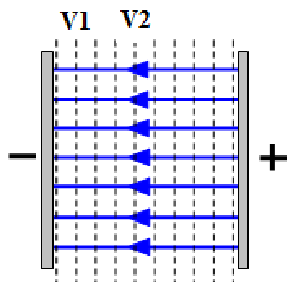
VB – VA = zero عند نقطة على السطح ويسم بالإنجليزية Equipotential Surface

توضح الاشكال التالية العديد من الاسطح المتساوية الجهد والتي تعتمد فى شكلها على شكل خطوط المجال الكهربي وتوزيع الشحنات.



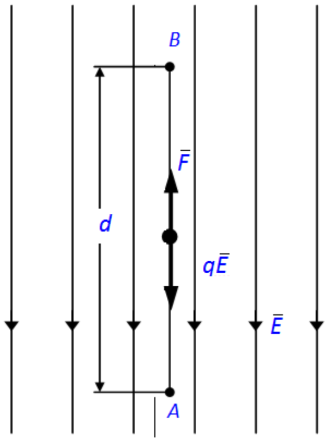






تتميز الاسطح متساوية الجهد بأنها تكون عمودية على خطوط المجال عند كل نقطة.

علاقة فرق الجهد بشدة المجال الكهربى فى حالة مجال كهربى منتظم:



لنفترض أن لدينا مجالاً منتظماً E وأننا نريد أن نجد فرق الجهد بين نقطتين واقعتين في منطقة المجال، كالنقطتين A, B تبعدان عن بعضهما المسافة d، كما في الشكل (1). لإيجاد فرق الجهد V_{BA}، نحسب مقدار الشغل اللازم لتحريك وحدة الشحنة الموجبة من النقطة A إلى النقطة B. وبما أن الشحنة q تتحرك باتجاه المجال فيما لو كانت هذه الشحنة حرة الحركة. ولكي ننقل هذه الشحنة q من النقطة A إلى النقطة B فإن علينا أن نؤثر بقوة خارجية F تساوي في مقدارها qE (على الأقل)، وتعاكس المجال بالاتجاه. وعندما تكون $F = -qE$ فإن الشحنة تستطيع الحركة من A إلى B بدون تسارع (أي بسرعة ثابتة)، ويكون الشغل المبذول عليها أثناء انتقالها من A إلى B مساوياً W_{AB} حيث:

$$dW_{AB} = F \, . \, d \;=\; F \;\; d \;\; \cos\,\theta$$
$$= \; F \;\, d \cos\theta \;\; = \; F \;\; d$$

وذلك لأن اتجاه القوة F موازٍ لاتجاه الإزاحة d (الزاوية بينهما تساوي صفراً)، ومنها فإن فرق الجهد V_{BA} يعطى بالمعادلة التالية:

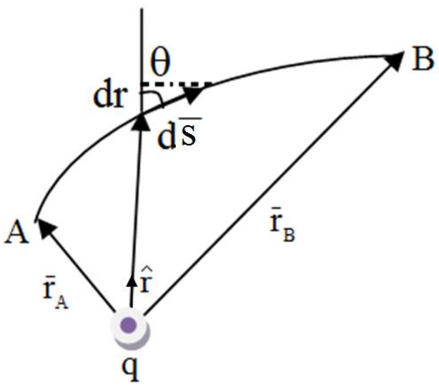
$$V_{BA} = \frac{W_{AB}}{q} = \frac{qEd}{q} = Ed$$
$$V_{BA} \;=\; Ed$$

ويمكن كتابة هذه المعادلة على النحو التالي:

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

وهذه المعادلة تبين العلاقة بين فرق الجهد والمجال الكهربي كحالة خاصة في حالة وجود مجال كهربي منتظم . ووحدة قياس المجال هنا (V/m) وهى تساوى (N/C) .

الجهد الكهربى وطاقة الوضع نتيجة شحنة نقطية:



في هذه الحالة تكون قيمة E متغيرة وتعتمد في تغيرها على مكان النقطة و كما هو الحال عند حساب فرق الجهد بين نقطتين في مجال منتظم، فإن علينا أن نؤثر على شحنة اختبار تخيلية موجبة بقوة ($F = -q_0E$) بحيث يكون تسارع الشحنة تحت تأثير القوة

المحصلة صفراً. ثم نحسب الشغل اللازم لنقل وحدة الشحنة الموجبة بين النقطتين. وبما أن قيمة المجال E متغيرة فإن F ستكون متغيرة كذلك. وإذا أخذنا الإزاحة ds أثناء الحركة بين النقطتين، كما هو مبين في الشكل التالي

$$W_{AB} = \int_A^B \vec{F}.ds = -q_0 \int_A^B \vec{E}.d\vec{s}$$

$$V_{BA} = \frac{W_{AB}}{q_0} = -\int_A^B \vec{E}.ds = -\int_A^B E \ ds \cos\theta = \int_A^B E \ dr$$

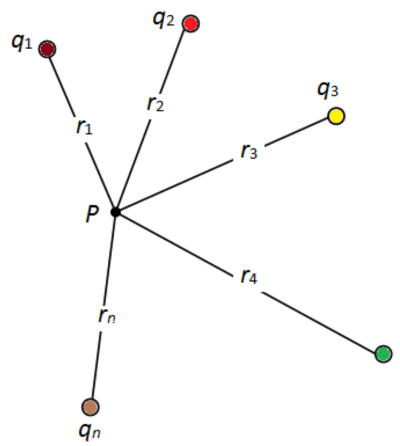
$$= -kq \int_A^B dr/r^2 = \left[\frac{kq}{2}\right]_{r|B}^{rA} = kq[\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A}]$$

لا يعتمد التكامل على المسار بين A و B لان المجال الكهربي لشحنة نقطية محفوظ.

وكما سبق وذكرنا باعتبار نقطة A فى المالانهاية تؤول المعادلة السابقة الي الجهد عند نقطة B اي $V_B = k\, q\, /\, r_B$

الجهد الكهربى لمجموعة من الشحنات النقطية

حساب الجهد الناتج عن عدد n من الشحنات النقطية عند نقطة مثل P، كما في الشكل التالي، هو مجموع الجهود الناتجة عن تلك المجموعة كلاً على حدى وبذلك نحسب الجهد الناتج عن كل شحنة على حدة، متجاهلين وجود الشحنات الأخرى، ثم نجمع قيم هذه الجهود جمعاً جبرياً بسيطاً، لأن الجهد كمية قياسية (غير متجهة)، فنحصل على الجهد الكهربائي عند النقطة المطلوبة.



$$V_P = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots + V_n$$

$$V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \ldots + \frac{q_n}{r_n}\right]$$

أي أن:

$$V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i}{r_i}$$

طاقة الوضع لمنظومة من الشحنات:

في حالة وجود منظومة من شحنتين تفصلهما مسافة r فإن وجود هذه المنظومة فى هذا الوضع لا ياتي من العدم بل لابد من وجود طاقة مخزنة بتلك المنظومة والتي ادت لوجودها. فإذا كانت الشحنتين q1 و q2 وافترضنا ان الشحنتان فى مالانهاية بالنسبة لبعضهما البعد هذا يعني عدم وجود قوة كهربية بينهما وبالتالي لا يوجد شغل. فى حالة جلب الشحنة الاولي الى موضعها الجديد (لا يوجد مجال شحنة اخري) هنا لا نبذل اي شغل . والان دعنا نجلب الشحنة الثانية الى النقطة التي تبعد r عن الشحنة الاولي بشرط ان تكون فى حالة اتزان اي بدون تسارع هنا سنضطر لبذل شغل لإزاحة الشحنة q_2 فى مجال الشحنة q_1 . هذا الشغل يساوي طاقة الوضع U للمنظومة المكونة من الشحنتين .

$$U = k\frac{q_1 q_2}{r_{12}}$$

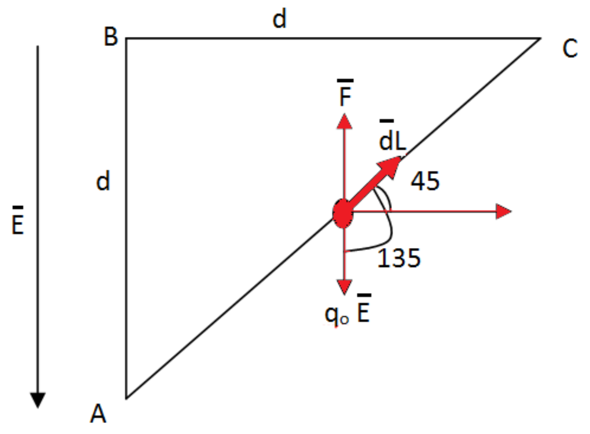
هنا لابد من أخذ اشارة الشحنتان وبالتالي اذا كانت الشحنتان مختلفتان تكون طاقة الوضع سالبة وفى حالة شحنتان موجبتان او سالبتان تكون طاقة الوضع موجبة.

في حالة عدد من الشحنات نحصل على طاقة الوضع بحساب U لكل زوج من الشحنات ثم جمع هذه الحدود جبرياً. اي فى حالة ثلاث شحنات على سبيل المثال يكون

$$U = k(\frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}})$$

مثال (1)

احسب فرق الجهد الكهربي لشحنة اختبار تحركت حسب المسار الموضح بالشكل (5) بدون تسارع بين النقطتين A , C .



شكل (5)

$$V_C - V_A = -\int_A^C E \ Cos135 \ dL = -\int_A^C E \ \frac{-1}{\sqrt{2}} \ dL$$

$$= \frac{E}{\sqrt{2}} \int_A^C dL = \frac{E}{\sqrt{2}} \ \sqrt{2} \ d = E \ d$$

أما بالنسبة للنقطتين B , C فلهما نفس الجهد لأن الزاوية بين dL والمجال E تساوى 90

$$V_C - V_B = -\int_B^C E \ Cos 90 \ dL = 0$$

أما الجهد بين النقطتين A , B فيعطى بالعلاقة

$$V_B - V_C = \int_B^A E \ \cos 0 \ dL = E \int_B^A dL$$

$$= E \ d$$

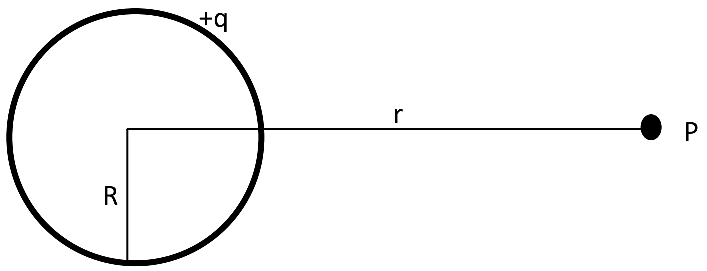
وهذه النتيجة تبين لنا أن

$$V_B - V_A = V_C - V_A = E \ d$$

أي أن فرق الجهد بين نقطتين لا يعتمد على المسار بينهما.

مثال (2)

احسب الجهد الكهربي عند نقطة تبعد مسافة قدرها r من مركز كرة مشحونة بشحنة موجبة كما هو موضح بالشكل (6).



شكل (6)

$$\because E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2}$$

$$\because E = \frac{dV}{dr}$$

$$\therefore dV = E\ dr$$

$$V = \int dV = \int E\ dr$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_o}\int\frac{1}{r^2}\ dr$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_o}\frac{1}{r} + C$$

وثابت التكامل C يساوى صف لأنه عندما r تساوى ملا نهاية فإن الجهد V يساوى صفر

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_o}\frac{1}{r}$$

و يكون الجهد على سطح الكرة r = R يعطى بالعلاقة

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_o}\frac{1}{R}$$

الامثلة التالية من المرجع :
http://repository.uobabylon.edu.iq/2010_2011/3_29549_65.pdf

مثال (3)

إذا كان فرق الجهد بين قطبي بطارية هو $12V$ فما مقدار الشغل الذي تبذله البطارية لنقل إلكترون من قطبها الموجب إلى السالب. وكم لنقله بالاتجاه المعاكس.

الحل :

الانتقال بالإلكترون من قطب البطارية الموجب إلى السالب يعني المرور خلال انخفاض جهد وعليه فان $V = -12Volt$ ، لذا فان الشغل المبذول في هذه الحالة هو:

$$W = \Delta Vq = (-12)(-1.6\times10^{-19}) = 1.9\times10^{-18}\,J$$

أما ترك الإلكترون وشأنه سيجذبه نحو القطب الموجب وهذا يعني أنها تكون عند الجهد الأعلى أي $V = +12Volt$ لذا فالشغل المبذول في هذه الحالة يكون :

$$W = \Delta Vq = (+12)(-1.6\times10^{-19}) = -1.9\times10^{-18}\,J$$

مثال (4)

إذا علم أن فرق الجهد بين لوحين متوازيين متعاكسي الشحنة المسافة بينهما $1cm$ هو $100\,V$. احسب : 1- مقدار شدة المجال الكهربائي بينهما ، 2- مقدار التعجيل الذي يتحرك به ايون الهيدروجين كتلته $3.32\times10^{-27}\,kg$ وشحنته $1.6\times10^{-19}\,C$ إذا وضع في هذا المجال ، 3- سرعته بعد أن يقطع مسافة قدرها $0.5cm$ ، 4- طاقته الحركية بعد أن يقطع هذه المسافة.

الحل:

1 − $\Delta V = Ed$

$$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{100}{10^{-2}} = 10^{4}\,NC^{-1}$$

2- لما كانت شحنة ايون الهيدروجين موجبة، فان تعجيله يكون باتجاه المجال الكهربائي وعلى خط مستقيم، أما مقداره فيمكن إيجاده من المعادلة :

$$F = ma \Rightarrow qE = ma$$

$$a = \frac{qE}{m} = \frac{1.6\times10^{-19}\times10^{4}}{3.32\times10^{-27}} = 4.819\times10^{11}\,m/\sec^{2}$$

3- سرعة ايون الهيدروجين بعد أن يقطع مسافة قدرها $0.5cm$ هي :

$$\vartheta = \sqrt{2ax} = \sqrt{2\times4.819\times10^{11}\times0.5\times10^{-2}} = 6.94\times10^{4}\,m/\sec$$

4- طاقة ايون الهيدروجين بعد أن يقطع المسافة نفسها هي:

$$K = \frac{1}{2}m\vartheta^{2} = \frac{1}{2}\times3.32\times10^{-27}\times(6.94\times10^{4})^{2}$$

$$= 7.99515\times10^{-18}\,J$$

مثال (5)

احسب الجهد المطلق في الهواء على بعد $3cm$ من شحنة نقطية $500\mu c$

الحل :

$$V=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$$

$$V=9\times10^9\frac{500\times10^{-6}}{0.03}=150000\ V=150KV$$

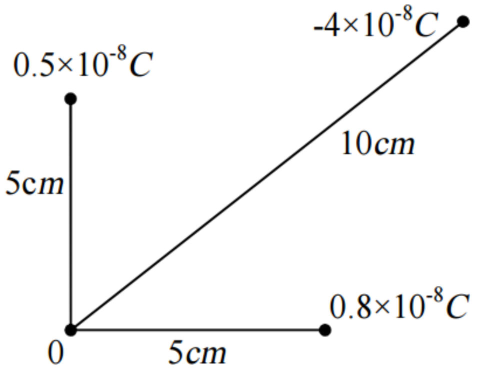
مثال (6)

ثلاث شـــحنات نقطيـــة $0.5\times10^{-8}C$ + و $-4\times10^{-8}C$ و $0.8\times10^{-8}C$ جميعها واقعة في المستوي xy ومثبتة في المواقع المؤشرة في الشكل اوجد مقدار

1- الجهد الكهربائي عند نقطة الأصل 0 الناشئ عن الشحنات.

2- الشغل اللازم إنجازه لإحضار إلكترون إلى النقطة 0 من مسافة بعيدة جداً.

الحل :



1- الإسهامات المختلفة في الجهد عند النقطة 0 هي :

$$V_1=9\times10^{9}\frac{0.5\times10^{-8}}{0.05}=900\ V$$

$$V_2=9\times10^{9}\frac{-4\times10^{-8}}{0.1}=-3600\ V$$

$$V_3=9\times10^{9}\frac{0.8\times10^{-8}}{0.05}=1440\ V$$

والجهد الكلي عند 0 هو:

$$V=V_1+V_2+V_3$$

$$V=900+(-3600)+1440=-1260\ V$$

2- الشغل المطلوب إنجازه لإحضار إلكترون بعيد جداً هو :

$$W=qV=(-1.6\times10^{-19})(-1260)=2\times10^{-16}\ J$$

مثال (7)

إلكترون يتحرك بسرعة $6\times10^{5}\,m/\sec$ عند مروره بنقطة A في طريقه إلى نقطة B. فإذا كانت سرعته عند B هي $12\times10^{5}\,m/\sec$ فاحسب فرق الجهد بين A و B وبين أيهما تكون عند جهد أعلى.

الحل :

الشغل المبذول في نقل الإلكترون من نقطة A إلى نقطة B وهو يمثل الطاقة الكامنة المفقودة $(P.E)$ وتساوي $q(V_B - V_A)$ ، ومن المعلوم أن الفقد في $(P.E)$ يظهر كطاقة حركية للإلكترون ، أي :

$$q(V_B - V_A) = \frac{1}{2}m\vartheta_2^2 - \frac{1}{2}m\vartheta_1^2$$

$$V_B - V_A = \frac{m}{2q}(\vartheta_2^2 - \vartheta_1^2)$$

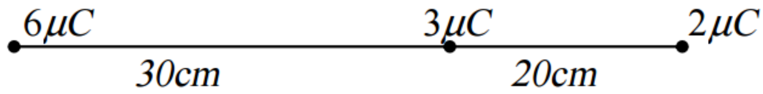
$$V_B - V_A = \frac{9.1\times10^{-31}}{2\times1.6\times10^{-19}}\left((12\times10^{5})^2 - (6\times10^{5})^2\right)$$

$$V_B - V_A = 3.07\ V$$

من ذلك نستنتج أن نقطة B تكون عند جهد أعلى.

مثال (8)

احسب الطاقة الكامنة الكهربائية لثلاث شحنات نقطية موضوعة على محـــور السينات بالترتيب الموضح في الشكل (9-6).



الشكل (9-6)

الحل :

لنقِلْ أي شحنة من المالانهاية إلى نقطة يكون عندها الجهد V فان شغلاً يجب أن يبذل على الشحنة. هذا الشغل يظهر على هيئة طاقة كامنة كهربائية $(P.E)$ مختزنـــة في الشحنة. أن نقل الشحنة $2\mu C$ من المالانهاية لا يتطلب شغلاً لعدم وجـــود شـــحنات أخرى قريبة، في حين يكون الشغل اللازم لنقل الشحنة $3\mu C$ (من المالانهاية) نتيجـــة التنافر مع الشحنة $+2\mu C$ هو:

$$W_{3\mu c} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{r}$$

حيث الجهد هنا يكون نتيجة الشحنة $+2\mu C$

$$W_{3\mu c} = 9\times10^{9}\,\frac{3\times10^{-6}\times2\times10^{-6}}{0.2} = 0.27J$$

لنقِلْ الشحنة $6\mu C$ إلى الموضع المطلوب إحضارها عنده حيث الجهـــد يكـــون نتيجـــة الشحنتين $+2\mu C$ و $3\mu C$، وعليه فان الشغل اللازم لإنجاز ذلك $6\mu C$ هو:

$$W_{6\mu c} = 9\times10^{9}\times6\times10^{-6}\left[\frac{2\times10^{-6}}{0.5}+\frac{3\times10^{-6}}{0.3}\right]$$

$$= 0.756J$$

بجمع مقادير الشغل اللازم لنقل الشحنات الكلية نحصل على الطاقة الكامنة الكهربائيـــة المختزنة في النظام وهي: $p.E = 0 + 0.27 + 0.765 = 1J$

وعلى الطالب أن يثبت بأن الترتيب الذي تم به نقل الشحنات من المالانهاية لا يؤثر على هذه النتيجة؟

مثال (9)

إذا علم إن فرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائي يـــساوي $1000\,V$ فمـــا مقدار الشغل المطلوب لتحريك جسيمٍ ذي شحنة مقدارها 2e من أحدى النقطـــتين إلى الأخرى بوحدات.

1- إلكترون فولت، 2- الجول.

الحل :

1 - $$W = q(V_2 - V_1)$$
$$W = qV_{21} = (2e)\times(100\ V)$$
$$W = 200\,eV$$

2 - $$W = 2\times1.6\times10^{-19}\times100\ V$$
$$= 3.2\times10^{-17}\,J$$

نشكر المحاضرة عهود السهيل على تزويدنا بهذه التمارين المحلولة لرفعهل للويب سيت

الفصل الثالث والعشرون: المكثفات والمواد العازلة كهربياً

السؤال الأول:

موصلان عليهما شحنة نهائية $10\mu c$ و $-10\mu c$ وفرق الجهد بينهما $10V$. احسب (a) سعة المنظومة و (b) فرق الجهد بين الموصلين أذا زيدت الشحنات على كل منهما إلى $100\mu c$ و $-100\mu c$.

$Q = 10\mu C \quad , \qquad \Delta V = 10V$

$(a)\ C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{10\times 10^{-6}}{10} = 1\times 10^{-6}F = 1\mu F$

$(b)\ \Delta V = \frac{Q}{C} = \frac{100\mu C}{1\mu F} = 100V.$

السؤال الثاني:

كرة موصلة مشحونة ومعزولة نصف قطرها $12cm$ ينشأ عنها مجال كهربي مقداره $4.9\times 10^4\frac{N}{C}$ على بعد $21cm$ من مركزها . (a) كم تكون كثافة شحنتها السطحية ؟ (b) وكم تكون سعتها ؟

$a = 12cm = 0.12m \qquad , r = 21cm =$
$0.21m , \qquad E_P = 4.9\times 10^4\ N/C$

$(a) E_P = K_e\frac{Q}{r^2} \rightarrow 4.9\times 10^4 = 9\times 10^9\frac{Q}{(0.21)^2}$

$\rightarrow Q = 0.02401\times 10^{-5}C = 0.24\times 10^{-6}C = 0.24\mu C$

$\rightarrow \sigma = \frac{Q}{A} = \frac{0.24\times 10^{-6}}{4\pi a^2} = \frac{0.24\times 10^{-6}}{4\times 3.14\times (0.12)^2}$

$= 1.33\times 10^{-6}\frac{C}{m^2} = 1.33\ \mu c/m^2$

$$(b)\ C = \frac{ab}{k_e(b-a)} \quad , \quad b \to \infty$$

$$C = \frac{ab}{k_e b} = \frac{a}{k_e} = \frac{0.12}{9 \times 10^9} = 13.3 \times 10^{-6} F = 13.3 \mu F$$

السؤال الثالث:

مكثف ذولوحين مملوء بالهواء ، مساحة كل لوح من ألواحه هي $7.6 cm^2$ ، وتفصلهما مسافة $1.8mm$. اذا استخدم فرق جهد $20V$ على اللوحين، احسب (a) المجال الكهربي بين اللوحين ، (b) الكثافة السطحية للشحنة ، (c) السعة ، (d) الشحنة على كل لوح .

$$A = 7.6 cm^2 = 7.6 \times 10^{-4} m^2$$

$$d = 1.8mm = 1.8 \times 10^{-3} m$$

$$\Delta V = 20V$$

$$(a) E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{20}{1.8 \times 10^{-3}} = 11.1 \times 10^3 \ V/m$$

$$(b) E = \frac{\sigma}{\varepsilon_\circ} \to \sigma = \varepsilon_\circ E = \frac{E}{4\pi k_e} = \frac{11.1 \times 10^3}{4 \times 3.14 \times 9 \times 10^9}$$

$$= 0.0981 \times 10^{-6}\, c/m^2 = 98.1\, nc/m^2$$

$$(c) C = \frac{\varepsilon_\circ A}{d} = \frac{A}{4\pi k_e d} = \frac{7.6 \times 10^{-4}}{4 \times 3.14 \times 9 \times 10^9 \times 1.8 \times 10^{-3}}$$

$$= 0.0373 \times 10^{-10} F = 3.73 \times 10^{-12} F = 3.73 PF$$

$$(d) Q = C\Delta V = 3.73 \times 10^{-12} \times 20 = 74.6 \times 10^{-12} c$$
$$= 74.6 Pc$$

Or $Q = \sigma A = 98.1 \times 10^{-9} \times 7.6 \times 10^{-4} = 74.6 Pc$

السؤال الرابع:

عند تطبيق فرق جهد $150V$ على لوحي مكثف ذو لوحين متوازيين ، كانت كثافة الشحنة السطحية هي $30\,nC/cm^2$ كم تكون المسافة الفاصلة بين اللوحين ؟

$$\Delta V = 150V \quad , \quad \sigma = 30\,nc/cm^2 = \frac{30 \times 10^{-9}}{10^{-4} m^2}$$
$$= 300 \times 10^{-6}\, c/m^2 = 300\,\mu c/m^2$$

$$\Delta V = Ed = \frac{\sigma d}{\varepsilon_\circ} = 4\pi k_e \sigma d \to d = \frac{\Delta V}{4\pi k_e \sigma}$$

$$= \frac{150}{4 \times 3.14 \times 9 \times 10^9 \times 300 \times 10^{-6}} = 4.4 \times 10^{-6} m = 4.4 \mu m$$

السؤال الخامس:

كابل محوري طوله $50m$ يحتوي على موصل داخلي قطرة $2.58mm$ ويحمل شحنة $8.1\mu c$. ويحيط به موصل نصف قطره الداخلي $7.27mm$ وشحنة مقدارها $-8.1\mu c$. (a) احسب سعة هذا الكابل ؟ (b) ماهو فرق الجهد بين الموصلين ؟ افرض أن المنطقة بين الموصلين مملوءة بالهواء .

$$l = 50m\,, a = \frac{2.58}{2} = 1.29mm = 1.29 \times 10^{-3} m$$

$$b = 7.27mm = 7.27 \times 10^{-3} m\,, Q = 8.1\mu c$$

$$(a) C = \frac{l}{2k_e ln\left(\frac{b}{a}\right)} = \frac{50}{2 \times 9 \times 10^9 ln\left(\frac{7.27}{1.29}\right)} = 1.61 \times 10^{-9} F$$
$$= 1.61 nF$$

$$(b) \Delta V = \frac{Q}{C} = \frac{8.1 \times 10^{-6}}{1.61 \times 10^{-9}} = 5.031 \times 10^3 V = 5031 V$$

السؤال السادس:

مكثف كروي مملوء بالهواء صمم على شكل قشرتين كرويتين نصفي قطريهما الداخلي والخارجي هما $7cm$ و $14cm$ على الترتيب . (a) احسب سعة المكثف (b) كم يكون فرق الجهد بين الكرتين عندما تكون الشحنة على المكثف $4\mu c$ ؟

$$a = 7cm = 0.07m\,, b = 14cm = 0.14m$$

$$(a) C = \frac{ab}{k_e(b-a)} = \frac{(0.07)(0.14)}{9\times 10^{9}(0.14-0.07)}$$
$$= 0.0155\times 10^{-9}F = 15.5\times 10^{-12}F = 15.5PF$$

$$(b) 4\mu c \rightarrow \Delta V = \frac{Q}{C} = \frac{4\times 10^{-6}}{15.5\times 10^{-12}} = 0.26\times 10^{6}V = 0.26MV$$

السؤال السابع :

عند توصيل مكثفين على التوازي كانت سعتهما المكافئة هي $9PF$ وكانت السعة المكافئة لهما عند توصيلهما على التوالي هي $2PF$. ما مقدار السعة لكل منهما ؟

$$C_{eq} = C_1 + C_2 = 9PF \ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \rightarrow C_{eq} = \frac{C_1C_2}{C_1+C_2} = 2PF \ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

$$\therefore C_1 + C_2 = 9 \ldots\ldots(1) \rightarrow C_1 = 9 - C_2 \ldots\ldots(3)$$

$$\frac{C_1C_2}{C_1+C_2} = 2 \ldots\ldots\ldots(2)$$

$$from\ (2)\ \frac{(9-C_2)C_2}{9-C_2+C_2} = 2 \rightarrow (9-C_2)C_2 = 18$$

$${C_2}^2 - 9C_2 + 18 = 0 \rightarrow (C_2-6)(C_2-3) = 0$$

$$\rightarrow C_2 = 6\ \ or\ C_2 = 3$$

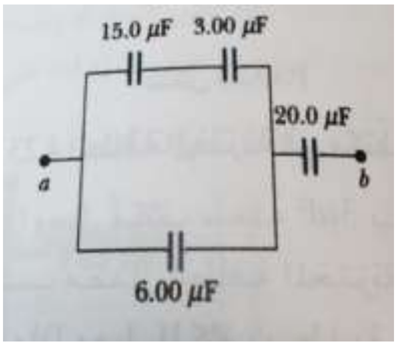
$$if\quad C_2 = 6PF \rightarrow C_1 = 9-6 = 3PF$$

$$and\ \ if\ C_2 = 3PF \rightarrow C_1 = 9-3 = 6PF$$

السؤال الثامن :

وصلت أربعة مكثفات كما بالشكل . (a) اوجد السعة المكافئة بين النقطتين a و b .

(b)احسب الشحنة على كل مكثف اذا كان $\Delta V_{ab} = 15V$.



$$(a) C_{1,2} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 2.5\mu F$$

$$C_{1,2,3} = 2.5 + 6 = 8\mu F$$

$$C_{1,2,3,4} = \frac{C_{1,2,3} C_4}{C_{1,2,3} + C_4} = 5.96\mu F \qquad \therefore C_{eq} = 5.96\mu F$$

$$(b) \Delta V = 15V \rightarrow Q = C_{eq} \Delta V = 5.96 \times 10^{-6} \times 15$$
$$= 89.4 \times 10^{-6} c = 89.4\mu c$$

$$\boxed{Q_4 = Q_{1,2,3} = 89.4\mu C}$$

$$\Delta V_4 = \frac{Q_4}{C_4} = \frac{89.4 \times 10^{-6}}{20 \times 10^{-6}} = 4.47V$$

$$\Delta V_{1,2,3} = \frac{Q_{1,2,3}}{C_{1,2,3}} = \frac{89.4 \times 10^{-6}}{8.5 \times 10^{-6}} = 10.53V$$

Now $\Delta V_{1,2,3} = \Delta V_3 = \Delta V_{1,2} = 10.53V$

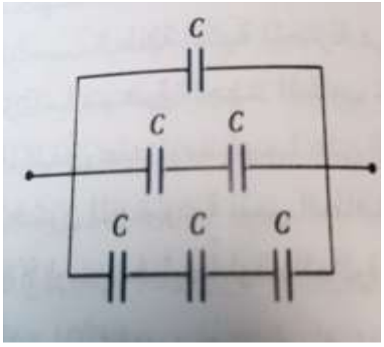
$$\boxed{Q_3 = C_3 \Delta V_3 = 6 \times 10^{-6} \times 10.53 = 63.1 \times 10^{-6} c = 63.1\mu c}$$

$$Q_{1,2} = C_{1,2} \Delta V_{1,2} == 2.5 \times 10^{-6} \times 10.53 = 26.3 \times 10^{-6} c$$
$$= 26.3\mu c$$

Now $Q_1 = Q_2 = 26.3\mu c$

السؤال التاسع :

عين السعة المكافئة لمجموعة المكثفات الموضحة بالشكل . كل المكثفات متشابهة تماماً ، وكل منها سعته c .



$$C_{eq} = C + \frac{C}{2} + \frac{C}{3} = \frac{11}{6}\ C$$

السؤال العاشر:

وصل مكثفان سعتهما $C_1 = 25\mu F$ و $C_2 = 5\mu F$ على التوازي وشحنا بمصدر قدره جهده $100V$. (a) احسب الطاقة الكلية المختزنة في المكثفين . (b) ماهو فرق الجهد المطلوب خلال نفس المكثفين عند توصيلهما على التوالي لكي تختزن المجموعة نفس الطاقة في الجزء (a)؟

$$(a) C_{eq} = C_1 + C_2 = 25 + 5 = 30\mu F$$

$$U = \frac{1}{2} C_{eq} (\Delta V)^2 = \frac{1}{2} \times 30 \times 10^{-6} \times (100)^2$$

$$= 15 \times 10^{-2} J = 0.15 J$$

$$(b) C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{25 \times 5}{25 + 5} = 4.17\mu F$$

$$\rightarrow U = \frac{1}{2} C_{eq} (\Delta V)^2$$

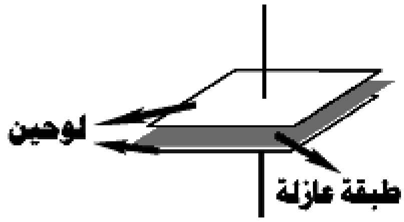
$$0.15 = \frac{1}{2} \times 4.17 \times 10^{-6} (\Delta V)^2$$

$$(\Delta V)^2 = \frac{2 \times 0.15}{4.17 \times 10^{-6}} = 7.19 \times 10^4$$

$$\rightarrow \Delta V = \sqrt{7.19 \times 10^4} = 2.68 \times 10^2 = 268V$$

المكثفات
Capacitors

المكثف عبارة عن لوحين موصلين , يفصل بينهما مادة عازلة كما هو موضح في الشكل التالي :



وتقسم المكثفات إلى أنواع حسب نوع المادة العازلة التي يحتويها كل مكثف إلى :

* مكثف هوائي (المادة العازلة هي الهواء)

* مكثف ورقي (المادة العازلة هي الورق)

* مكثف سيراميك (المادة العازلة هي السيراميك)

* مكثف كيميائي (المادة العازلة هي حامض كيميائي او مادة اليكتروليتية)

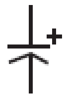
بعض استخدامات المكثفات:

1- ضبط تردد اجهزة الاستقبال الاذاعي ، عمليات التوليف والرنين
2- كمرشحات فى مصادر الامدادات الكهربائيه
3- فى نظم احداث شرارة الأشتعال في نظام السياره
4- كمصدر تخزين للطاقة في الأجهزة للتحكم فى الوحدات الالكترونيه.

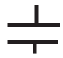
يتميز كل مكثف بسعتة والتي تعتمد على الشكل الهندسى للمكثف وعلى نوع المادة العازلة التى تفصل بين الموصلين.

كما يمكن تقسيمها حسب القطبية إلى قسمين :

1) مكثفات ذات قطبية (وهي المكثفات الكيميائية فقط) ويرمز لها بالرمز



2) مكثفات ليس لها قطبية (كبقية الأنواع الأخرى من المكثفات) ويرمز لها بالرمز



ويستخدم الحرف C في أغلب الأحيان للرمز للمكثف في الدوائر

العلاقة بين السعة والشحنة وفرق الجهد

عند شحن مكثف بشحنة كهربية (q) فيتولد بين لوحيه فرق في الجهد (V) وتكون سعة المكثف C عبارة عن مقدار الشحنة Q على سطح كل موصل مقسوما على فرق الجهد بينهما. أي ان

$$C = \frac{Q}{V}$$

$$V = \frac{Q}{C}$$

وشدة المجال الكهربي بين اللوحين هي

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q}{r^2}$$

$$E = \frac{V}{r}$$

$$\therefore V = E\ .\ r$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q}{r}$$

حيث r المسافة بين لوحين المكثف

من المعادلات السابقة يمكن استنتاج قيمة السعة **C**

$$C = 4\pi\varepsilon_o r$$

هذا يعني ان سعة المكثف تعتمد علي:

1- أبعاد لوحي المكثف 2- الوسط العازل بين اللوحين

وحدة قياس سعة المكثف هي (الفاراد = كولوم/فولت)

ميكروفاراد $1\mu f = 10^{-6} f$

نانوفاراد $1nf = 10^{-9} f$

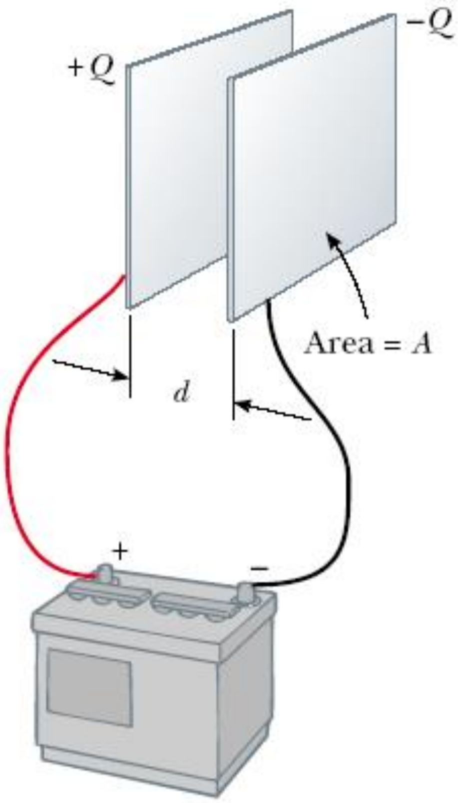
بيكوفاراد $1pf = 10^{-12} f$

من حيث الشكل الهندسي للمكثف يمكن تقسيم المكثفات الي ثلاث أنواع:

1- المكثف متوازي اللوحين

2- المكثف الكروي

3- المكثف الاسطواني



أولاً: المكثف متوازى اللوحين

يتكون من لوحين موصلين متوازيان تفصلهما مسافة صغيرة d ومساحة سطح أى من اللوحين S وسحنة أحد اللوحين Q واللوح الأخر –Q .
الشحنة السطحية تعطى من العلاقة

$$\sigma = \frac{Q}{S}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_o} = \frac{Q}{\varepsilon_o \ S}$$

$$\because V = \int_0^d E \ dx = E \int_0^d dx$$

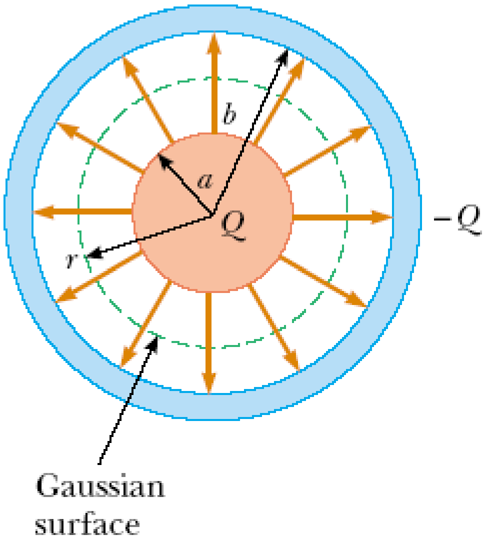
$$= E \ d$$

$$\therefore V = \frac{Q}{\varepsilon_o \ S} \ d$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\varepsilon_o \ S}{d}$$

من هذه المعادلة كلما كانت المسافة بين اللوحين صغيرة فإن الجهد صغيرا بينما تزداد سعة المكثف . وأيضا تزيد السعة بزيادة مساحة اللوحين للمكثف.

ثانياً: المكثف الكروى



يتكون من موصلين كرويين متحدين فى المركز، نصف قطر الموصل الداخلي a وشحنته Q ونصف قطر الموصل الخارجي b وشحنته Q– كما هو موضح بالشكل.

سنستخدم النتيجة التي حصلنا عليها من نظرية جاوس لايجاد شدة المجال عند نقطة تبعد r من المركز وكانت $\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q}{r^2}$. وباستخدام قانون فرق الجهد بين سطحي الكرتين نجد ان:

$$V_b - V_a = -\int_a^b E\, dr$$

$$= -\int_a^b \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q}{r^2}\, dr$$

$$= -\frac{Q}{4\pi\varepsilon_o}\int_a^b \frac{1}{r^2}\, dr$$

$$= \frac{Q}{4\pi\varepsilon_o}\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a}\right)$$

$$= \frac{Q}{4\pi\varepsilon_o}\frac{a\,b}{b-a}$$

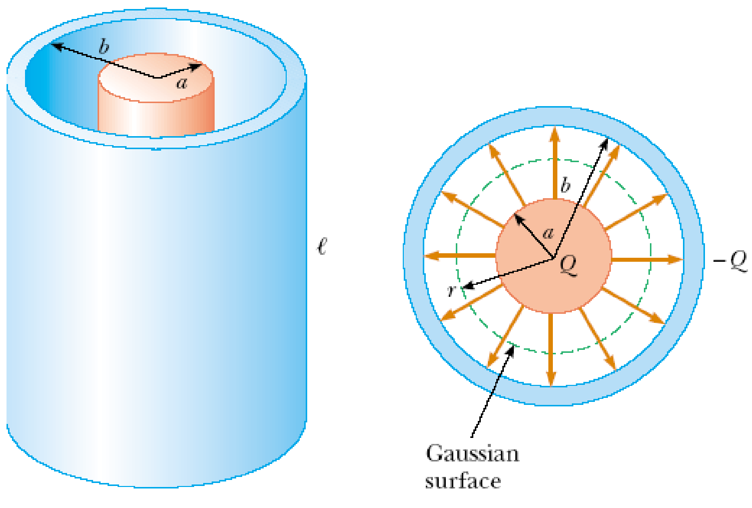
ثالثا ـالمكثف الأسطواني

هنا نفترض ان لدينا مكثف على هيئة اسطوانتين متحدتا المركو فاذا كان ارتفاع الاسطوانة ℓ اكبر بكثير من نصفي قطريي الاسطوانتين a ، b. يمكن اعتبار المجال عمودي على طول محور الاسطوانة ويكون محصور فى *المسافة بينهما* . *هنا*

سنستخدم شدة المجال الناتج عن اسطوانة كما حصلنا علية من تطبيقات جاوس وكانت النتيجة

$E_r = 2 k_e \lambda / r$ حيث $\lambda = Q/L$ و $a < r < b$

بحساب فرق الجهد بين الاسطوانتين



(a) (b)

$$V_b - V_a = -\int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

والتعويض بقيمة E

وتبعا لقانون جاوس فالشحنة على الاسطوانة الخارجية لا تشارك المجال الموجود بالأسطوانة الداخلية وعلية

$$E = 2K_e \frac{\lambda}{r}$$

$$V_b - V_a = -\int_a^b E_r\,dr = -2k_e\lambda \int_a^b \frac{dr}{r} = -2k_e\lambda \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{(2k_e Q/\ell)\ln(b/a)} = \boxed{\frac{\ell}{2k_e \ln(b/a)}}$$

علما بأن ($\lambda = Q/\ell$)

مثال (1)

مكثف متوازي اللوحي مساحة كل من لوحيه $10\ cm^2$ والمسافة بين لوحيه 1mm فإذا كان فرق الجهد بين لوحيه 1000 V فاحسب سعة المكثف وشحنته وقيمة المجال الكهربي بين لوحيه

الحل

لإيجاد السعة:

$$C = \frac{\varepsilon_o . A}{d} = 8.85\times10^{12}\times\frac{10\times10^{-4}}{10^{-3}} = 8.85\times10^{-12}\quad f$$

لإيجاد الشحنة: $q = C.V = 8.85\times10^{-12}\times10^{3} = 8.85\times10^{-9}\ C$

لإيجاد المجال الكهربي

$$E = \frac{V}{d} = \frac{10^3}{10^{-3}} = 10^6 \quad V/m$$

مثال (2)

مكثف متوازي اللوحين مصنوع من مادة الالومنيوم المسافة بين لوحيه 1 mm ماذا يجب ان تكون مساحة كل من لوحيه (A) كي تكون سعته 1 μf , 1 pf , 1

الحل

$$\boxed{\because C = \frac{\varepsilon_o . A}{d}}$$

$$\because C = \frac{\varepsilon_o . A}{d}$$

$$A_1 = \frac{1\times10^{-6}\times10^{-3}}{8.85\times10^{-12}} = 1.13\times10^{2} \quad m^2$$

$$A_2 = \frac{1\times10^{-12}\times10^{-3}}{8.85\times10^{-12}} = 1.13\times10^{-4} \quad m^2$$

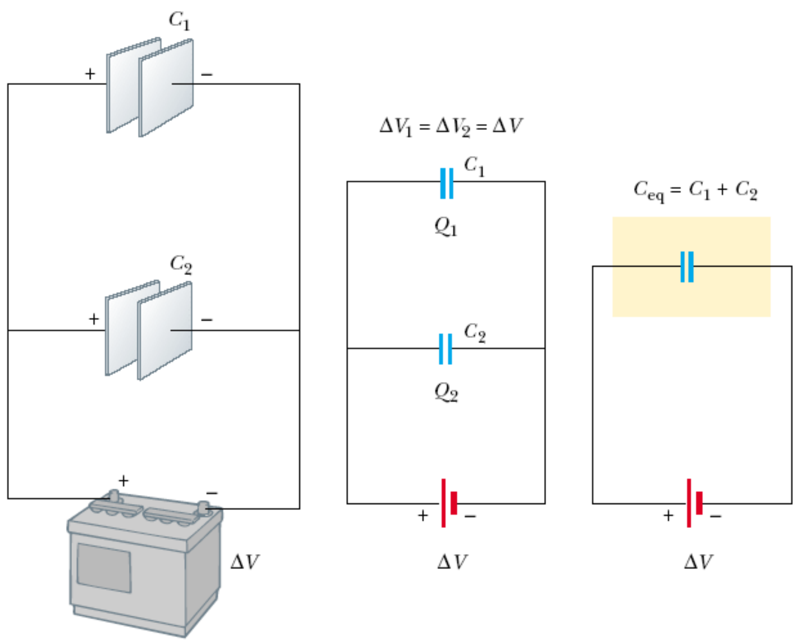
$$A_3 = \frac{1\times10^{-3}}{8.85\times10^{-12}} = 1.13\times10^{8} \quad m^2$$

توصيل المكثفات على التوازى

هذا النوع من التوصيل يتميز بـ:-

1- فرق الجهد لا يتجزأ على المكثفات

2- الشحنة تتجزأ



$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 = C_1 \Delta V \qquad Q_2 = C_2 \Delta V$$

$$Q = C_{eq} \Delta V$$

$$C_{eq} \Delta V = C_1 \Delta V + C_2 \Delta V$$

$$C_{eq} = C_1 + C_2 \qquad \text{(parallel combination)}$$

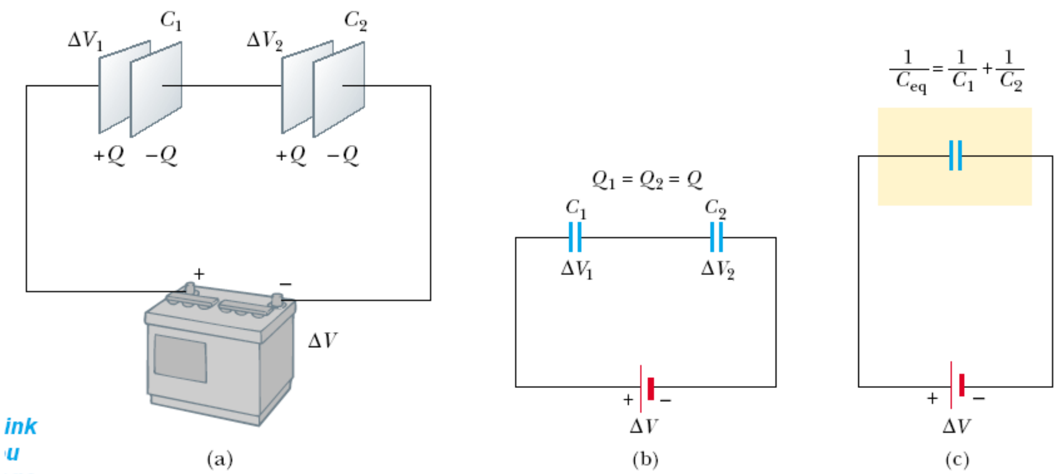
$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots \qquad \text{(parallel combination)}$$

توصيل المكثفات على التوالى

هذا النوع من التوصيل يتميز بـ:

1- فرق الجهد يتجزأ على المكثفات

2- الشحنة لا تتجزأ



$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

$$\Delta V = \frac{Q}{C_{eq}}$$

$$\Delta V_1 = \frac{Q}{C_1} \qquad \Delta V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$\frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

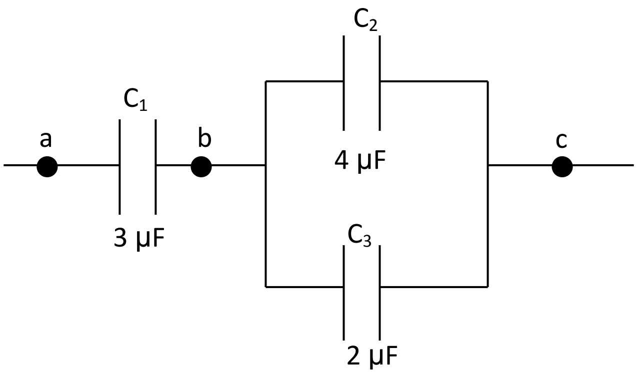
$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \qquad \text{(series combination)}$$

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots \qquad \text{(series combination)}$$

مثال (3)

احسب الشحنة في الدائرة التالية على كل مكثف وكذلك احسب الجهد عند النقطة (b) علما بان الجهد عند (a) يساوي 1200 V بينما النقطة (C) متصلة بالأرض.

الحل



- المكثفان C_3 , C_2 متصلان على التوازي:

$$C = C_2 + C_3 = 4 + 2 = 6\ \mu f$$

- هذه السعة متصلة على التوالي مع C_1 فتكون المحصلة هي

$$\frac{1}{C_o} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C_1} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3}$$

$$C_o = 2\ \mu f$$

وتكون الشحنة الكلية هي: $Q = C.V$

$$Q = 2 \times 10^{-6} \times 1200 = 2.4 \times 10^{-3}\ C$$

وهذه الشحنة Q تساوي شحنة المكثف C_1 وهي أيضا تساوي مجموع الشحنتين للمكثفين C_2 , C_2

$$\therefore V_{ab} = \frac{Q}{C_1} = \frac{2.4 \times 10^{-3}}{3 \times 10^{-6}} = 800\ \ V$$

$$V_a = 1200\ V \qquad , \qquad V_b = 400\ V$$

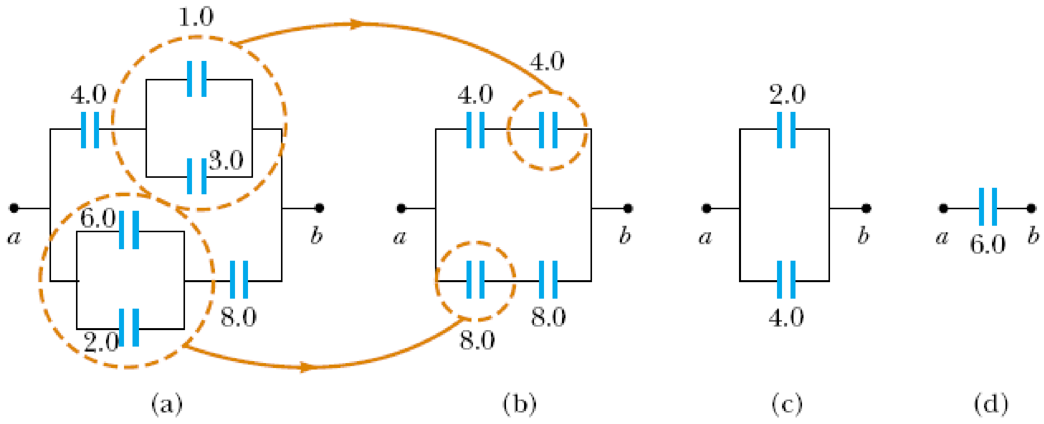
$$V_{bc} = V_b - V_c = 400 - 0 = 400\ V$$

وبدلك فإن: $Q_2 = C_2.V_{bc} = 4 \times 10^{-6} \times 400 = 1.6 \times 10^{-3}\ C$

$$Q3 = C_3.V_{bc} = 2\times10^{-6}\times400 = 0.8\times10^{-3}\ C$$

مثال (4)

احسب السعة المكافئة للدائرة التالية

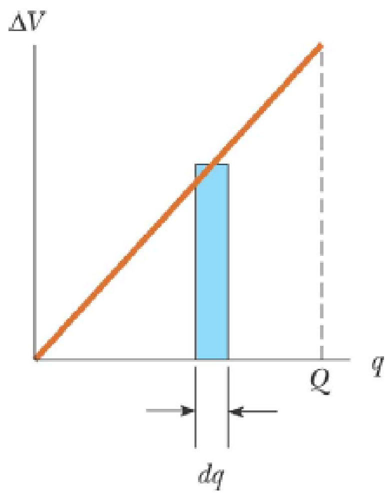


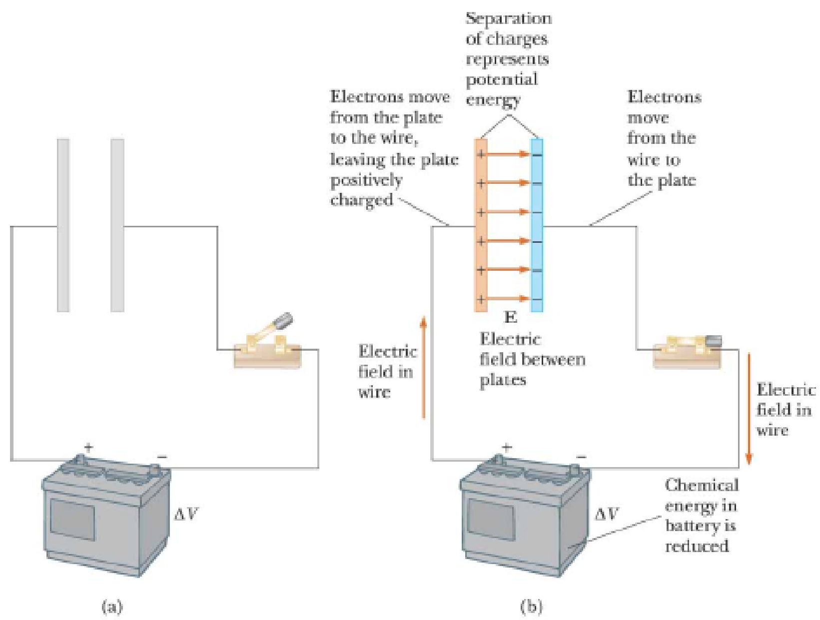
$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{4.0\ \mu F} + \frac{1}{4.0\ \mu F} = \frac{1}{2.0\ \mu F}$$

$$C_{eq} = 2.0\,\mu\text{F}$$

طاقة مكثف مشحون (الطاقة المختزنة في مكثف مشحون):

أثناء شحن المكثف فان هناك شغل يبذل لنقل عنصر الشحنة dq من مصدر الشحنات الكهربية (البطارية)، قيمة الشغل المبذول يزداد بزيادة الشحنة على لوحي المكثف وذلك للتغلب على قوة التنافر الكهربية بين الشحنات على لوح المكثف والشحنة المنقولة إلية، مقدار الشغل يكافئ الطاقة المخزنة بالمكثف والتي تعتمد على مقدار الشحنة، فرق الجهد بين لوحي المكثف، شدة المجال بينهما.





-عندما تكون الشحنة تساوي صفر فان الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنة تساوي صفر، حسب العلاقة ؛

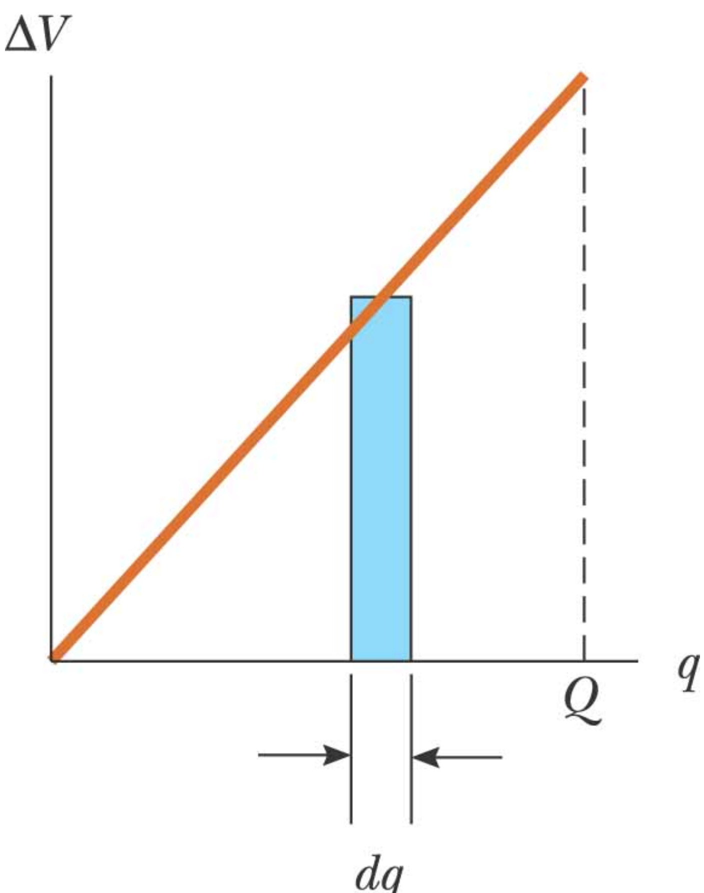
$$dW = dqV$$

$$W = \int_0^Q dqV$$

$$W = \int_0^Q \frac{q}{c} dq$$

$$W = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$

$$U = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$



$$\boxed{U = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2}$$

للمكثف متوازي اللوحين:

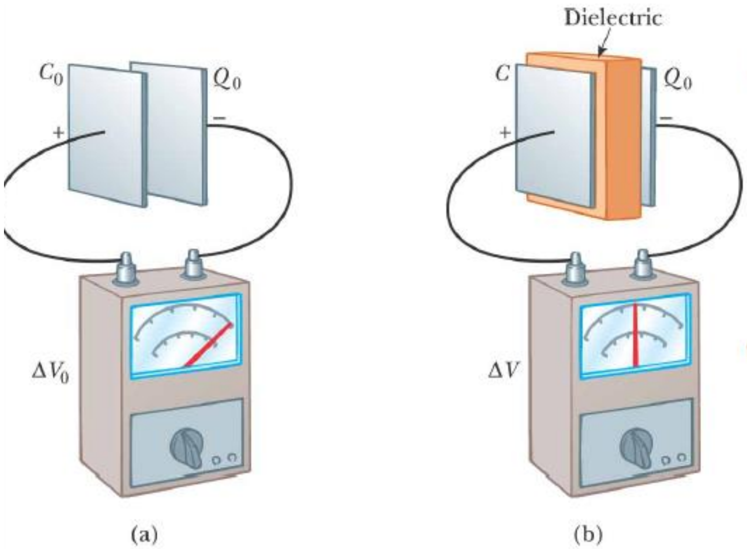
$$V = Ed \qquad C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

$$\boxed{\begin{aligned} U &= \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_0 \frac{A}{d}\right)(Ed)^2 \\ &= \frac{1}{2}\varepsilon_0 (Ad) E^2 \end{aligned}}$$

الطاقة المخزنة لكل وحدة حجم للمكثف

$$\boxed{u = \frac{U}{Ad} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2}$$

تأثير المادة العازلة على سعة المكثف:



عند وضع مادة عازلة بين لوحي مكثف فان سعة المكثف تزداد عنه قبل وضع المادة العازلة، مقدار الزيادة تعتمد على نوع المادة العازلة حيث إن كل مادة عازلة لها ثابت عزل **k** مختلف؛

$$k = \frac{C}{C_0} = \frac{V_o}{V} = \frac{E_0}{E} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o}$$

ثابت العزل دائما أكبر من واحد **k > 1**

حيث ان C_0, V_0, E_0 السعة، فرق الجهد، شدة المجال قبل وضع المادة العازلة &

C, V, E السعة، فرق الجهد، شدة المجال بعد وضع المادة العازلة .

فمثلا سعة المكثف متوازي اللوحين بعد وضع المادة العازلة يساوي

$$C = k\,\varepsilon_0 \frac{A}{d} \qquad \& \qquad \varepsilon \frac{A}{d} = k\,\varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

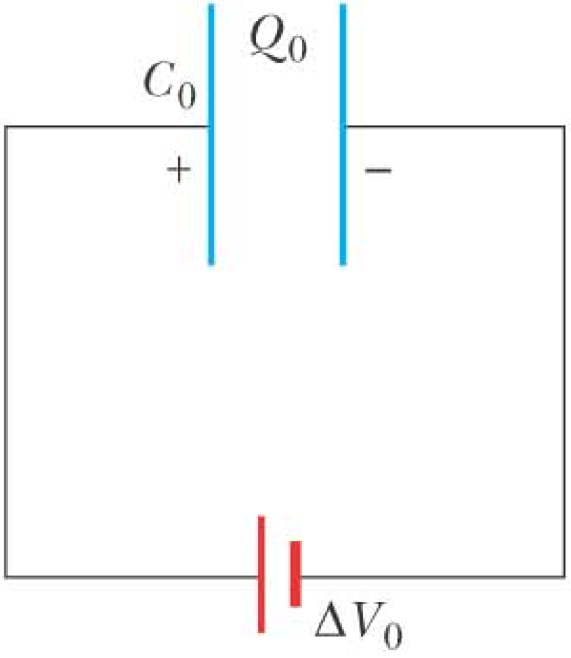
-شدة عزل المادة (Emax) هي أقصى شدة مجال يمكن أن تتحمله المادة العازلة دون إن تفقد خاصية العزل الكهربي أي حدوث انهيار للمادة العازلة .

ويمكن تلخيص تأثير وضع المادة العازلة داخل المكثف في النقاط الآتية:

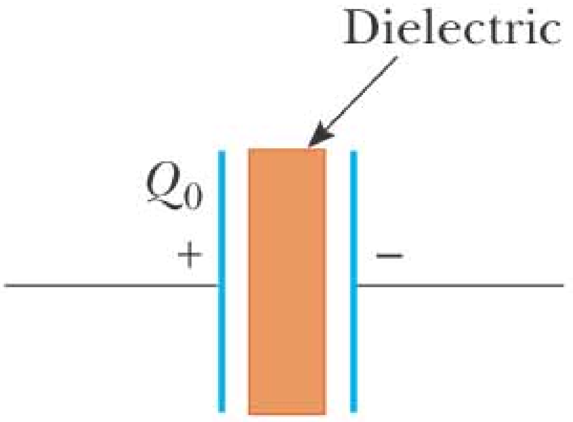
١- تزيد من سعة المكثف،

٢- تزيد من الجهد التشغيل الأقصى،

-٣- تعطي دعم ميكانيكي للمكثف وتكون عازل بين لوحي المكثف عندما تكون المسافة الفاصلة بين اللوحين صغيرة جدا، حيث أن عندما تتناقص المسافة تزداد سعة المكثف.



(a)



(b)

Table 26.1

Approximate Dielectric Constants and Dielectric Strengths of Various Materials at Room Temperature

Material	Dielectric Constant κ	Dielectric Strength[a] (10^6 V/m)
Air (dry)	1.000 59	3
Bakelite	4.9	24
Fused quartz	3.78	8
Mylar	3.2	7
Neoprene rubber	6.7	12
Nylon	3.4	14
Paper	3.7	16
Paraffin-impregnated paper	3.5	11
Polystyrene	2.56	24
Polyvinyl chloride	3.4	40
Porcelain	6	12
Pyrex glass	5.6	14
Silicone oil	2.5	15
Strontium titanate	233	8
Teflon	2.1	60
Vacuum	1.000 00	—
Water	80	—

[a] The dielectric strength equals the maximum electric field that can exist in a dielectric without electrical breakdown. Note that these values depend strongly on the presence of impurities and flaws in the materials.

مثال:

مكثف متوازي اللوحين مساحة اللوح ٦ سم٢ ومسافة الفاصلة ١مم، عند وضع مادة عازلة بين لوحي المكثف

(ورق) حيث ثابت العزل يساوي ٣,٧ وشدة العزل تساوي ١٦.١٠^٦ فولت لكل متر،

احسب سعة المكثف فبل وبعد المادة العازلة

$$C_0 = \varepsilon_0 \frac{A}{d} = 8.85 x 10^{-12} \frac{6x10^{-4}}{1x10^{-3}} = 5.3x10^{-12}$$

$$C = k\,C_0 \;=\; 3.7\,x 5.3x10^{-12} \;= 19.6x10^{-12} \;= 19.6\;pF$$

اوجد ما هي أكبر مقدار للشحنة يمكن يحملها المكثف دون حدوث تفريغ كهربي؟

$E_{max} = 16 \times 10^6$ v/m & $V_{max} = E_{max} .d = 16 \times 10^3$ v

$Q_{max} = CV_{max} = 19.6 \times 10^{-12} x16x.10^3 = 31x10^{-8}$ C = 0.31 µC

مثال:

مكثف متوازي اللوحين مشحون بشحنة Q_0 وسعته C_0 ، فاذا فصل المكثف عن مصدر الشحن الكهربي

ثم أدخلت مادة عازلة لها ثابت عزل k بين لوحيه،

اوجد الطاقة المخزنة بالمكثف قبل وبعد وضع المادة العازلة؟

الطاقة قبل وضع العازل

$$U_0 = \frac{Q_0^2}{2C_0}$$

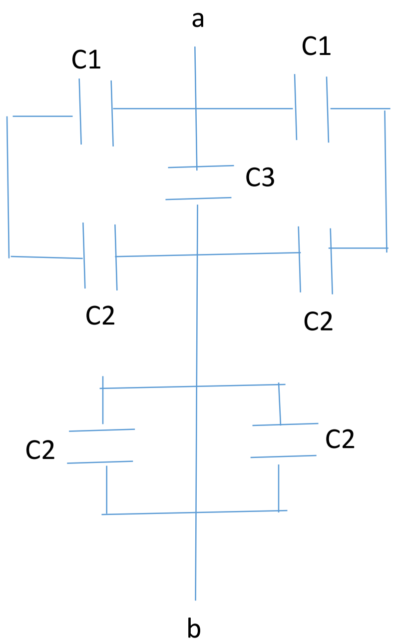
الطاقة بعد وضع العازل

$$U = \frac{Q_0^2}{2C} = \frac{Q_0^2}{2kC_0} = \frac{U_0}{k}$$

$K > 1$ & $U_0 > U$

1. اوجد السعة المكافئة بين النقطتين a, b لمجموعة المكثفات المتصلة بالشكل علما بان:

$C1=5\mu F$, $C2=10\mu F$, $C3=2\mu F$



2. احسب كل مما يلي:

a) السعة

b) اقصى جهد ممكن تطبيقة على مكثف ذو لوحين متوازيين مليء بمادة التفلون اذا كانت مساحة لوحة $1.75\ cm^2$ والمسافة بين اللوحين $d=0.04\ mm$ و ثابت العزل للتفلون $k=2.10$ وشدة العزل للتفلون= $60x10^6\ V/m$.

3. مكثف ذو اوحين متوازيين مملوء بالهواء مساحة كل لوح من الواحة هي $7.6\ cm^2$ وتفصلها مسافة 1.8 mm اذا استخدم فرق جهد 20V على اللوحين احسب:

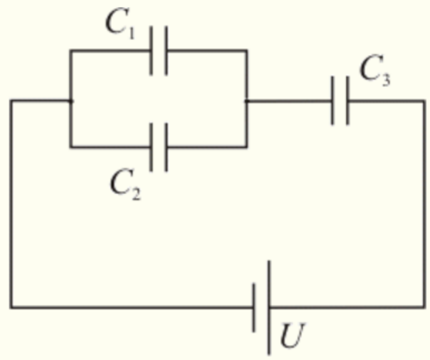
a- المجال الكهربائي بين اللوحين

b- الكثافة السطحية للشحنة

c- السعة

d- الشحنة على كل لوح

Three capacitors (with capacitances C_1, C_2 and C_3) and power supply (U) are connected in the circuit as shown in the diagram.

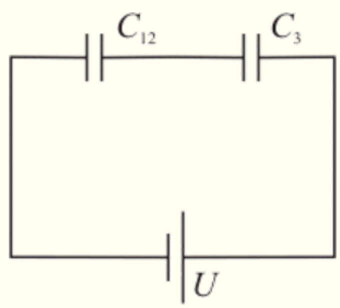


a) Find the total capacitance of the capacitors' part of circuit and total charge Q on the capacitors.

b) Find the voltage and charge on each of the capacitors.

Solution: Total capacitance and total charge

Capacitors C_1 and C_2 connected in parallel can be substituted with one capacitor C_{12} with capacitance equal to the sum of several capacitances: $C_{12} = C_1 + C_2$.



After this substitution there are 2 capacitors in the circuit - C_{12} and C_3 connected in series.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{12}} + \frac{1}{C_3} \Rightarrow C = \frac{C_{12}C_3}{C_{12}+C_3} = \frac{(C_1+C_2)C_3}{C_1+C_2+C_3}$$

Total charge Q can be evaluated using $Q = UC$

$$Q = UC = \frac{U(C_1+C_2)C_3}{C_1+C_2+C_3} \tag{1}$$

Solution: Charges and voltages on several capacitors

The charge and the voltage on the third capacitor:

The charges on capacitors C_{12} and C_3 are equal and are equal to the total charge Q.

$$Q = Q_{12} = Q_3$$

So the voltage on the third capacitor is:

$$U_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{Q}{C_3}$$

We have already evaluated the charge Q in the previous section, so we can replace them in the equation:

$$U_3 = \frac{U\,(C_1 + C_2)\,C_3}{(C_1 + C_2 + C_3)\,C_3} = \frac{U\,(C_1 + C_2)}{C_1 + C_2 + C_3} \qquad (*)$$

Voltages on capacitors connected inparallel:

The total voltage U is divided between capacitors C_{12} and C_3.

$$U = U_{12} + U_3$$

Using that we can evaluate the voltage U_{12}

$$U_{12} = U - U_3$$

We can replace the voltage U_3 with (*).

$$U_{12} = U - \frac{U\,(C_1 + C_2)}{C_1 + C_2 + C_3}$$

Let's convert it to a common denominator and simplify by combining like terms.

$$U_{12} = \frac{U\,(C_1 + C_2 + C_3) - U\,(C_1 + C_2)}{C_1 + C_2 + C_3} = \frac{UC_3}{C_1 + C_2 + C_3} \qquad (**)$$

Voltages on capacitors C_1 and C_2 connected in parallel are the same:

$$U_1 = U_2 = U_{12}$$

Charges on capacitors connected in parallel:

Using the voltage on each capacitor from (**) we can simply evaluate charges on capacitors connected in parallel:

$$Q_1 = U_1 C_1$$

$$Q_2 = U_2 C_2$$

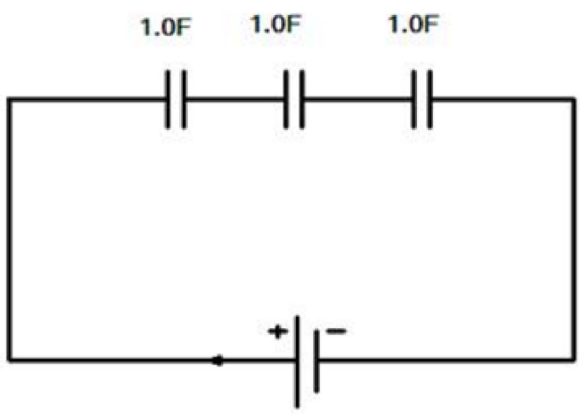
$$Q_1 = \frac{UC_1C_3}{C_1 + C_2 + C_3}$$

$$Q_2 = \frac{UC_2C_3}{C_1 + C_2 + C_3}$$

A capacitor that has air between its plates is connected across a potential difference of 12.0 V and stores 48.0 μC of charge. What is the capacitance of the capacitor?

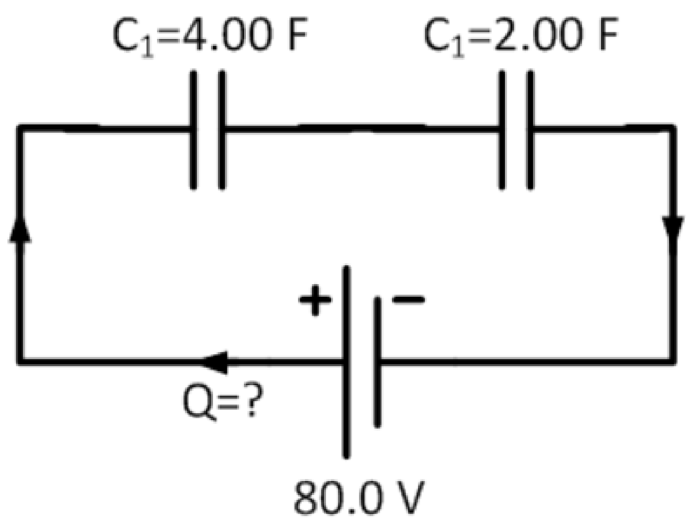
- 6.00 μF
- 4.00 μF
- 7.00 μF
- 10.0 μF
- 8.00 μF

What is the total capacitance of the capacitors in the following circuit?



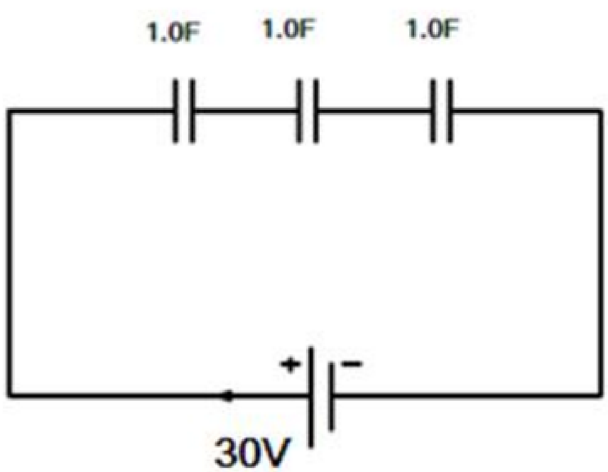
- 3.00 F
- 2.00 F
- 1.00 F
- 0.33 F
- Not enough information

In the following circuit, what is the charge of the 2.00 F capacitor?



- 100 C
- 105 C
- 106 C
- 50 C

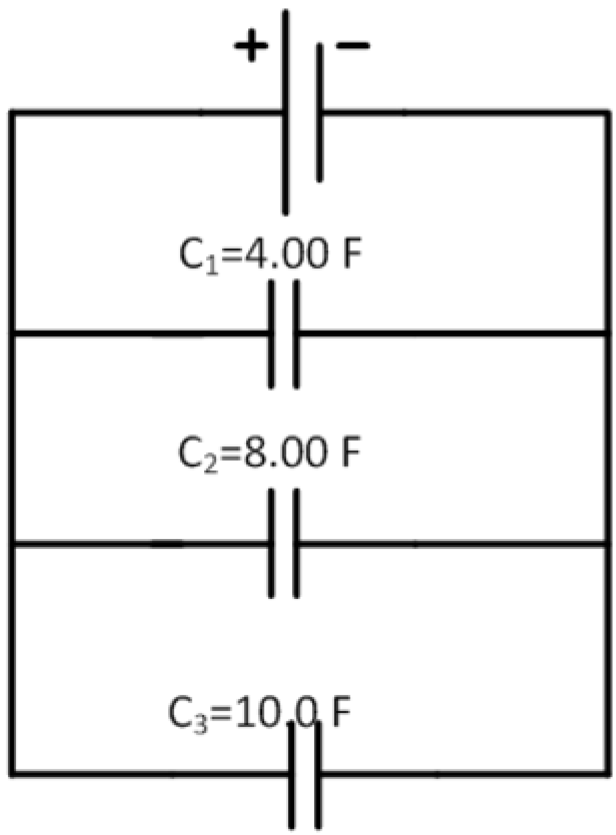
In the following circuit, what is the value of V_1? ______ V.



A parallel-plate capacitor has a plate separation of 2.00 mm and a capacitance of 4.00 F. The area of the plates is ___ m^2. (Assume $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m)

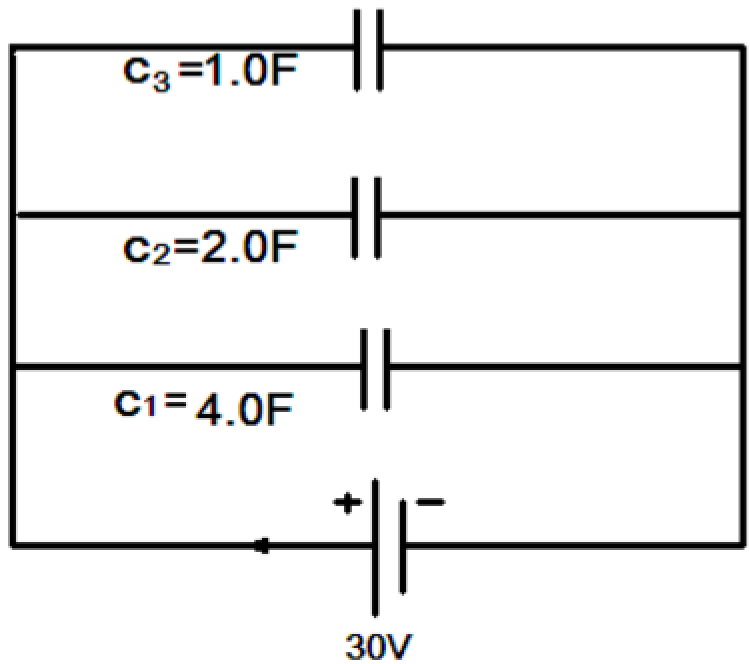
- 1.03×10^8
- 2.05×10^8
- 4.12×10^8
- 6.25×10^8
- 9.04×10^8

What is the equivalent capacitance of the following circuit?



- 22.0 F
- 2.11 F
- 12.0 F
- 18.0 F
- 14.0 F

What is the charge of C_1 in the following circuit?



- 10 C
- 25 C
- 50 C
- 100 C
- 120 C

التيار الكهربي

Electric Current

أولا- التيار الكهربى

- تحرك الشحنات داخل مادة الموصل من مكان الى أخر تحت تأثير مجال كهربي داخل مادة الموصل تعطى ما يسمى بالتيار الكهربي .
- والمجال الكهربي يكون متواجد داخل مادة الموصل طالما أن الشحنات في حالة حركة . لأنة إذا تعرض موصل معزول لمجال كهربي فإن ذلك يؤدي لحركة الشحنات لتستقر في النهاية على سطح الموصل وهو ما يعرف بالكهربية الساكنة electrostatic وينتج عن ذلك أن يصبح المجال الكهربي داخل مادة الموصل تساوي صفر
- فى هذه فإن الدراسة الشحنات تتحرك عبر دائرة مغلقة وتستمر في الحركة طالما المجال الكهربي موجود وتسمى هذه بـالكهربية غير الساكنة.
- ** ويعرف التيار الكهربى (I)بكمية الشحنة التى تمر خلال مقطع سلك فى الثانية الواحدة، فإذا مرت شحنة كهربية صغيرة Δq فى زمن قدرة Δt خلال مقطع السلك فإن:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \qquad (1)$$

ووحدته هى امبير = كولوم/ثانية (1 A = 1 C/ 1 S)

والتيار كمية قياسية (Scalar) واتجاة التيار دائما يكون عكس حركة الشحنات الكهربية السالبة فى الموصلات وفى الدوائر الكهربية من الطرف الموجب الى الطرف السالب عبر الموصل (الدائرة الخارجية)

اذا تعرض سلك موصل منتظم الشكل مساحة مقطعه A لمجال كهربى E فان الشحنات السالبة سوف تتحرك بسرعة مقدارها v مسافة مقدارها $v\Delta t$ زمن قدره Δt. فاذا كانت مساحة مقطع السلك A ، n عدد الاليكترونات الحره فى وحدة الحجم وتسمى بكثافة الاليكترونات الحرة، فان عدد الاليكترونات التى تمر من مقطع السلك فى الفترة الزمنية Δt *تساوى* $nvA\Delta t$. فاذا كانت e تمثل شحنة الإليكترون فان الشحنة الكلية التى تمر فى هذة المسافة وفى زمن قدرة Δt هى:

$$\Delta q = n\, e\, v\, A\, \Delta t \quad \text{-------------}(2)$$

من 1 ، 2 نجد ان

$$I = n\, e\, v\, A \qquad \text{-------------------}(3)$$

والسرعة v تعرف بالسرعة الجرف او الانسياق (Drift velocity) للإلكترونات (v_d)

<u>تعرف كثافة التيار لموصل (J) (Current Density)</u>

بخارج قسمة التيار على مساحة مقطع السلك

$$\left[J = \frac{I}{A} = nev \right]$$

<u>اى ان كثافة التيار عبارة عن التيار المار خلال وحدة المساحة العمودية على اتجاة سريان الشحنة او كمية الشحنة التى تخترق وحدة المساحة من مقطع الموصل فى الثانية</u>

<u>التوصيلية الكهربية</u>

اذا تم تطبيق فرق جهد كهربي بين طرفي اى موصل فانه ينشأن في داخل مادة الموصل مجال الكهربي E وبالتالى كثافة للتيار الكهربي J . فإذا كان فرق الجهد الكهربي ثابت فإن التيار الكهربي يكون ثابت أيضاً. وكثافة التيار الكهربي الناتجة تتناسب طردياً مع شدة المجال الكهربي الناشئ أي أن

$$J = \sigma E \text{--------------}(4)$$

حيث أن σ هي ثابت التناسب وتسمى الموصلية الكهربية (Electrical conductivity) للموصل.

ووحداتها هى (Ampere/volt.meter) ، (A/V.m) فى النظام العالمى.

<u>مقلوب التوصيلية الكهربية (σ) يسمى بالمقاومة النوعية (ρ). Resistivity</u>

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{E}{J} = \frac{E.A}{JA} = \frac{EA}{I} \qquad (5)$$

ووحداتها هى (Volt . meter/Amper) ، (V.m/A) فى النظام العالمى

ثانياً المقاومة الكهربية (R):

يتحرك الإلكترون داخل الموصل نتيجة تسليط مجال كهربي (E) عليه وأثناء حركته يحدث تصادمات واحتكاكات مع ذرات المادة فيزداد التذبذب وترتفع درجة حرارة السلك وتسمى هده الحالة بالمقاومة الكهربية.

العوامل المؤثرة في المقاومة الكهربية لموصل

1- طول السل ℓ

2- مساحة مقطع السلك (S)

3- نوع مادة السلك (المقاومة النوعية ρ)

من هده العوامل يمكن استنتاج العلاقة التالية :

$$R \;\alpha\; \frac{\ell}{A} \quad \Rightarrow \quad R=\rho\frac{\ell}{A}$$

ووحداته اوم (Ω)

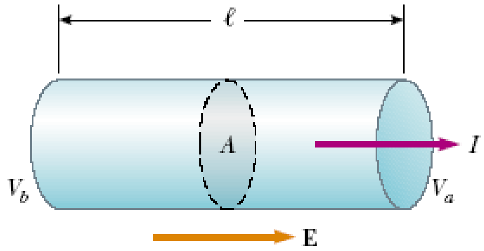
ثالثاً قانون أوم:

مما سبق المواد التي تخضع للمعادلات السابقة تحقق مايعرف بقانون أوم فى الكهربية

المواد التي تحقق قانون أوم يكون فيها " المجال الكهربي والتيار الكهربي يتناسبان تناسباً طردياً" تسمى مواد أومية Ohmic والمواد التي لا تحقق قانون أوم تسمى مواد غير أومية nonohmic. وبالتالي قانون أوم هو قانون تجريبي وينطبق على عدد محدد من المواد.

العلاقة بين فرق الجهد الكهربى V بين طرفى موصل وطولة ℓ والمجال الكهربى

لنفترض موصل طوله L ومساحة مقطعه A كما في الشكل أدناه، فإذا طبق فرق جهد كهربي على طرفي السلك فإنه سينشئ مجال كهربي E في الموصل



وحيث أن العلاقة بين المجال الكهربي وفرق الجهد الكهربي هي

$$V = E.\ell, \qquad J = \sigma.E = \frac{V}{\rho\ell}, \qquad \because J = \frac{I}{A},$$

$$\therefore \frac{V}{\rho\ell} = \frac{I}{A} \quad \Rightarrow \quad V = \left(\frac{\rho\ell}{A}\right) I,$$

$$V = R\,I$$

والمقدار (ρℓ/A) يعرف بمقاومة المادة ويرمز لها بالرمز R (Resistance)

حيث (R = ρℓ/A)

من المعادلة الأخيرة أن المقاومة R لها وحدة فولت على أمبير V/A وتسمى الأوم (Ω)ohm

1Ω = 1 V/A

وهذا يعني أنه عندما يكون فرق الجهد الكهربي بين طرفي موصل يساوي 1 فولت فانة ينتج عنه تيار شدته 1 امبير تكون مقاومة الموصل 1 اوم.

ملاحظات هامة

(1) تعتمد مقاومة الموصل على الأبعاد الهندسية للموصل بينما المقاومة النوعية تعتمد على التركيب الذري للموصل. وكلاً من المقاومة والمقاومة النوعية يعتمدان على درجة الحرارة.

(2)من المعادلة السابقة نستنتج أن مقاومة موصل تتناسب طرديا مع طوله وعكسياً مع مساحه مقطعه، فإذا تضاعف طول الموصل مرتين تزداد مقاومته مرتين كما أنه إذا تضاعفت مساحة مقطع الموصل مرتين قلت المقاومة إلى النصف .

<u>مثال</u>

موصل من مادة الفضة مساحة مقطعه الدائري $0.785\ mm^2$ ويحمل تيارا مقداره $1\ A$ وعدد الالكترونات الحرة لوحدة الحجوم تساوي $5.86 \times 10^{28}\ elec./m^3$ احسب كثافة التيار والسرعة الانسياقية للالكترونات المتحركة داخل الموصل.

الحــل:

$$J = \frac{I}{A} = \frac{1}{0,785 \times 10^{-6}} = 1.274 \times 10^{6} \quad A/m^2$$

$$v = \frac{J}{ne} = \frac{1.274 \times 10^{6}}{5.86 \times 10^{28} \times 1.6 \times 10^{-19}} = 1.357 \times 10^{-4} \quad m/s$$

مثال 2

سلك نحاسي طوله $100\ m$ ومساحة مقطعه $1\ mm^2$ ويحمل تيار شدته $20\ A$ ومقاومته النوعية $1.72 \times 10^{-8}\ \Omega.m$ احسب شدة المجال الكهربي وفرق الجهد بين طرفي السلك والمقاومة الكهربية للسلك.

$$E = \rho.J = \frac{\rho.I}{A} = 1.72 \times 10^{-8} \times 20 \times 10^{6} = 0.344 \ V/m$$

$$V = E\ .\ \ell = 0.344 \times 100 = 34.4\ V$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{34.4}{20} = 1.72 \quad \Omega$$

ويمكن تعين (R) بطريقة أخرى:

$$R=\frac{\rho\ell}{A}=\frac{1.72\times10^{-8}\times100}{10^{-6}}=1.72 \quad \Omega$$

القدرة الكهربية (P):

- هي معدل التغير الزمني للطاقة الكهربية المستنفذة
- هي حاصل ضرب فرق الجهد الكهربي في شدة التيار

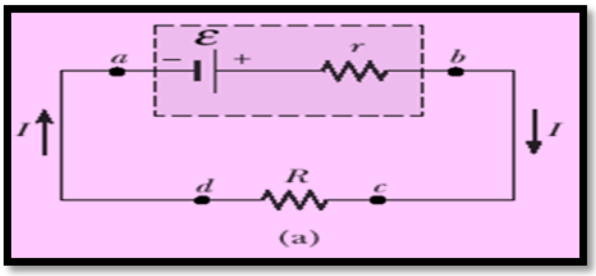
وتكون شكل العلاقة:

$$P = I \cdot V \quad , \quad P = I^2 \cdot R \quad , \quad V^2/R$$

وتقاس القدرة الكهربية بوحدات: (وات = جول/ثانية)

القوة الدافعة الكهربية (ε) والمقاومة الداخلية (r):

في البداية نطرح سؤال : ما الفرق بين القوة الدافعة الكهربية وفرق الجهد ؟



1- القوة الدافعة الكهربية (ε):

هي الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات (كولوم) في الدائرة الكهربية كلها خارج المصدر وداخله.

2- فرق الجهد الكهربي (V)

هو الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات بين نقطتين في الدائرة خارج المصدر

* بمعنى أن القوة الدافعة الكهربية تنقسم إلى جهدين:

1- جهد خارجي وهو خاص بنقل الشحنات خلال المقاومة الخارجية (R)

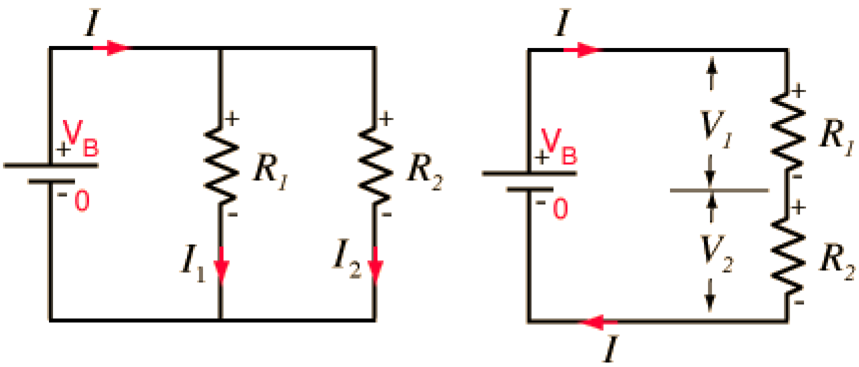
2- جهد داخلي وهو خاص بنقل الشحنات خلال المقاومة الداخلية للمصدر (r)

$$\varepsilon = I.R + I.r = I\,(R+r)$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r}$$

1- توصيل المقاومات على التوالي:

وهو اتصال المقاومات بحيث نهاية المقاومة الأولى مع بداية المقاومة الثانية وهكذا: ويتميز بما يلي: أ) التيار ثابت لا يتجزأ ب) فرق الجهد يتوزع على المقاومات



Parallel resistors

$$\frac{1}{R_{equivalent}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Series resistors

$$R_{equivalent} = R_1 + R_2$$

بحيث يكون: $\Delta V = V_1 + V_2$

وبما أن التيار المار فى كل مقاومة واحد فيكون:

$\Delta V = I\,R_{eq}$, $V_1 = I\,R_1$, $V_2 = I\,R_2$

$$\Delta V = I\,R_1 + I\,R_2 = I\,(R_1 + R_2)$$

باتعويض: $I\,R_{eq} = I\,R_1 + I\,R_2$

* المحصلة: $\Leftarrow$ $R_{eq} = R_1 + R_2$

فتكون المحصلة هي مجموع المقاومات

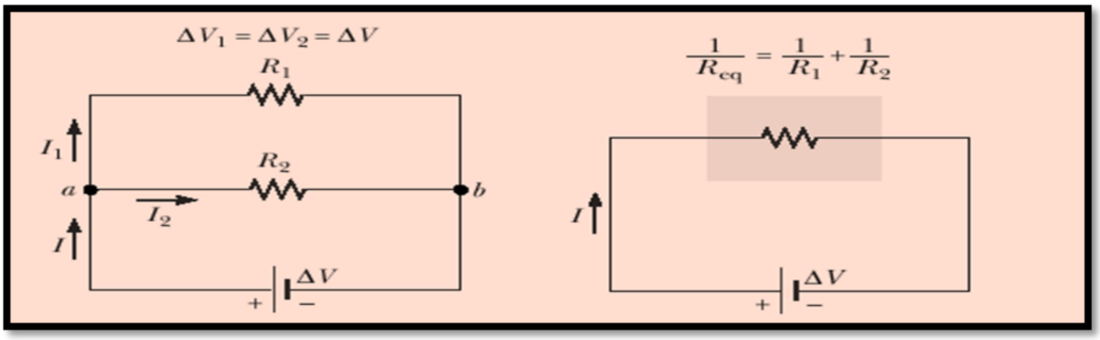
2- توصيل المقاومات على التوازى:

وهو اتصال المقاومات بحيث نهاية المقاومات معا وبداية المقاومات معا:

ويتميز بما يلي:

أ) فرق الجهد ثابت لا يتجزأ   ب) شدة التيار تتوزع على المقاومات

بحيث يكون: $I = I_1 + I_2$



ولأن فرق الجهد ثابت فان :

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = \Delta V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{\Delta V}{R_{eq}}$$

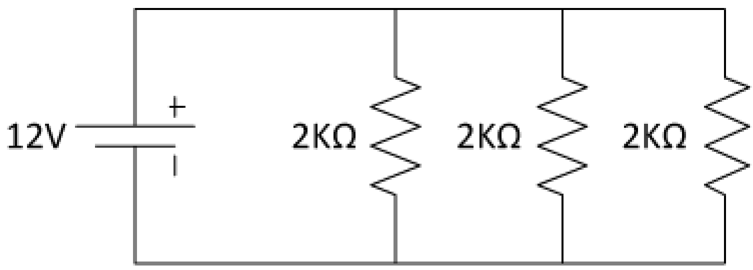
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

وبشكل عام

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots$$

وتكون مقلوب المحصلة يساوي مجموع مقلوب المقاومات

مثال:



$$\frac{1}{R_{eq}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\dots$$

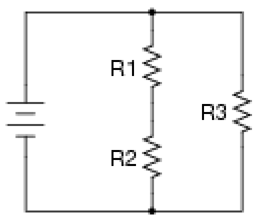
$$\frac{1}{R_{eq}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\dots$$

$$\frac{1}{R_{eq}}=\frac{1}{2000\Omega}+\frac{1}{2000\Omega}+\frac{1}{2000\Omega}$$

$$\frac{1}{R_{eq}}=0.0015\,{}^{1}\!/\!_{\Omega}$$

$$R_{eq}=667\Omega$$

مثال : اوجد المقاومة المكافأة للدائرة التالية علما بان المقاومات الثلاثة متساوية وتساوي 1 كيلو اوم



المقاومة ودرجة الحرارة:

في مدى محدود من درجات الحرارة تتغير المقاومة النوعية للفلز بشكل خطي تقريبا مع درجة الحرارة طبقا للعلاقة التالية:

$$\rho = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

ρ: المقاومة النوعية عند درجة حرارة $T/°C$

ρ_0: المقاومة النوعية عند درجة حرارة $20°C$

α: المعامل الحراري للمقاومة النوعية

$$\alpha = \frac{1}{\rho_0}\frac{\Delta\rho}{\Delta T}$$

حيث $\Delta T = T - T_0$ و $\Delta\rho = \rho - \rho_0$

في الجدول التالي يبين قيم مختلفة للمعاملات الحرارية للمقاومة النوعية لمواد مختلفة:

Table 27.1

Resistivities and Temperature Coefficients of Resistivity for Various Materials

Material	Resistivity[a] $(\Omega \cdot m)$	Temperature Coefficient[b] $\alpha[(°C)^{-1}]$
Silver	1.59×10^{-8}	3.8×10^{-3}
Copper	1.7×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Gold	2.44×10^{-8}	3.4×10^{-3}
Aluminum	2.82×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Tungsten	5.6×10^{-8}	4.5×10^{-3}
Iron	10×10^{-8}	5.0×10^{-3}
Platinum	11×10^{-8}	3.92×10^{-3}
Lead	22×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Nichrome[c]	1.50×10^{-6}	0.4×10^{-3}
Carbon	3.5×10^{-5}	-0.5×10^{-3}
Germanium	0.46	-48×10^{-3}
Silicon	640	-75×10^{-3}
Glass	10^{10} to 10^{14}	
Hard rubber	$\sim 10^{13}$	
Sulfur	10^{15}	
Quartz (fused)	75×10^{16}	

[a] All values at 20°C.
[b] See Section 27.4.
[c] A nickel–chromium alloy commonly used in heating elements.

نحن نعلم ان المقاومة تتناسب مع المقاومة النوعية:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

فيمكن كتابة التغيير في المقاومة كالاتي:

$$R = R_{\circ}\left[1+\alpha(T-T_{\circ}\right]$$

باستخدام هذه الخاصية يجعلنا نستطيع قياس درجة الحرارة بدقة.

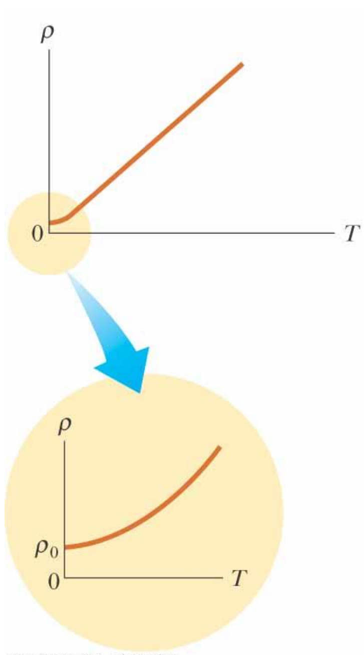
مثال: الثرمومتر البلاتيني ذو المقاومة

يستخدم الثرمومتر ذو المقاومة لقياس درجة الحرارة وذلك بقياس التغير في مقاومة الموصل. وهو مصنوع من البلاتينيوم ومقاومة 50Ω عند درجة حرارة 20°C وعند غمسة في اناء يحتوي على مادة الانديوم عند درجة الذوبان زادت مقاومتة الى : 76.8Ω . احسب درجة حرارة ذوبان الانديوم؟ علما بان $\alpha= 3.92x10^{-3}$

من المعادلة السابق نحصل على:

$$\Delta T = \frac{R-R_{\circ}}{\alpha R_{\circ}} = \frac{76.8-50}{(3.92x10^{-3})x50} = 137°C$$
$$\Delta T = T - T_{\circ} = 137 \Rightarrow T = 137 + T_{\circ} = 157°C$$
$$T = 157°C$$

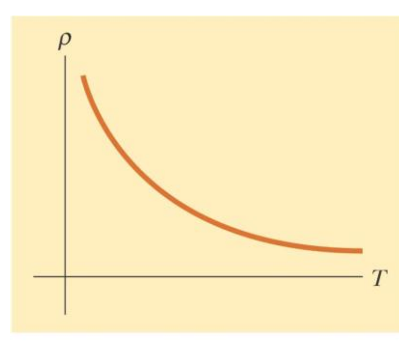
في الفلزات مثل النحاس تتناسب المقاومة النوعية تقريبا مع درجة الحرارة كما في الشكل التالي:



المنطقة غير الخطية تكون على درجة حرارة منخفضة :(نتيجة التصادمات بين الالكترونات والشوائب اوعيوب التركيب).

وفي المنطقة الخطية عند درجة حرارة عالية تحدث نتيجة التصادم بين الالكترونات وذرات الفلز.

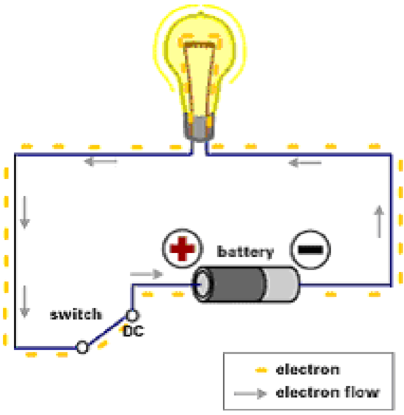
في الجدول السابق هنالك ثلاث مواد قيمة α لها سالبة (كربون-جرمانيوم-السيليكون) وهذا يشير الى ان المقاومة النوعية لهذه المواد تتناقص بزيادة الحرارة وهذا نتيجة زيادة كثافة حاملات الشحنة عند درجة حرارة مرتفعة كما في الشكل التالي:



الفصل السابع: الجزء الاول

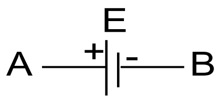
دوائر التيار المستمر:

يوجد نوعان من التيار الكهربائي :
- التيار المستمر : Direct Current(DC): هو التيار الذي يسري في اتجاه واحد
- التيار المتردد: Alternative Current(AC)



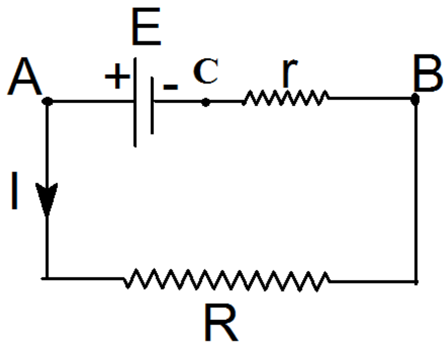
1) مصدر التيار المستمر:

تعتبر البطارية هي المصدر الاكثر شيوعاً للتغذية بالقوة الدافعة الكهربية ويرمز لها:



وللبطارية او مصدر القوة الدافعة الكهربية بعض الخصائص منها :
أ) قوة الدفع الكهربية : هي مقدار فرق الجهد بين طرفي البطارية عندما تكون (ق.د.ك) غير موصلة
ووحدتها الفولت (V): $E = V_A - V_B$

ب) جهد البطارية : هو فرق الجهد بين طرفي البطارية عندما تكون موصلة في دائرة مغلقة .



$$(E - rI) = (V_A - V_B)$$
حيث r : المقاومة الداخلية للبطارية

ج) القدرة (بالواط):
$$RI^2 = (EI - rI^2) = (V_A - V_B) \times I = p$$
نلاحظ أن هناك قدرة استهلاك تضيع داخل البطارية بسبب المقاومة الداخلية (r) وتكون على شكل طاقة حرارية تصدر من البطارية .

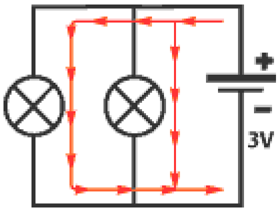
2) دائرة التوالي والتوازي

أشهر التوصيلات المعروفة في الدوائر الإلكترونية والكهربائية هي توصيله التوالي والتوازي ويشاع

استخدامها في توصيلات البيوت والسيارات والبطاريات.

دائرة التوازي:

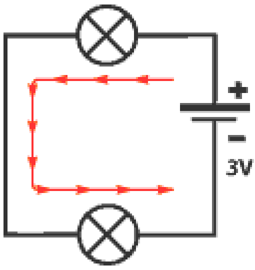
عند توصيل لمبتين أو أكثر على التوازي مع بطارية 3 فولت كما بالشكل نقول عن هذه الدائرة دائرة التوازي.
نلاحظ عند قياس الفولت على طرفي كل لمبة أنها متساوية وأن التيار موزع بشكل متساوي ويزداد في استهلاك التيار إذا زدنا أكثر من لمبة ويكون موصل إذا تلفت أحد اللمبات.



التوازي

دائرة التوالي:

عند توصيل لمبتين أو أكثر بشكل متسلسل أو متوالي مع بطارية 3 فولت كما بالشكل نقول عن هذه الدائرة دائرة التوالي.
نلاحظ أن التيار المستهلك أقل من التيار في دائرة التوازي وأن التيار المستهلك في دائرة التوازي يساوي ضعف التيار المستهلك في دائرة التوالي ولذلك تكون شدة الإضاءة في دائرة التوازي أكثر من شدة الإضاءة في دائرة التوالي.
ويختلف فرق الجهد بين أطراف اللمبات حيث يقسم فرق الجهد بين اللمبتين.
ولكن في حالة تلف أحد اللمبات تفتح الدائرة الإلكترونية مما لا يسمح بمرور التيار.

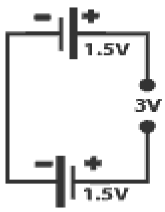


التوالي

3) توصيل البطاريات:

التوالي:

إذا وصلنا بطاريتين فرق جهد الواحدة فيها 1.5 فولت بشكل متسلسل نسمي التوصيلة توصيلة التوالي كما بالشكل.
ويكون فرق الجهد هو 3 فولت وهو مجموع فرقي الجهد للبطاريتين وإذا وصلت ثلاثة بطاريات سيكون فرق الجهد هو 4.5 فولت لذلك نلاحظ دائما أن البطاريات توصل على **التوالي للحصول على فرق جهد عالي**.



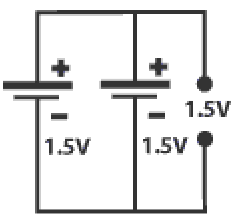
التوالي

التوازي:

في حالة توصيل البطاريات على التوازي فان المقاومة الداخلية الكلية تقل وتصبح تساوي $\frac{r}{n}$ حيث r هي المقاومة الداخلية للبطارية الواحدة و n هي عدد البطاريات. أما القوة الدافعة فتبقى ثابتة إذا:

شدة التيار الناتجة = $\frac{E}{\frac{r}{n}} = n \times \frac{E}{r}$ حيث: E القوة الدافعة

شدة التيار = n× شدة التيار للبطارية الواحدة
لذلك فإن توصيل البطاريات على **التوازي يزيد شدة التيار** مع بقاء القوة الدافعة ثابتة.



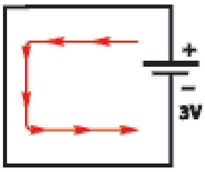
التوازي

<u>ملاحظة:</u>

البطارية تعطي التيار لوقت طويل على حسب حجم البطارية والمادة المصنعة منها وإذا كان التيار المستهلك من البطارية كبير في هذه الحالة ستقلل من عمر البطارية لاستهلاكها الكبير. ولتطويل في عمر البطارية واستهلاكها توصل الدائرة توصلية التوازي كما بالشكل حيث سيثبت فرق الجهد حتى إذا وصلت أكثر من بطارية أي إنها توفر التيار المناسب في فترة أطول.

لا تقاس البطارية بالأمبير كما هو متعارف عليه عند المبتدئين في مجال الالكترونيات.
البطارية تعطي القوة التي تمنح تدفق التيار في الدائرة.
ومستوى الأمبير في البطارية هو مدى استهلاك الدائرة الكهربائية في الساعة الواحدة.
وتقاس بوحدة (أمبير – ساعة)
إذا كان 1000 ملي أمبير في الساعة هو مستوى الأمبير في البطارية سوف تنتهي في ساعة واحدة في دائرة تستهلك 1أمبير.

4) قانون أوم



ويمكن تشبيه ذلك إذا وصلت بطارية لها قوة دافعة كهربائية V بين طرفي سلك نحاسي له مقاومة معينة ويسري فيه تيار كهربائي, فيكون السلك النحاسي كمقاومة والبطارية كقوة دافعة كهربائية تقوم بمقاومة السلك النحاسي R حتى يسري التيار الكهربائي إلى الطرف الأخر للسلك.

- فرق الجهد: هي قوة دافعة كهربائية أو ضغط تسبب تدفق التيار في الدائرة الكهربائية ووحدة قياسها الفولت
- التيار: هو تدفق الشحنات(الالكترونات) الكهربائية في الدائرة
- المقاومة: هي أي عائق يعيق حركة الالكترونات المتدفقة وتستخدم في التحكم في فرق الجهد والتيار ووحدة قياسها الأوم.

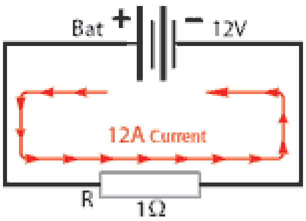
- شكل المقاومة في الدوائر الإلكترونية ─▭─ وترمز بالرمز R
- تقاس المقاومة بوحدة الأوم ولها رمز الاوميجا Ω

يستخدم قانون أوم في معرفة القيمة المطلوبة التيار I أو الجهد V أو المقاومة R.

$$V = I \times R \qquad I = \frac{V}{R} \qquad R = \frac{V}{I}$$

لتحديد القيمة المطلوبة من الشكل غطه بإصبعك الخط الأفقي في الوسط تعني عملية القسمة بين القيمتين, علامة الضرب تعني ضرب القيمتين.

إذا أردت قياس الجهد V غطه بإصبعك ويظهر الناتج V=IR.
إذا أردت قياس التيار I غطه بإصبعك ويظهر الناتج I=V/R.
إذا أردت قياس المقاومة R غطه بإصبعك ويظهر الناتج R=V/I.



مثال: في الدائرة الموجودة هناك تيار بقيمة (12A) ومقاومة (1 Ohm) (1W), احسب فرق الجهد V بين طرفي المقاومة؟
الحل:
V=IxR = 12x1= 12V

التيار الكهربي

Electric Current

أولا- التيار الكهربى

- ❑ تحرك الشحنات داخل مادة الموصل من مكان الى أخر تحت تأثير مجال كهربي داخل مادة الموصل تعطى ما يسمى بالتيار الكهربي .
- ❑ والمجال الكهربي يكون متواجد داخل مادة الموصل طالما أن الشحنات في حالة حركة . لأنة إذا تعرض موصل معزول لمجال كهربي فإن ذلك يؤدي لحركة الشحنات لتستقر في النهاية على سطح الموصل وهو ما يعرف بالكهربية الساكنة electrostatic وينتج عن ذلك أن يصبح المجال الكهربي داخل مادة الموصل تساوي صفر
- ❑ فى هذه فإن الدراسة الشحنات تتحرك عبر دائرة مغلقة وتستمر في الحركة طالما المجال الكهربي موجود وتسمى هذه بـالكهربية غير الساكنة.
- ❑ ** ويعرف التيار الكهربى (I)بكمية الشحنة التى تمر خلال مقطع سلك فى الثانية الواحدة، فإذا مرت شحنة كهربية صغيرة Δq فى زمن قدرة Δt خلال مقطع السلك فإن:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \qquad (1)$$

ووحدته هى امبير = كولوم/ثانية $(1\ A = 1\ C/ 1\ S)$

والتيار كمية قياسية (Scalar) واتجاة التيار دائما يكون عكس حركة الشحنات الكهربية السالبة فى الموصلات وفى الدوائر الكهربية من الطرف الموجب الى الطرف السالب عبر الموصل (الدائرة الخارجية)

اذا تعرض سلك موصل منتظم الشكل مساحة مقطعه A لمجال كهربى E فان الشحنات السالبة سوف تتحرك بسرعة مقدارها v مسافة مقدارها $v\Delta t$ زمن قدره Δt. فاذا كانت مساحة مقطع السلك A ، n عدد الاليكترونات الحره فى وحدة الحجم وتسمى بكثافة الاليكترونات الحرة، فان عدد الاليكترونات التى تمر من مقطع السلك فى الفترة الزمنية Δt *تساوى* $nvA\Delta t$. فاذا كانت e تمثل شحنة الإليكترون فان الشحنة الكلية التى تمر فى هذة المسافة وفى زمن قدرة Δt هى:

$$\Delta q = n\, e\, v\, A\, \Delta t \qquad \text{-------------}(2)$$

من 1 ، 2 نجد ان

$$I = n\,e\,v\,A \qquad \text{------------------}(3)$$

والسرعة v تعرف بالسرعة الجرف او الانسياق (Drift velocity) للإلكترونات (v_d)

تعرف كثافة التيار لموصل (J) (Current Density)

بخارج قسمة التيار على مساحة مقطع السلك

$$\left[J = \frac{I}{A} = nev \right]$$

اى ان كثافة التيار عبارة عن التيار المار خلال وحدة المساحة العمودية على اتجاة سريان الشحنة او كمية الشحنة التى تخترق وحدة المساحة من مقطع الموصل فى الثانية

التوصيلية الكهربية

اذا تم تطبيق فرق جهد كهربي بين طرفي اى موصل فانه ينشأن في داخل مادة الموصل مجال الكهربي E وبالتالى كثافة للتيار الكهربي J . فإذا كان فرق الجهد الكهربي ثابت فإن التيار الكهربي يكون ثابت أيضاً. وكثافة التيار الكهربي الناتجة تتناسب طردياً مع شدة المجال الكهربي الناشئ أي أن

$$J = \sigma E \text{---------------}(4)$$

حيث أن σ هي ثابت التناسب وتسمى الموصلية الكهربية (Electrical conductivity) للموصل.

ووحداتها هى (Ampere/volt.meter) ، (A/V.m) فى النظام العالمى.

مقلوب التوصيلية الكهربية (σ) يسمى بالمقاومة النوعية .(ρ) Resistivity

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{E}{J} = \frac{E.A}{JA} = \frac{EA}{I} \qquad (5)$$

ووحداتها هى (Volt . meter/Amper) ، (V.m/A) فى النظام العالمى

ثانياً المقاومة الكهربية (R):

يتحرك الإلكترون داخل الموصل نتيجة تسليط مجال كهربي (E) عليه وأثناء حركته يحدث تصادمات واحتكاكات مع ذرات المادة فيزداد التذبذب وترتفع درجة حرارة السلك وتسمى هده الحالة بالمقاومة الكهربية.

العوامل المؤثرة في المقاومة الكهربية لموصل

1- طول السل ℓ

2- مساحة مقطع السلك (S)

3- نوع مادة السلك (المقاومة النوعية ρ)

من هده العوامل يمكن استنتاج العلاقة التالية :

$$R \;\alpha\; \frac{\ell}{A} \quad \Rightarrow \quad R = \rho \frac{\ell}{A}$$

ووحداته اوم (Ω)

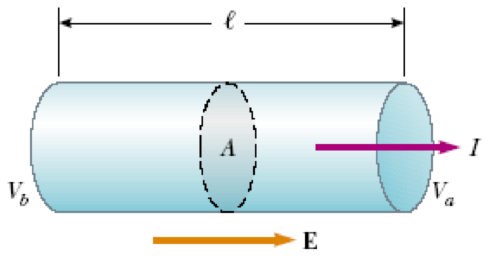
ثالثاً قانون أوم:

مما سبق المواد التي تخضع للمعادلات السابقة تحقق مايعرف بقانون أوم فى الكهربية

المواد التي تحقق قانون أوم يكون فيها " المجال الكهربي والتيار الكهربي يتناسبان تناسباً طردياً" تسمى مواد أومية Ohmic والمواد التي لا تحقق قانون أوم تسمى مواد غير أومية nonohmic. وبالتالي قانون أوم هو قانون تجريبي وينطبق على عدد محدد من المواد.

العلاقة بين فرق الجهد الكهربى V بين طرفى موصل وطولة ℓ والمجال الكهربى

لنفترض موصل طوله L ومساحة مقطعه A كما في الشكل أدناه، فإذا طبق فرق جهد كهربي على طرفي السلك فإنه سينشئ مجال كهربي E في الموصل



وحيث أن العلاقة بين المجال الكهربي وفرق الجهد الكهربي هي

$$V = E.\ell, \qquad J = \sigma.E = \frac{V}{\rho\ell}, \qquad \because J = \frac{I}{A},$$

$$\therefore \frac{V}{\rho\ell} = \frac{I}{A} \quad \Rightarrow \quad V = \left(\frac{\rho\ell}{A}\right) I,$$

$$V = R\,I$$

والمقدار $(\rho\ell/A)$ يعرف بمقاومة المادة ويرمز لها بالرمز R (Resistance)

حيث $(R = \rho\ell/A)$

من المعادلة الأخيرة أن المقاومة R لها وحدة فولت على أمبير V/A وتسمى الأوم (Ω)ohm

$$1\Omega = 1\ V/A$$

<u>وهذا يعني أنه عندما يكون فرق الجهد الكهربي بين طرفي موصل يساوي 1 فولت فانة ينتج عنه تيار شدته 1 امبير تكون مقاومة الموصل 1 اوم.</u>

<u>ملاحظات هامة</u>

(1) تعتمد مقاومة الموصل على الأبعاد الهندسية للموصل بينما المقاومة النوعية تعتمد على التركيب الذري للموصل. وكلاً من المقاومة والمقاومة النوعية يعتمدان على درجة الحرارة.

(2)من المعادلة السابقة نستنتج أن مقاومة موصل تتناسب طرديا مع طوله وعكسياً مع مساحه مقطعه، فإذا تضاعف طول الموصل مرتين تزداد مقاومته مرتين كما أنه إذا تضاعفت مساحة مقطع الموصل مرتين قلت المقاومة إلى النصف .

<u>مثال</u>

موصل من مادة الفضة مساحة مقطعه الدائري $0.785\ mm^2$ ويحمل تيارا مقداره $1\ A$ وعدد الالكترونات الحرة لوحدة الحجوم تساوي $5.86 \times 10^{28}\ elec./m^3$ احسب كثافة التيار والسرعة الانسياقية للالكترونات المتحركة داخل الموصل.

الحـل:

$$J = \frac{I}{A} = \frac{1}{0,785 \times 10^{-6}} = 1.274 \times 10^{6} \quad A/m^2$$

$$v = \frac{J}{ne} = \frac{1.274 \times 10^{6}}{5.86 \times 10^{28} \times 1.6 \times 10^{-19}} = 1.357 \times 10^{-4} \quad m/s$$

مثال 2

سلك نحاسي طوله $100\ m$ ومساحة مقطعه $1\ mm^2$ ويحمل تيار شدته $20\ A$ ومقاومته النوعية $1.72 \times 10^{-8}\ \Omega.m$ احسب شدة المجال الكهربي وفرق الجهد بين طرفي السلك والمقاومة الكهربية للسلك.

$$E = \rho.J = \frac{\rho.I}{A} = 1.72 \times 10^{-8} \times 20 \times 10^{6} = 0.344 \ V/m$$

$$V = E \,.\, \ell = 0.344 \times 100 = 34.4 \ V$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{34.4}{20} = 1.72 \quad \Omega$$

ويمكن تعين (R) بطريقة أخرى:

$$R=\frac{\rho\ell}{A}=\frac{1.72\times10^{-8}\times100}{10^{-6}}=1.72 \quad \Omega$$

القدرة الكهربية (P):

- هي معدل التغير الزمني للطاقة الكهربية المستنفذة
- هي حاصل ضرب فرق الجهد الكهربي في شدة التيار

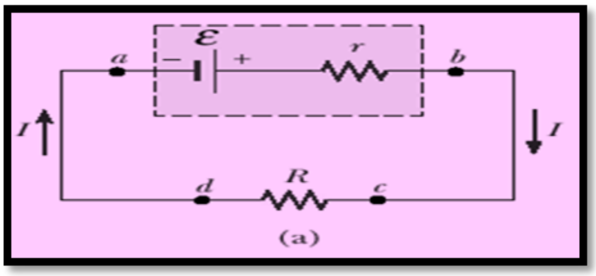
وتكون شكل العلاقة:

$$P = I . V \quad , \quad P = I^2 . R \quad , \quad V^2/R$$

وتقاس القدرة الكهربية بوحدات: (وات = جول/ثانية)

القوة الدافعة الكهربية (ε) والمقاومة الداخلية (r):

في البداية نطرح سؤال : ما الفرق بين القوة الدافعة الكهربية وفرق الجهد ؟



1- القوة الدافعة الكهربية (ε):

هي الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات (كولوم) في الدائرة الكهربية كلها خارج المصدر وداخله.

2- فرق الجهد الكهربي (V)

هو الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات بين نقطتين في الدائرة خارج المصدر

* بمعنى أن القوة الدافعة الكهربية تنقسم إلى جهدين:

1- جهد خارجي وهو خاص بنقل الشحنات خلال المقاومة الخارجية (R)

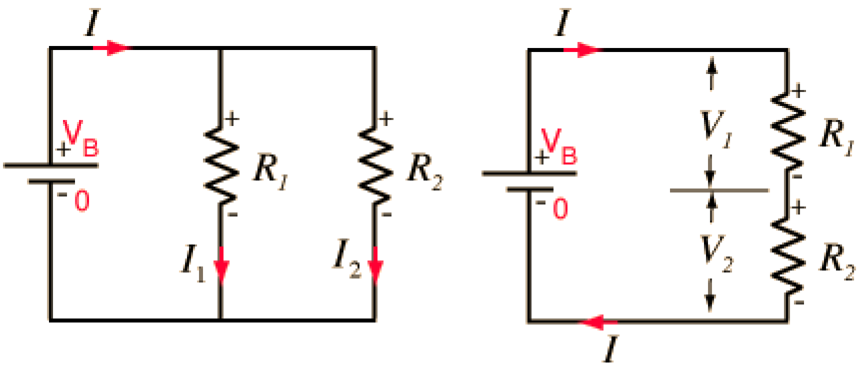
2- جهد داخلي وهو خاص بنقل الشحنات خلال المقاومة الداخلية للمصدر (r)

$$\varepsilon = I.R + I.r = I\,(R+r)$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r}$$

1- توصيل المقاومات على التوالي:

و هو اتصال المقاومات بحيث نهاية المقاومة الأولى مع بداية المقاومة الثانية و هكذا: ويتميز بما يلي: أ) التيار ثابت لا يتجزأ ب) فرق الجهد يتوزع على المقاومات



Parallel resistors

$$\frac{1}{R_{equivalent}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Series resistors

$$R_{equivalent} = R_1 + R_2$$

بحيث يكون: $\Delta V = V_1 + V_2$

وبما أن التيار المار فى كل مقاومة واحد فيكون:

$$\Delta V = I\,R_{eq} \quad , \quad V_1 = I\,R_1 \quad , \quad V_2 = I\,R_2$$

$$\Delta V = I\,R_1 + I\,R_2 = I\,(R_1 + R_2)$$

باتعويض: $I\,R_{eq} = I\,R_1 + I\,R_2$

* المحصلة: $\Leftarrow$ $R_{eq} = R_1 + R_2$

فتكون المحصلة هي مجموع المقاومات

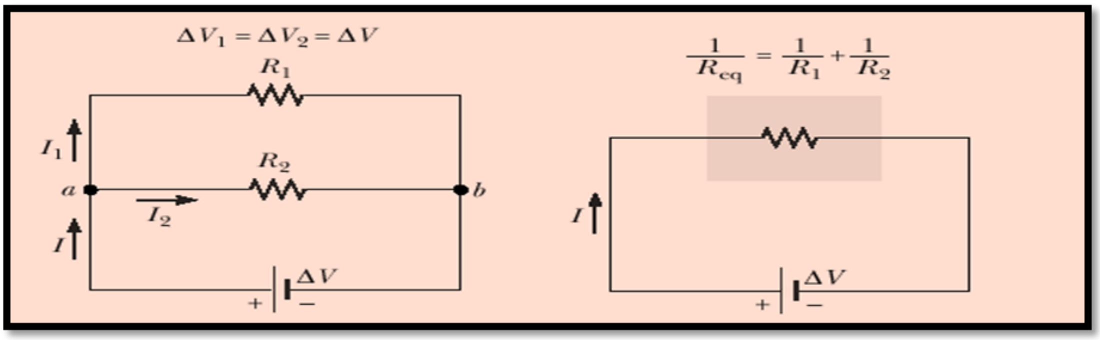
2- توصيل المقاومات على التوازى:

وهو اتصال المقاومات بحيث نهاية المقاومات معا وبداية المقاومات معا:

ويتميز بما يلي:

أ) فرق الجهد ثابت لا يتجزأ   ب) شدة التيار تتوزع على المقاومات

بحيث يكون: $I = I_1 + I_2$



ولأن فرق الجهد ثابت فان :

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = \Delta V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{\Delta V}{R_{eq}}$$

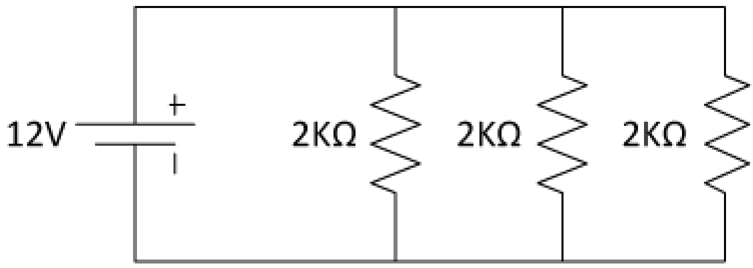
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

وبشكل عام

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots$$

وتكون مقلوب المحصلة يساوي مجموع مقلوب المقاومات

مثال:



$$\frac{1}{R_{eq}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\ldots$$

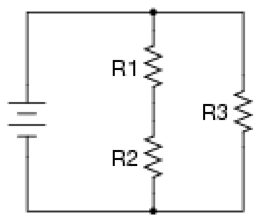
$$\frac{1}{R_{eq}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\ldots$$

$$\frac{1}{R_{eq}}=\frac{1}{2000\Omega}+\frac{1}{2000\Omega}+\frac{1}{2000\Omega}$$

$$\frac{1}{R_{eq}}=0.0015\,\frac{1}{\Omega}$$

$$R_{eq}=667\Omega$$

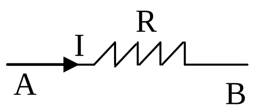
مثال : اوجد المقاومة المكافأة للدائرة التالية علما بان المقاومات الثلاثة متساوية وتساوي 1 كيلو اوم



قوانين الدوائر الكهربية

1) قانون أوم:

ينص قانون أوم على أن فرق الجهد بين طرفي مقاومة يتناسب طرديا مع شدة التيار المار خلالها.



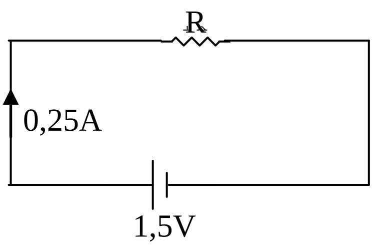
إذا كان التيار يمر من A إلى B خلال المقاومة R فان الجهد في النقطة A (V_A) هو أكبر من الجهد في النقطة B (V_B) وحينئذ فان الصيغة الرياضية لقانون أوم هي:

$$\mathbf{V_A - V_B = R.I}$$

أو باختصار: $\boxed{V = R.I}$

حيث: V فرق الجهد بين طرفي المقاومة ويقاس بالفولت (v), R المقاومة بالأوم (Ω),
I التيار بالأمبير(A).

مثال:
احسب المقاومة R في الدائرة الآتية



الحل:
عندما نطبق قانون أوم: $V = R.I$
نستنتج $R = \frac{V}{I}$ ⇦ $R = \frac{1,5}{0,25} = 6\Omega$

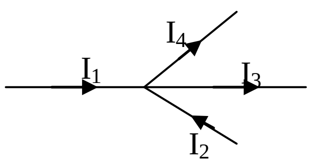
---

2) قانون كيرشوف:(Kirchoff)

يشتمل هذا القانون على قاعدتين:

- **قاعدة التيار:**

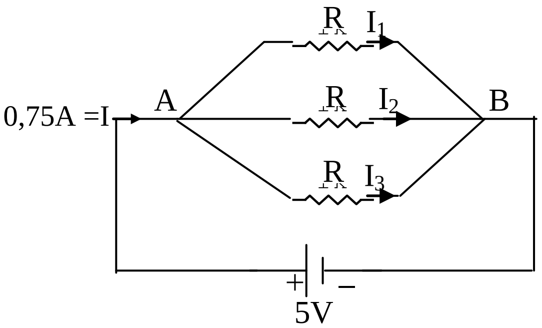
إن مجموع كل التيارات الداخلة إلى نقطة تفرع (في الدائرة) يجب أن يساوي مجموع كل التيارات الخارجة من هذه النقطة.



$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

أو بصيغة عامة: $\sum_{k=1}^{N} I_k = 0$, مع الإفتراض أن التيار الداخل موجب والخارج سالب.

مثال:
إحسب في الدائرة الآتية قيمة المقاومة R



الحل:
$I = I_1 + I_2 + I_3$ وبما أن المقاومات متساوية فإن التيارات المارة فيها متساوية أيضا ولذلك فإن

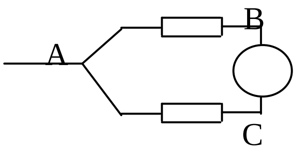
$I = 3.I_1 \Leftarrow 0{,}25A = I_1 = \frac{I}{3}$

و بالإعتماد على قانون أوم: $V_A - V_B = RI_1 = 5V$

نستنتج: $R = \frac{5}{0{,}25} = 20\Omega$

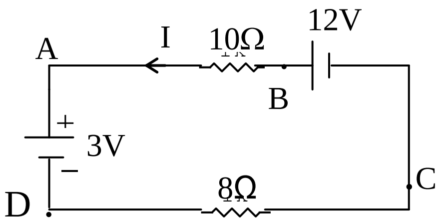
- **<u>قاعدة الجهد (أو العروة)</u>**

إن المجموع الجبري لتغيرات الجهد حول دائرة مغلقة يجب أن يساوي صفرا. $\sum_{k=1}^{N} V_k = 0$



$$(V_A - V_B) + (V_B - V_C) + (V_C - V_A) = 0$$

مثال:
أوجد التيار الذي يسري في الدائرة المرسومة في الشكل التالي:

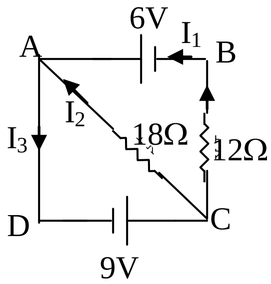


الحل:

$$(V_A - V_B) + (V_B - V_C) + (V_C - V_D) + (V_D - V_A) = 0$$
$$-10.I \quad + \quad 12 \qquad -8.I \qquad -3 \qquad = 0$$
$$-18.I + 9 = 0 \quad \Rightarrow \quad 18.I = 9 \quad \Rightarrow \quad \underline{I = 0.5A}$$

<u>تمرين:</u>

أوجد التيارات التي تسري في جميع أسلاك الدائرة في الشكل الآتي:



الحل:

نطبق قانون كيرشوف بالنسبة للعروتين: (ABCA) و(ABCDA):

(ABCA) : $(V_A - V_B) + (V_B - V_C) + (V_C - V_A) = 0$

(1) $6 - 12.I_1 + 18I_2 = 0$

(ABCD): $(V_A - V_B) + (V_B - V_C) + (V_C - V_D) + (V_D - V_A) = 0$

(2) $6 - 12.I_1 + 9 + 0 = 0 \Rightarrow I_1 = \frac{15}{12} = \frac{5}{4}\,A$

$$\boxed{I_1 = 1{,}25A}$$

بالتعويض في المعادلة رقم (1) نحصل على: $6 - 12 \times \frac{15}{12} + 18.I_2 = 0$

$\Rightarrow 18.I_2 = 9 \Rightarrow \boxed{I_2 = 0{,}5A}$

وبتطبيق قاعدة التيار عند (العقدة A)

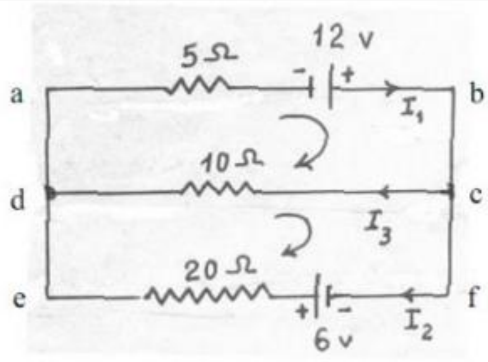
$I_1 + I_2 = I_3 \Rightarrow$ $I_3 = 1{,}75A$ $I_3 = \frac{5}{4} + \frac{1}{2} = \frac{7}{4}\boxed{A = 1{,}75A}$

مثال (٢)

مستخدماً قانوني كيرشوف احسب قيم

شدات التيارات I_1 , I_2 , I_3

في الشكل المقابل



الحل

عند كل من النقطتين (d ، c) نجد أن :

وبتطبيق قانون كيرشوف الأول :

$$I_1 = I_2 + I_3 \rightarrow (1)$$

وبتطبيق قانون كيرشوف الثاني علي المسار المغلق abcda

$$12 = 5I_1 + 10I_3 \rightarrow (2)$$

بالتعويض عن (1) في (2)

$$12 = 5(I_2 + I_3) + 10I_3 \Rightarrow 12 = 5I_2 + 15I_3 \rightarrow (3)$$

وبتطبيق قانون كيرشوف الثاني علي المسار المغلق dcfed

$$6 = 20I_2 - 10I_3 \Rightarrow 3 = 10I_2 - 5I_3 \rightarrow (4)$$

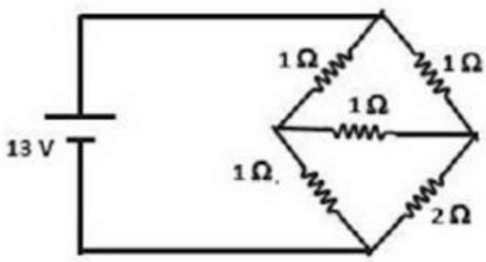
وبحل المعادلتين ( ) جبرياً أو باستخدام حاسبة الجيب يكون

$$I_2 = 0.6\,A \ , \ I_3 = 0.6\,A$$

$$\therefore I_1 = 1.2\,A$$

- نلاحظ أن قيم شدات التيارات جميعها موجبة وهذا يعني أن اختيارنا لإتجاهات التيارات الثلاثة اختيار صحيح .

مثال (٣)



مستخدماً قانوني كيرشوف احسب المقاومة

المكافئة للشكل المقابل

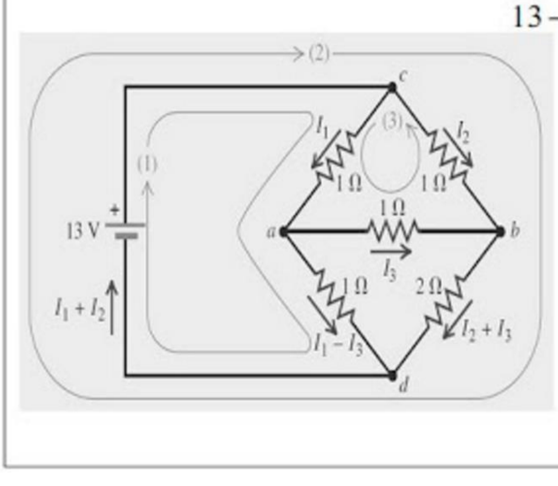
الحل

بتطبيق قانون كيرشوف الأول علي المسار (١)

$$13 - I_1 - (I_1 - I_3) = 0 \Rightarrow 13 = 2I_1 - I_3 \rightarrow (1)$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثاني علي المسار(٢)

$$13 - I_2 - (I_2 + I_3) \times 2 = 0 \Rightarrow 13 = 3I_2 + 2I_3 \rightarrow (2)$$



بتطبيق قانون كيرشوف الثاني علي المسار(٣)

$$-I_1 - I_3 + I_2 = 0 \Rightarrow I_2 = I_1 + I_3 \rightarrow (3)$$

بالتعويض في (2)

$$13 = 3I_1 + 5I_3 \rightarrow (4)$$

وبحل (1) ، (4) جبرياً (أو باستخدام حاسبة الجيب

$$\therefore I_1 = 6\,A \ , \therefore I_3 = -1\,A$$

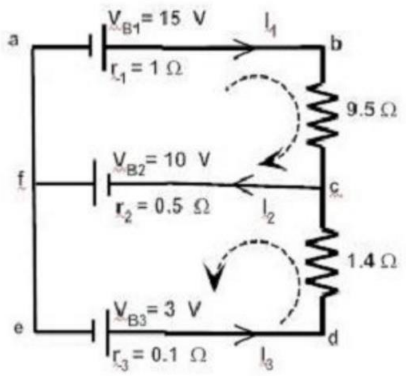
$$\therefore I_t = I_1 + I_2 = 5 + 6 = 11\,A$$

$$\therefore R = \frac{V_B}{I} = \frac{13}{11} = 1.18\,\Omega$$

سؤال (١)

مستخدماً قانوني كيرشوف احسب قيم

شدات التيارات I_1 , I_2 , I_3



الحل

بتطبيق قانون كيرشوف الأول عند النقطة (c)

$$I_1 + I_3 = I_2 \quad \rightarrow (1)$$

وبتطبيق قانون كيرشوف الثاني علي المسار المغلق abcfa

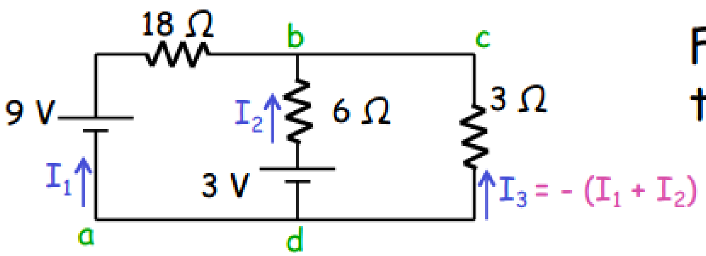
$$15 + 10 - I_1(1 + 9.5) - 0.5 I_2 = 0$$

$$25 = 10.5 I_1 + 0.5 I_2 \;\Rightarrow\; 50 = 21 I_1 + I_2 \;\rightarrow (2)$$

بالتعويض من (1) في (2)

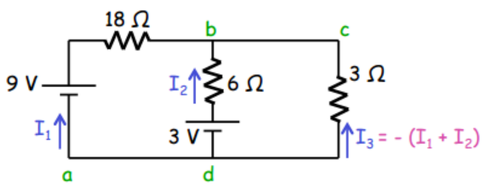
$$50 = 21(I_2 - I_3) + I_2 \;\Rightarrow\; 50 = 22 I_2 - 21 I_2 \rightarrow (3)$$

Example



Find the current through each battery.

Answers: $I_1 = 400$ mA, $I_2 = 200$ mA



Junction b:

$I_1 + I_2 + I_3 = 0$

so $I_3 = -(I_1 + I_2)$

Solution:

Loop abcda: $9\text{ V} - I_1 \cdot 18\Omega + 3\Omega(-I_1 - I_2) = 0$

$\Rightarrow\; 21 I_1 + 3 I_2 = 9\text{A}$ 1

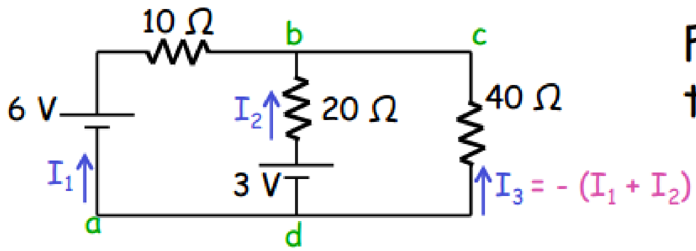
Loop dbcd: $3\text{ V} - 6\Omega \cdot I_2 + 3\Omega(-I_1 - I_2) = 0$

$\Rightarrow\; 3 I_1 + 9 I_2 = 3\text{A}$ 2

7×2 − 1: $60\ I_2 = 12\text{A}$ ➔ $\boxed{I_2 = 200\text{ mA}}$

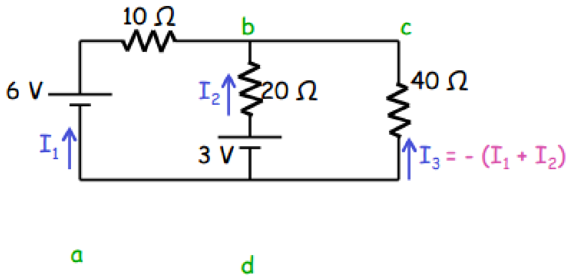
3 × 1 − 2: $60\ I_1 = 24\text{A}$ ➔ $\boxed{I_1 = 400\text{ mA}}$

Example



Find the current through each battery.

Answers: $I_1 = 171$ mA, $I_2 = -64.3$ mA



Junction b:
$I_1 + I_2 + I_3 = 0$
so $I_3 = -(I_1 + I_2)$

Solution:

Loop abcda: $6\,\text{V} - I_1 \cdot 10\Omega + 40\Omega(-I_1 - I_2) = 0$

$\Rightarrow \quad 50I_1 + 40I_2 = 6$ 1

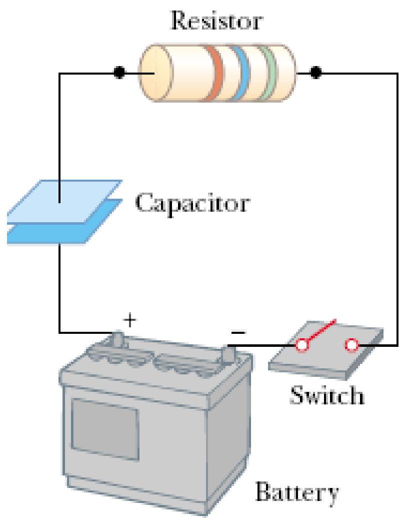
Loop dbcd: $3\,\text{V} - 20\Omega \cdot I_2 + 40\Omega(-I_1 - I_2) = 0$

$\Rightarrow \quad 40I_1 + 60I_2 = 3$ 2

4x1 - 5x2 : $-140\, I_2 = 9$ → $\boxed{I_2 = -64\text{ mA}}$

3x1 - 2x2 : $70\, I_1 = 12$ → $\boxed{I_1 = 171\text{ mA}}$

دوائر المقاومة والمكثف



في الدوائر عند حالة الاستقرار التي يكون فيها التيار ثابت

في الدوائر التي تحتوي على مكثفات يكون التيار متغير مع الزمن

الدوائر التي تحتوي على مقاومة ومكثف على التوالي تسمى دوائر RC

شحن المكثف:

في الدائرة الموضحة بالشكل عندما يكون المفتاح مفتوح يكون المكثف غير مشحون.

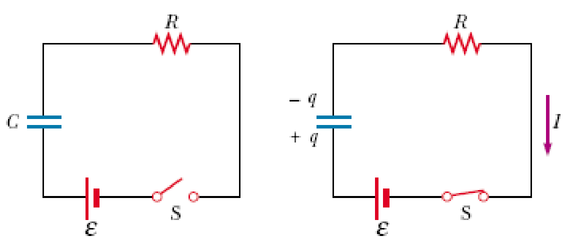
وعند غلق المفتاح عند زمن $t = 0$ تتدفق الشحنة ويسري تيار في الدائرة ويشحن المكثف.

وبتطبيق قانون كيرشوف على الدائرة:

$$\varepsilon - \frac{q}{C} - IR = 0 \qquad (1)$$

حيث $\frac{q}{c}$ فرق الجهد عبر المكثف ويكون سالب اذا انتقلنا من اللوح الموجب للسالب(نقص في الجهد).

IR : فرق الجهد عبر المقاومة.



(b) $t<0$ (c) $t>0$

باستخدام المعادلة 1 يمكن إيجاد التيار الابتدائي في الدائرة واقصى شحنة على المكثف.

عند اغلاق المفتاح S $(t = 0)$ الشحنة على المكثف تكون صفرا.

ولايجاد التيار الابتدائي I_0 وقيمته عظمى وتساوي:

$$I_o = \frac{\varepsilon}{R} \qquad (current\, at\, t = 0).......(2)$$

$$\varepsilon - \frac{q}{C} - IR = 0$$

عند هذا الزمن يظهر فرق جهد بين قطبي البطارية على المقاومة وعند شحن المكثف بأقصى قيمة للشحنة Q تتوقف الشحنات عن التدفق ويصبح التيار في الدائرة مساويا للصفر. ويظهر فرق الجهد بين قطبي البطارية على المكثف.

وبالتعويض عن $I = 0$ في المعادلة 1 نحصل على شحنة المكثف عندئذ:

اقصى شحنة على المكثف: $Q = C\varepsilon........(3)$

$$\varepsilon - \frac{q}{C} - IR = 0$$

I=0

$$\varepsilon = \frac{q}{c}$$

وباعتماد كل من الشحنة والتيار على الزمن يمكن التعويض عن $I=\frac{dq}{dt}$ في المعادلة 1 نحصل:

$$\varepsilon-\frac{q}{C}-IR=0 \qquad (1)$$

$$\varepsilon-\frac{q}{C}=IR$$

$$\frac{\varepsilon}{R}-\frac{q}{RC}=I$$

$$\frac{dq}{dt}=\frac{\varepsilon}{R}-\frac{q}{RC}$$

وللإيجاد تعبير رياضي للقيمة q

ضربنا في $\frac{c}{c}$

$$\frac{dq}{dt}=\frac{C\varepsilon}{RC}-\frac{q}{RC}$$

$$\frac{-C\varepsilon RC+qRC}{RC^2}=\frac{qRC-C\varepsilon RC}{RC^2}=\frac{RC(q-C\varepsilon)}{RC^2}$$

$$\frac{dq}{dt}=-\frac{q-C\varepsilon}{RC}$$

بالضرب في $\frac{dt}{q-C\varepsilon}$

$$\frac{dq}{q-C\varepsilon}=-\frac{1}{RC}dt$$

وبتكامل المعادلة معتبراً ان $q=0\rightarrow t=0$

$$\int_0^q\frac{dq}{q-C\varepsilon}=-\frac{1}{RC}\int_0^t dt$$

$$\ln(\frac{q-C\varepsilon}{-C\varepsilon})=-\frac{t}{RC}$$

ومن تعريف اللوغاريتم الطبيعي يمكن كتابة المعادلة التالية:

تغير الشحنة مع الزمن عند شحن المكثف:

$$q(t)=C\varepsilon(1-e^{-\frac{t}{RC}})=Q(1-e^{-\frac{t}{RC}}) \qquad (4)$$

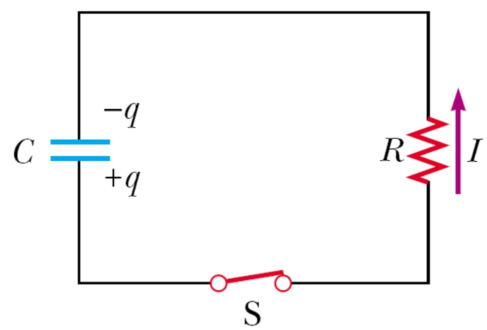
ومعادلة تيار الشحن :

$$I=\frac{dq}{dt}$$

$$I(t)=\frac{\varepsilon}{R}e^{-\frac{t}{RC}} \qquad (5)$$

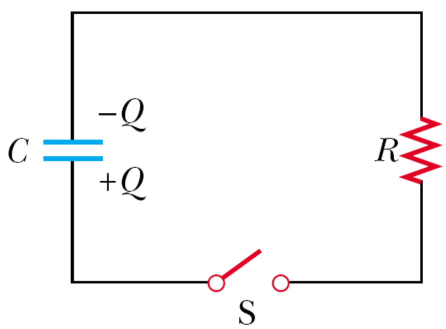
وتسمى القيمة (RC) بثابت الزمن للدائرة: $\tau = RC$

<u>تفريغ المكثف:</u>



$t>0$

(b)



$t<0$

(a)

في **الحالة الأولى**: عند فتح المفتاح فرق الجهد عبر المكثف $= \dfrac{Q}{C}$

فرق الجهد عبر المقاومة = صفر لان التيار = صفر.

في **الحالة الثانية:** عند غلق المفتاح عند $t=0$ يبدا المكثف بالتفريغ خلال المقاومة. وعند زمن t من التفريغ يكون التيار I في الدائرة الشحنة q على المكثف.

المعادلة التي توضح الدائرة السابقة :

$$-\frac{q}{C}-IR=0 \qquad (6)$$

بالتعويض عن $I=\dfrac{dq}{dt}$

$$-R\frac{dq}{dt}=\frac{q}{C}$$

$$\frac{dq}{q}=-\frac{1}{RC}dt$$

وبتكامل المعادلة واستخدام $q = Q \rightarrow t - 0$

$$\int_{Q}^{q} \frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC}\int_{0}^{t} dt$$

$$\ln(\frac{q}{Q}) = -\frac{t}{RC}$$

المعادلة تمثل تغير الشحنة مع الزمن لمكثف يتم تفريغه

$$q(t) = Qe^{-(\frac{t}{RC})} \qquad (7)$$

وبتفاضل هذه المعادلة نحصل على تعبير للتيار اللحظي كدالة في الزمن:

تغير التيار مع الزمن لمكيف يتم تفريغه

$$I(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}(Qe^{-\frac{t}{RC}}) = -\frac{Q}{RC}e^{-\frac{t}{RC}} \qquad (8)$$

التيار الابتدائي والاشارة السالبة لان تيار التفريغ عكس تيار الشحن.

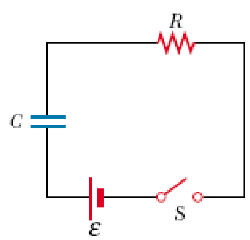
$$I_0 = -\frac{Q}{RC}$$

<u>**مثال:** شحن مكثف في دائرة RC</u>

مكثف غير مشحون ومقاومة متصلان على التوالي مع بطارية كما في الشكل, اذا كانت $\varepsilon = 12V, C = 5\mu F, R = 8x10^5\Omega$
اوجد ثابت الزمن للدائرة و اقصى شحنة على المكثف و واقصى تيار في الدائرة والشحنة كدالة للزمن.

الحل:

ثابت الزمن للدائرة



$$\tau = RC$$

$=(8x10^5\Omega)(5x10^{-6}F)= 4$ s.

اقصى شحنة على المكثف هي:

$$Q = C\varepsilon \;\; Q = C\varepsilon = 5\mu F x 12V = 60\mu C$$

اقصى تيار في الدائرة :

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{12V}{8x10^5\Omega} = 15\mu A$$

وبتطبيق هذه القيم في المعادلتين: 4 و 5

$$q(t) = (60\mu C)(1 - e^{-\frac{t}{4}})$$

$$I(t) = (15\mu A)e^{-\frac{t}{4}})$$

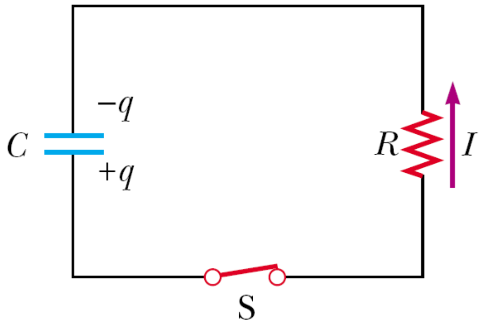
مثال: تفريغ شحنة مكثف في دائرة $\underline{RC}$

افرض ان مكثف سعته C يتم تفريغه خلال مقاومه R كما في الشكل:

1- احسب الزمن الذي تكون بعدة شحنة المكثف ربع قيمتها الابتدائية.

2- تقل الطاقة المختزنة على المكثف مع الزمن اثناء تفريغ المكثف. احسب الزمن الذي بعده تصل قيمة الطاقة المختزنة ربع قيمتها الابتدائية.

الحل:



تتغير الشحنة على المكثف مع الزمن حسب المعادله:

$$q(t) = Qe^{-(\frac{t}{RC})} \qquad (7)$$

$$\frac{Q}{4} = Qe^{-(\frac{t}{RC})}$$

$$\frac{1}{4} = e^{-(\frac{t}{RC})}$$

$$\ln\frac{1}{4} = -\ln 4$$

$$-\ln 4 = -\frac{t}{RC}$$

$$t = RC(\ln 4) = 1.39RC = 1.39\tau$$

من المعادلة 7 والمعادلة $U = \frac{Q^2}{2C}$

يمكن التعبير عن الطاقة المختزنة في المكثف عند أي زمن t :

$$U = \frac{q^2}{2C} = \frac{Qe^{-(\frac{t}{RC})^2}}{} = \frac{Q^2}{2C}e^{-2(\frac{t}{RC})} = U_0 e^{\frac{-2t}{RC}}$$

حيث $U_0 = \frac{Q^2}{2C}$ الطاقة الابتدائية المختزنة في المكثف و بوضع $U = \frac{U_0}{4}$

$$\frac{U_0}{4} = U_0 e^{\frac{-2t}{RC}}$$

$$\frac{1}{4} = e^{\frac{-2t}{RC}}$$

$$\ln\frac{1}{4} = \frac{-2t}{RC}$$

$$-\ln 4 = \frac{-2t}{RC}$$

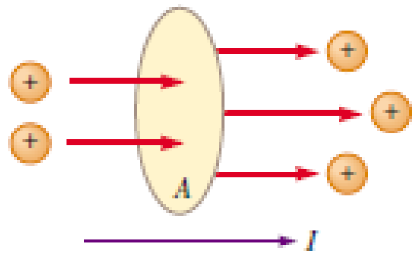
$$t = \frac{1}{2} RC(\ln 4)$$

$$t = 0.693RC = 0.693\tau$$

التيار والمقاومة

التيار الكهربي: هو معدل سريان الشحنة خلال منطقة ما أو سطح ما.

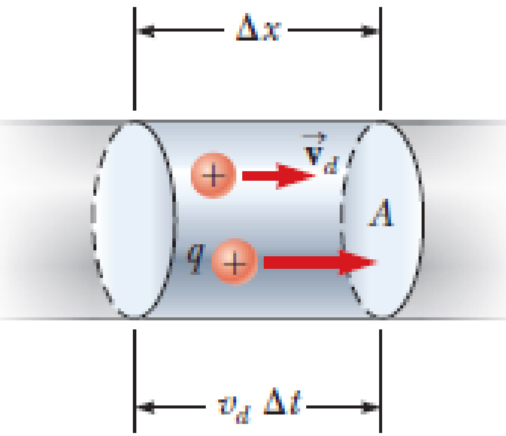
متوسط التيار $I_{av} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ ، التيار الكهربي $I = \frac{dQ}{dt}$



ملاحظات:

- وحدة قياس التيار : الامبير A في النظام المتري SI $1A = \frac{1C}{1s}$
- الامبير: عدد الشحنات التي تمر خلال السطح في الثانية الواحدة.
- اتجاه التيار: اتفق على اعتبار أن التيار يأخذ نفس اتجاه تدفق الشحنة الموجبة وبذلك يكون اتجاه التيار عكس اتجاه تدفق الالكترونات.
- لا يتولد تيار كهربي في أي دائرة كهربية إلا اذا وجد فرق جهد بين طرفي هذه الدائرة (حيث فرق الجهد يسبب مجال كهربي يولد قوى على الالكترونات تسبب حركتها)
- يشار الى الشحنات المتحركة (موجبة أو سالبة) باسم حاملات الشحنة أو ناقلات الشحنة.
- حاملات الشحنة في الفلزات هي الالكترونات.

صياغة دقيقة للتيار(العلاقة بين القيمة المتوسطة للتيار وحركة حاملات الشحنة)



- ان حجم جزء من الموصل طوله Δx ومساحة مقطعه A هو $A\Delta x$
- اذا كانت كثافة ناقلات الشحنة (عدد ناقلات الشحنة المتحركة لوحدة الحجوم) هي n

فان عدد ناقلات الشحنة في هذا الحجم تساوي $nA\Delta x$.

- إذا كانت الشحنة على كل ناقل q فان مقدار الشحنة في هذا الحجم يساوي

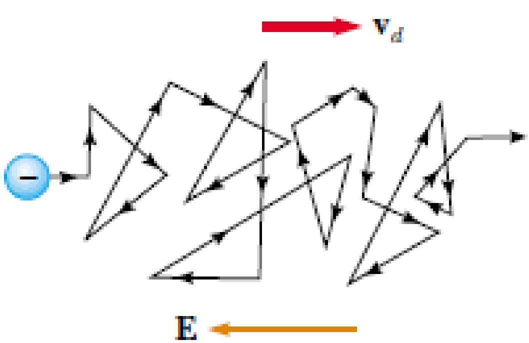
$$\Delta Q = (nA\Delta x)q$$

- إذا تحركت ناقلات الشحنة بسرعة V_d تكون المسافة التي قطعتها في زمن Δt هي

$$\Delta x = \upsilon_d \Delta t \Rightarrow \Delta Q = nA\upsilon_d \Delta t q \quad \Rightarrow I_{av} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nq\upsilon_d A$$ ⟶ متوسط التيار في موصل

ملاحظة :

V_d هي سرعة متوسطة تسمى سرعة التدفق أو سرعة الجرف وهي سرعة بطيئة جدا.



مثال 1.24

سلك عياري نحاسي في مبنى سكني مساحة مقطعة $3.31 \times 10^{-6}\ m^2$. فإذا كان يحمل تيارا قدره 10 A ، ما مقدار سرعة تدفق الإلكترونات؟ افرضي أن ذرة النحاس تساهم بإلكترون حر واحد في التيار. وكثافة النحاس هي $8.95\ g/cm^3$.

الحل:

$$\because I = nq\upsilon_d A \Rightarrow \upsilon_d = \frac{I}{nqA}$$

- عدد الالكترونات في المول الواحد يساوي 6.02×10^{23}

- الكتلة الجزيئية للنحاس تساوي 63.5 g/mol.

$$6.02 \times 10^{23} \rightarrow 63.5$$

$$n \rightarrow 8.95$$

$$\Rightarrow n = \frac{6.02 \times 10^{23} \times 8.95}{63.5} = 8.49 \times 10^{22}\, cm^{-3} = 8.49 \times 10^{28}\, m^{-3}$$

$$\therefore \upsilon_d = \frac{10}{8.49 \times 10^{28} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 3.31 \times 10^{-6}} = 2.22 \times 10^{-4}\, m/s$$

المقاومة وقانون أوم

- كثافة التيار J: التيار لوحدة المساحة.

$$J = \frac{I}{A} = nqv_d$$ ← لا يصح هذا التعبير الا اذا كانت كثافة التيار منتظمة وكانت A عمودية على اتجاه التيار

- وحدة قياس كثافة التيار: A/m^2

- اتجاه كثافة التيار هي نفسها اتجاه التيار.

- قانون أوم:

تتناسب كثافة التيار مع المجال الكهربي.

كثافة التيار ← $J = \sigma E$ → المجال الكهربي

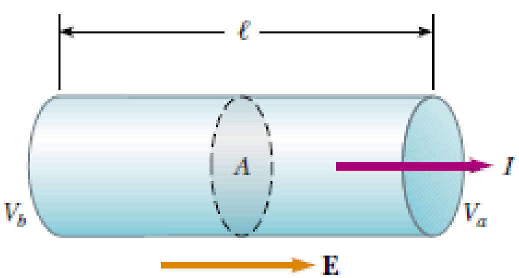
توصيلة الموصل ← σ

أو النسبة بين كثافة التيار والمجال الكهربي تكون ثابتة وقيمتها σ ولا تعتمد على المجال الكهربي المولد للتيار.

- المواد الأومية :- هي المواد التي تتبع قانون أوم.

- المواد غير الأومية :- هي المواد التي لا تتبع قانون أوم.

صياغة أخرى لقانون أوم:



$$\Delta V = V_b - V_a \qquad \because \Delta V = El \Rightarrow E = \frac{\Delta V}{l}$$

$$\Rightarrow J = \sigma \frac{\Delta V}{l} \Rightarrow \Delta V = \frac{Jl}{\sigma} \qquad \because J = \frac{I}{A} \Rightarrow \Delta V = \frac{l}{\sigma A} I \qquad \Rightarrow \Delta V = RI$$

مقاومة الموصل R

- **مقاومة الموصل:** $R = \dfrac{l}{\sigma A} = \dfrac{\Delta V}{I}$ - **وحدة قياس المقاومة:** الاوم Ω $\left(1\Omega = \dfrac{1V}{1A}\right)$

- **المقاومة النوعية ρ:** وهي معكوس التوصيلة. $\rho = \dfrac{1}{\sigma}$ $\Rightarrow R = \rho \dfrac{l}{A}$ - **وحدة قياس المقاومة النوعية:** $\Omega.m$

- **تعتمد المقاومة النوعية ρ على :** ١- خصائص المادة. ٢- درجة الحرارة.

- **تعتمد مقاومة الموصل R على:** ١- الشكل الهندسي للموصل (ابعاد الموصل). ٢- المقاومة النوعية

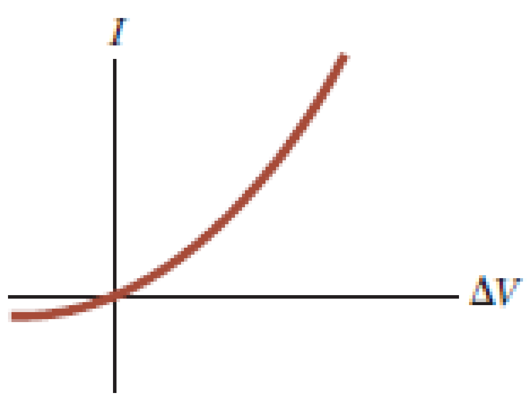
- **الموصل المثالي:** هو الموصل الذي تكون مقاومته النوعية صفر.

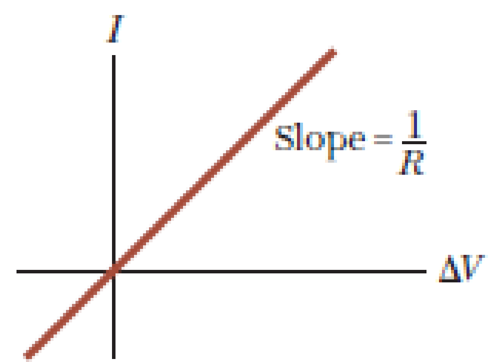
كيف تتناسب المقاومة مع طول الموصل - مساحة مقطعه

- **العازل المثالي:** هو العازل الذي تكون مقاومته النوعية لا نهائية.

- **المقاومات :** أجهزة تستخدم في الدوائر الكهربية للتحكم في مستوى التيار في مختلف اجزاء الدائرة.

- **انواع المقاومات:** ١- مقاومة أومية (خطية) ٢- مقاومة غير أومية (غير خطية)





مثال 2.24 مقاومة الموصل

احسبي المقاومة لإسطوانة من الألومنيوم طولها 10cm ومساحة مقطعها $2x10^{-4}m^2$. كرري الحسابات لأسطوانة لها نفس الأبعاد ومصنوعة من الزجاج حيث المقاومة النوعية لها هي $3x10^{10}\Omega.m$.

مثال 3.24 مقاومة سلك نيكل – كروم

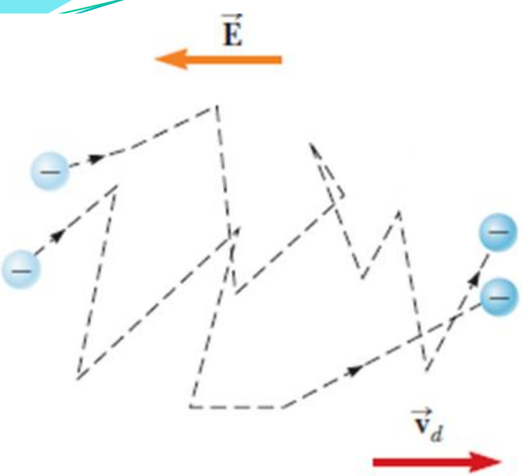
١- احسبي المقاومة لوحدة الطول لسلك نيكل – كروم عياري 22. نصف قطره 0.321 mm.

٢- إذا طبق فرق جهد قدره 10 V خلال سلك طوله 1m من مادة النيكل – كروم، ما مقدار التيار في هذا السلك؟

نموذج للتوصيل الكهربي

- أول من افترض هذا النموذج هو بول درود.

- يثبت هذا النموذج قانون أوم ويربط بين المقاومة النوعية للفلز وحركة الالكترونات داخله.



- **عند غياب المجال الكهربي:**

- تتحرك الكترونات التوصيل في اتجاهات عشوائية داخل الموصل بسرعة متوسطة في حدود 10^6 m/s. ولا توجد سرعة تدفق للالكترونات.

في المتوسط بعض الالكترونات تتحرك في اتجاه ثم تتحرك ايضا في الاتجاه المعاكس.

في الرسم لا يوجد ازاحة نهائية بعد العديد من التصادمات . مما يعني عدم وجود تدفق للشحنة.

- **عند تطبيق مجال كهربي:**

- بالإضافة إلى الحركة العشوائية تتدفق الالكترونات الحرة ببطء في اتجاه يعاكس اتجاه المجال الكهربي $V_d=10^{-4}$ m/s

- يتم تعديل الحركة العشوائية بوجود مجال كهربي وينتج انحناء خفيف في المسارات.

- تنتقل الطاقة الاضافية التي اكتسبتها الالكترونات في مجال الكهربي إلى الذرات عند تصادمها وهذا يسبب زيادة درجة حرارة الموصل.

- تعجل الالكترونات عند وجود المجال بالمقدار: $a = \frac{qE}{me}$

- إذا فترضنا أن **t** هي الزمن بين تصادمين فان: $v_F = v_i + at \quad = v_i + \frac{qE}{m_e}t$

- نلاحظ هنا ان السرعة النهائية هي نفسها سرعة التدفق:

$$v_d = \frac{qE}{m_e}t$$

صورة اخرى لسرعة التدفق →

$$\because I = nq\upsilon_d A \Rightarrow \upsilon_d = \frac{I}{nqA}$$

- صورة رابعة لكثافة التيار:

$$J = \frac{nq^2E}{m_e}t$$

$$J = \frac{I}{A} = nq\upsilon_d = \sigma E$$

- صورة رابعة للتوصيلية:

$$\sigma = \frac{nq^2t}{m_e}$$

$$\sigma = \frac{J}{E} = \frac{\ell}{RA} = \frac{\ell I}{\Delta VA}$$

- صورة خامسة للمقاومة النوعية:

$$\rho = \frac{m_e}{nq^2t}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{E}{J} = \frac{RA}{\ell} = \frac{\Delta VA}{\ell I}$$

- طبقا لهذا النموذج التقليدي لا تعتمد التوصيليه والمقاومة النوعية على شدة المجال الكهربي وهذا ينطبق على الموصلات الاومية.

- متوسط المسار الحر (متوسط المسافة بين تصادمين): $\ell = \bar{v} \times \tau$

مثال 5.24 تصادمات الإلكترون في سلك

(a) باستخدام المعطيات والنتائج من المثال 1.24 والنموذج التقليدي للتوصيل الإلكتروني، اوجدي متوسط الزمن بين التصادمات للالكترونات في سلك نحاس.

(b) افرضي أن متوسط السرعة المطلقة للإلكترونات الحرة في النحاس هي $1.6X10^6$ m/s وباستخدام النتائج في الجزء (a) احسبي متوسط المسار الحر للالكترونات في النحاس.

$$\rho = 1.7\times10^{-8}\,\Omega.m \qquad n = 8.49\times10^{28}/m^3$$

$$a)\tau = \frac{m_e}{nq^2\rho} \Rightarrow \tau = \frac{9.11\times10^{-31}}{8.94\times10^{28}\left(1.6\times10^{-19}\right)^2\times1.7\times10^{-8}} \Rightarrow \tau = 2.5\times10^{-14}\,s$$

$$b)\ell = \bar{v}\times\tau \Rightarrow \ell = 1.6\times10^{6}\times2.5\times10^{-14} = 4\times10^{-8}\,m$$

المقاومة ودرجة الحرارة

- **في الفلزات:**

تتغير المقاومة النوعية بشكل خطي تقريبا مع درجة الحرارة (في مدى محدود من درجة الحرارة).

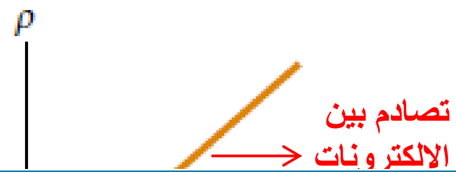
$$\rho = \rho_o\left[1+\alpha(T-T_o)\right]$$

ρ ← المقاومة النوعية عند درجة حرارة T

ρ_o ← المقاومة النوعية عند درجة حرارة T_o

α ← المعامل الحراري للمقاومة النوعية

T_o ← درجة حرارة مرجعية



- **المعامل الحراري:** $\alpha = \dfrac{1}{\rho_o}\dfrac{\Delta\rho}{\Delta T}$ وحدة قياس المعامل الحراري: $^{o}C^{-1}$

- **علاقة مقاومة الفلز بدرجة الحرارة:** $R = R_o\left[1+\alpha(T-T_o)\right]$

- **في أشباه الموصلات:**

- **تتناقص المقاومة النوعية لأشباه الموصلات أسيا بزيادة درجة الحرارة.**
- **وسبب ذلك زيادة كثافة حاملات الشحنة عند درجات الحرارة المرتفعة**
- **قيم المعامل الحراري لهذه المواد تأخذ قيما سالبة.**
- **ولان حاملات الشحنة في أشباه الموصلات غالبا ماتكون مصاحبة لذرات**

فان المقاومة النوعية لها تكون حساسة لنوع وتركيز هذه الشوائب.

Resistivities and Temperature Coefficients of Resistivity for Various Materials

Material	Resistivity[a] ($\Omega \cdot m$)	Temperature Coefficient[b] $\alpha[(^{\circ}C)^{-1}]$
Silver	1.59×10^{-8}	3.8×10^{-3}
Copper	1.7×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Gold	2.44×10^{-8}	3.4×10^{-3}
Aluminum	2.82×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Tungsten	5.6×10^{-8}	4.5×10^{-3}
Iron	10×10^{-8}	5.0×10^{-3}
Platinum	11×10^{-8}	3.92×10^{-3}
Lead	22×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Nichrome[c]	1.50×10^{-6}	0.4×10^{-3}
Carbon	3.5×10^{-5}	-0.5×10^{-3}
Germanium	0.46	-48×10^{-3}
Silicon	640	-75×10^{-3}
Glass	10^{10} to 10^{14}	
Hard rubber	$\sim 10^{13}$	
Sulfur	10^{15}	
Quartz (fused)	75×10^{16}	

T

مثال 6.24 الترمومتر البلاتيني ذو المقاومة

الترمومتر ذو المقاومة يستخدم لقياس درجة الحرارة وذلك بقياس التغير في مقاومة الموصل، وهو مصنوع من البلاتنيوم ومقاومته 50 Ω عند درجة حرارة 20˚C وعند غمسه في إناء يحتوي مادة الإنديوم عند درجة الذوبان، زادت مقاومته 76.8 Ω. احسبي درجة حرارة ذوبان الإنديوم.

الحل:

$$R_o = 50\Omega$$
$$T_o = 20°C$$
$$R = 76.8\Omega$$
$$T = ?$$

$$R = R_o[1+\alpha(T-T_o)]$$

$$\Rightarrow 76.8 = 50[1+3.92\times10^{-3}(T-20)] \quad \Rightarrow 76.8 = 50+50\times3.92\times10^{-3}(T-20)$$

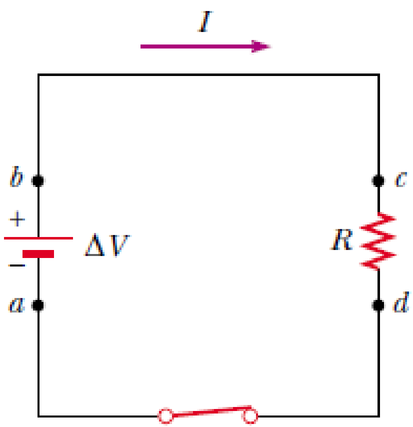
$$\Rightarrow 76.8-50 = 50\times3.92\times10^{-3}(T-20) \quad \Rightarrow \frac{76.8-50}{50\times3.92\times10^{-3}} = (T-20)$$

$$\Rightarrow T = \left[\frac{76.8-50}{50\times3.92\times10^{-3}}\right]+20 \quad \Rightarrow T = 136.7+20 \quad \Rightarrow T = 156.7 \approx 157°C$$

الطاقة الكهربية و القدرة

- تتحول الطاقة الكيمائية المختزنة في البطارية إلى طاقة حركية لحاملات الشحنة في الموصل.

ومن ثم تتحول إلى طاقة داخلية مصحوبة بزيادة في حرارة الموصل.



- تطبيق على دائرة بسيطة:

- عند تحرك شحنة موجبة ΔQمن النقطة a إلى النقطة b تزداد طاقة الوضع لها u بمقدار

ΔQ ΔV

$$\Delta u = q\Delta V$$

بينما تتناقص طاقة الوضع الكيميائي للبطارية بنفس المقدار.

- عندما تنتقل الشحنة موجبة ΔQ من c إلى d (مع اهمال مقاومة اسلاك التوصيل) تفقد هذا المقدار من طاقة الوضع

بتصادمها مع ذرات الفلز وبذلك تنتج طاقة داخلية.

- يكون معدل الفقد في طاقة الوضع الكهربي (معدل فقد الشحنة ΔQ لطاقة الجهد):

$$\frac{\Delta u}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}\Delta v = I\Delta v$$

- القدرة : معدل الفقد في الطاقة

$$P = \frac{\Delta u}{\Delta t} = I\Delta V = I^2 R = \frac{(\Delta V)^2}{R}$$

- وحدة قياس القدرة: الواط

الجول الحراري : القدرة المفقودة كطاقة داخلية في موصل مقاومته R.

نقل الطاقة الكهربية خلال خطوط القدرة

$$P = I\Delta V$$

- تنتقل الطاقة الكهربية عند تيارات منخفضة وفروق جهد عالية مبدئيا لأسباب اقتصادية.

مثال 7.24 القدرة في سخان كهربي

سخان كهربي صنع من سلك نيكل – كروم، استخدم فرق جهد مقداره 120 V بين طرفيه وكانت مقاومته 8 Ω. اوجدي التيار الذي يحمله السلك وكذلك قدرة السخان.

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{120}{8} = 15A$$

$$P = I\Delta V = 15 \times 120 = 1800W = 1.8kW$$

مثال 8.24 تكاليف إعداد عشاء

احسبي تكلفة إعداد ديك رومي في فرن إذا عمل 4 ساعات متصلة عند 20 A و 240، اذا كان سعر التكلفة هي 8 سنت (0.08 دولار) لكل كيلوواط. ساعة

الحل:

القدرة المستخدمة:

$$P = I\Delta V \quad = 20 \times 240 \quad = 4800W \quad = 4.8KW$$

الطاقة المستهلكة= القدرة X الزمن

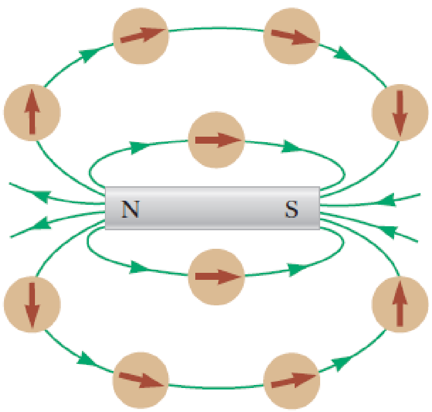
$$E = Pt \quad = 4.8 \times 4 = 19.2kWh$$

$$\left.\begin{array}{l} 0.08 \rightarrow 1kWh \\ ? \rightarrow 19.2kWh \end{array}\right\}$$

التكلفة $= 19.2 \times 0.08 = 1.54$ دولار

المجالات المغناطيسية

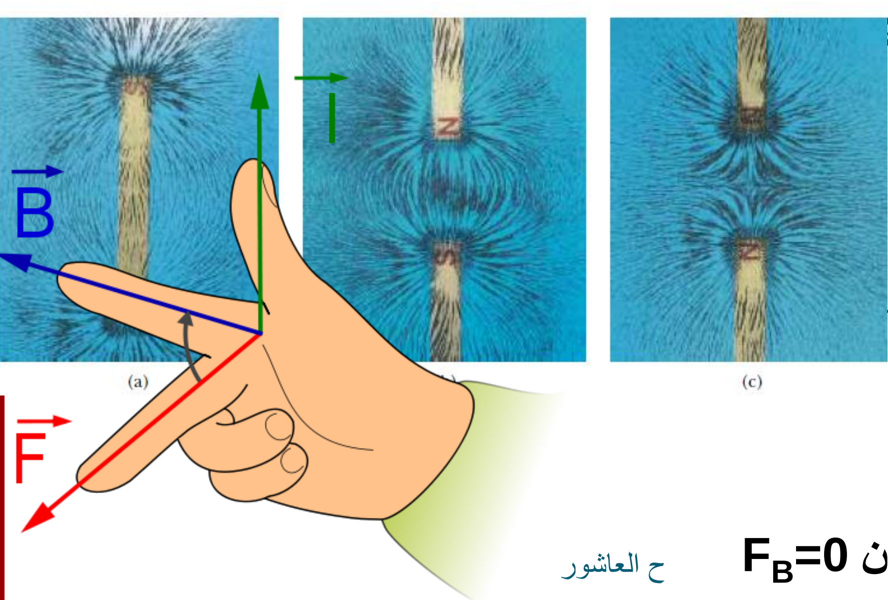
- كل مغناطيس مهما كان شكله يحوي قطبين يسمى الأول شمالياً والثاني جنوبياً.
- تتجاذب الاقطاب المختلفة وتتنافر الاقطاب المتشابهة (مثل الشحنات الكهربية)
- لا يمكن أن يوجد مغناطيس ذو قطب منعزل (الاقطاب المغناطيسية توجد دائماً في شكل ازواج)



المجال المغناطيسي B:

- هو الحيز الذي تظهر فيه أثار القوة المغناطيسية.
- المجال المغناطيسي كمية متجهة ويحدد اتجاهها عند نقطة ما باستخدام ابرة البوصلةعند هذه النقطة أو برادة الحديد.
- خطوط المجال المغناطيسي تبتعد عن القطب الشمالي وتقترب من القطب الجنوبي.
- يمكن تعريف المجال المغناطيسي عند أي نقطة : بانه القوة المغ

الاختبار. $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \quad = qvB\sin\theta$

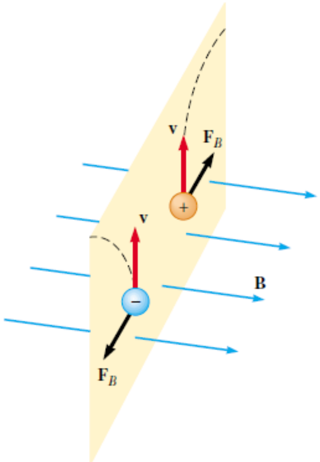


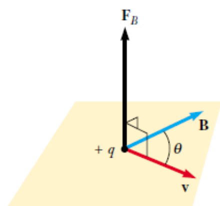
ملاحظات:

- اتجاه القوة المغناطيسية يكون عمودياً على كل من السرعة V و B ، ويمكن استخدام قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه القوة.
- مقدار القوة المغناطيسية : $F_B = |q|v \times B = |q|vB\sin\theta$
- إذاّ تحرك الجسم المشحون موازياً لاتجاه المجال(v توزي B) فإن $F_B=0$

ح العاشور

- القوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة موجبة تكون في عكس اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة سالبه تتحرك في نفس الاتجاه.





- F_B نفس اتجاه VXB إذا كانت q موجبة.
- F_B عكس اتجاه VXB إذا كانت q سالبة.
- عندما يتحرك جسيم مشحون في مجال مغناطيسي يكون الشغل المبذول بواسطة القوة المغناطيسية على الجسيم صفراً... لماذا؟ (الازاحة عمودية على القوة)
- يمكن للمجال المغناطيسي أن يغير اتجاه السرعة ولكن لا يمكنه تغير مقدارها (لا يمكن تغير مقدار الطاقة الحركية للجسيم)

الفرق بين القوة الكهربية والقوة المغناطيسية

الكمية	القوة الكهربية	القوة المغناطيسية
1- اتجاه القوة	القوة الكهربية موازية للمجال الكهربية $Fe // Ee$	القوة المغناطيسية عمودية على المجال المغناطيسية $F_B \perp B$
2- الحركة	القوة الكهربية تعمل على الجسم المشحون سواء كان ساكنا او متحركاً.	القوة المغناطيسية تعمل على الجسم المشحون عندما يتحرك فقط.
3- الشغل	تبذل القوة الكهربية شغلا عند ازاحة جسيم مشحون.	لا تبذل القوة المغناطيسية أي شغل عندما يزاح جسيم مشحون.

وحدة قياس المجال مغناطيسي:

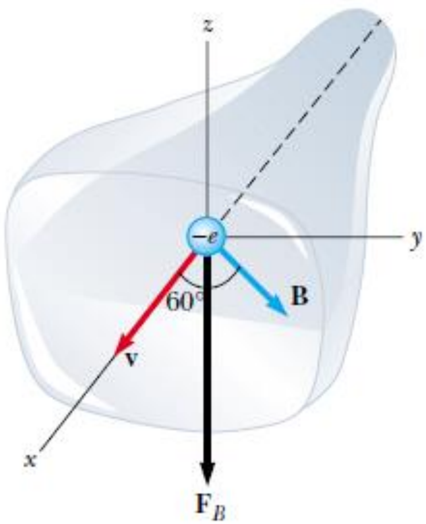
- في النظام الدوالي المتري : التسلا T

$$T = 1\frac{N}{c.m/s} = 1\frac{N}{A.m}$$

- الجاوس (G): $1T = 10^4\ G$

مثال 1.26 حركة إلكترون في مجال مغناطيسي.

يتحرك إلكترون في أنبوبة جهاز التليفزيون تجاه مقدمة الأنبوبة بسرعة $8\times10^6 m/s$ على المحور السيني وحول عنق الأنبوبة يوجد ملف من السلك ينشئ مجالاً مغناطيسياً مقداره $0.025\ T$ في اتجاه يصنع زاوية 60^o مع المحور السيني ويقع في المستوى xy .احسب القوة المغناطيسية والعجلة للإلكترون.



مقدار القوة المغناطيسية:

$$F_B = |q|vB\sin\theta = 1.6\times10^{-19}\times8\times10^6\times0.025\times\sin 60 \;\; = 2.8\times10^{-14}\,N$$

- اتجاهها: بالاتجاه السالب للمحور Z..... لماذا؟

- عجلة الالكترون:

$$a = \frac{F_B}{m_e} = \frac{2.8\times10^{-14}}{9.11\times10^{-31}} = 3.1\times10^{16}\,m/s^2$$

القوة المغناطيسية التي تؤثر على موصل يحمل تياراً

- يتكون التيار من مجموعة الجسيمات المشحونة التي تتحرك في السلك.

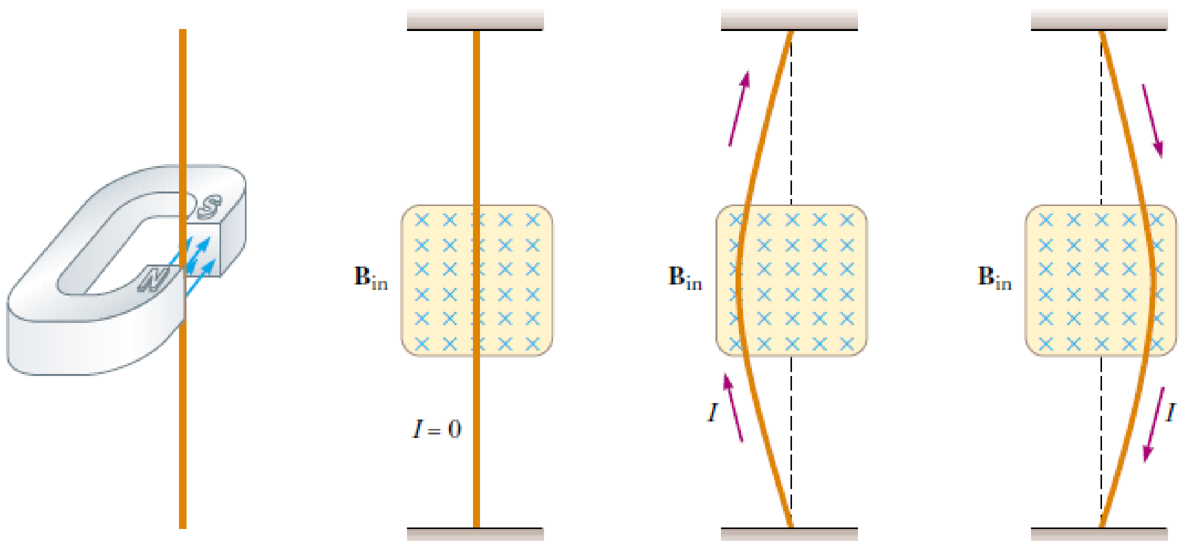
- القوة الناتجة عن مجال السلك هي المجموع الاتجاهي للقوى المفردة الناتجة عن كل الشحنات المكونة للتيار.

- اتجاه المجال المغناطيسي:

المجال المغناطيسي داخل في الورقة B_{in}

المجال المغناطيسي خارج من الورقة B_{out}

- اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك يسري فيه تيار وخاضع المجال مغناطيسي للداخل B_{in} :

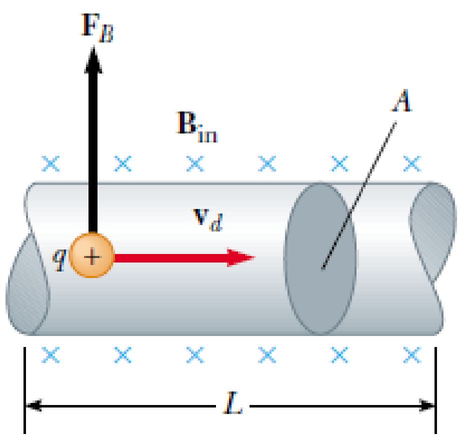


(a) (b) (c) (d)

ايجاد القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل يسري فيه تيار وخاضع لمجال مغناطيسي

1- القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل مستقيم طوله L ويحمل تياراً I موضوع في مجال مغناطيسي منتظم B:

$$\vec{F}_B = q\vec{v}_d \times \vec{B}$$



- عدد الشحنات في هذا الحجم = n A L

عدد الشحنات لوحدة الحجوم ← n

مساحة مقطع السلك ← A

طول السلك ← L

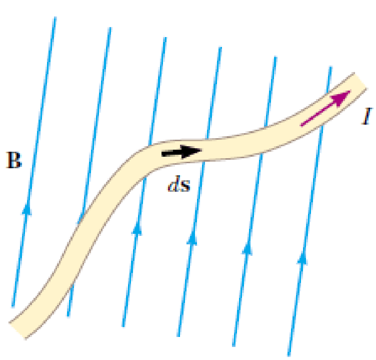
$$\Rightarrow F_B = (qvd \times B)nAL \because I = nqvdA \Rightarrow F_B = IL \times B$$

حيث L هو متجه في اتجاه I و L= |L|

2 - القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك شكله اختياري ويحمل تيار I موضوع في مجال مغناطيسي:

- نأخذ عنصر من السلك طوله ds ونوجد القوة المغناطيسية المؤثرة عليه: $dF_B = Ids \times B$

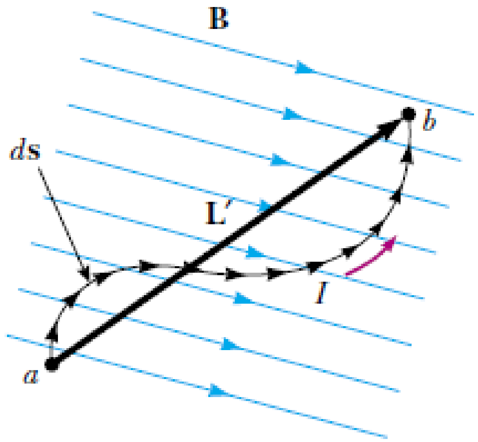
- نكامل هذه المعادلة بأخذ تغيرات B و ds عند كل نقطة بعين الاعتبار:



$$F_B = I\int_a^b ds \times B$$

حالات خاصة من الفقرة 2

- القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك شكله اختياري ويحمل تيار I موضوع في مجال مغناطيسي منتظم:

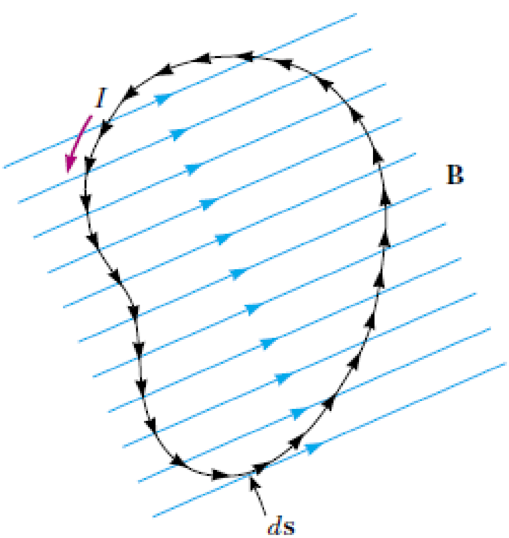


(a)

$$F_B = I\left(\int_a^b ds\right)\times B \quad \Rightarrow F_B = IL'\times B$$

وهي تساوي القوة المغناطيسية التي تنتج من سلك مستقيم نهايتيه a و b.

- القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك على شكل دائرة مغلقة ويحمل تيار I موضوع في مجال مغناطيسي منتظم:



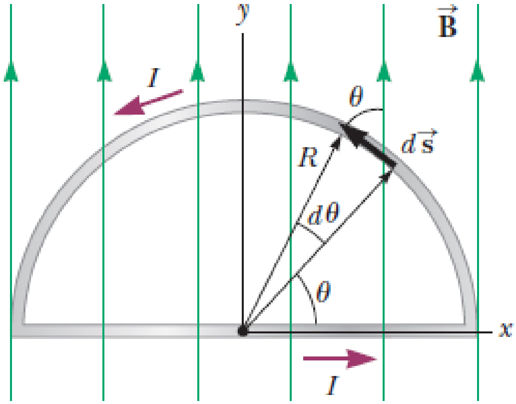
(b)

$$F_B = I\left(\oint ds\right)\times B \;= 0$$

أي ان القوة المغناطيسية على أي دائرة كهربية مغلقة تساوى صفر.

مثال 2.26 القوة المؤثرة على موصل نصف دائرة

ثني سلك ليمثل نصف دائرة مغلقة نصف قطرها R وتحمل تيار I. يقع السلك في المستوى xy ويتجه المجال المغناطيسي المنتظم في اتجاه موجب y . أوجد مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على الجزء المستقيم من السلك وعلى الجزء المنحني.



- القوة المغناطيسية المؤثرة على الجزء المستقيم:

$$F_1 = IL \times B \quad = I \times 2R \times B \quad = 2IRB$$

ويكون اتجاه هذه القوة للخارج (موجب).

- القوة المغناطيسية المؤثرة على الجزء المنحني:

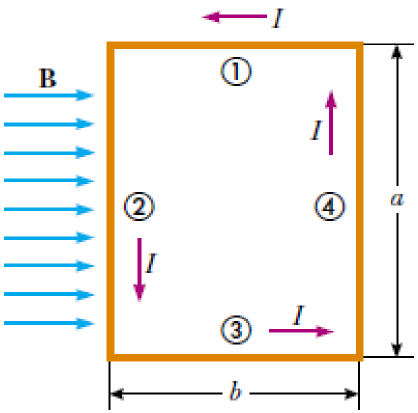
$$dF_2 = I\left(\int ds\right) \times B \quad = I\left(\int ds\right) B \sin\theta \quad = IB\sin\theta \int ds \quad = IB\sin\theta \int R d\theta \quad = IBR \int \sin\theta d\theta$$

$$= IBR\int_0^{\pi} \sin\theta d\theta \quad = IBR\left[-\cos\theta\right]_0^{\pi} \quad = -IBR\left[\cos\theta\right]_0^{\pi} \quad = -IBR\left[-1-1\right] \quad = 2IBR$$

ويكون اتجاه هذه القوة للداخل (سالب)

وبالتالي تكون القوة الكلية المؤثرة على دائرة مغلقة مساوية للصفر.

عزم الازدواج على دائرة مغلقة تحمل تياراً في مجال مغناطيسي منتظم



عزم الازدواج (τ):

$$\tau = IA \times B \qquad = IAB\sin\theta$$

عزم الازدواج

شدة التيار المار في الدائرة الكهربية

مساحة الدائرة المغلقة

المجال المغناطيسي

الاثبات اضغط:

ملاحظات:

1- إذا كان اتجاه المجال B موازيا لمستوى الدائرة الكهربية المغلقة (عموديا على متجه المساحة A ← ϴ =90°)

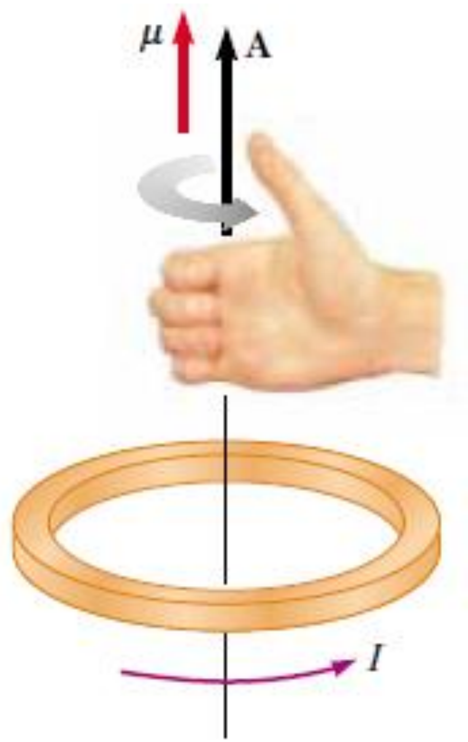
$$\Rightarrow \tau = IAB$$

2- إذا كان اتجاه المجال B عموديا على مستوى الدائرة المغلقة (موازياً لمتجه المساحة A ← ϴ = 0°)

$$\Rightarrow \tau = 0$$

وحدة قياس عزم الازدواج:

N . m = A .m² .T



- **عزم ثنائي المغناطيسي للدائرة (μ):** $\mu = IA$

وحدة قياس عزم ثنائي القطب المغناطيسي μ: $A.m^2$

- اتجاه المتجه A (اتجاه عزم ثنائي القطب المغناطيسي): باستخدام قاعدة اليد اليمنى.

- **العلاقة بين عزم الازدواج وعزم ثنائي القطب المغناطيسي لدائرة مغلقة:**

$$\tau = \mu \times B$$

وإذا كان الملف يتكون من N من اللفات فأن:

$$\tau = N\mu_{\text{لفة}} \times B = \mu_{\text{للملف}} \times B$$

حيث أن $\mu_{\text{للملف}} = N\,\mu_{\text{لفة}} = NIA$

- **طاقة الوضع لثنائي القطب المغناطيسي (U):**

$$U = -\mu \cdot B = -\mu B \cos\theta$$

- إذا كانت μ في نفس اتجاه B فإن U تكون لها نهاية صغرى $(U = -\mu B)$
- إذا كانت μ معاكسة لاتجاه B فإن U تكون لها نهاية عظمى $(U = +\mu B)$

مثال 3.26 ثنائي القطب المغناطيسي لملف

ملف على شكل مستطيل أبعاده 5.4 cm x 8.5 cm يتكون من 25 لفة من سلك يحمل تيار 15 mA

استخدم مجال مغناطيسي شدته 0.35T موازيا لمستوى الدائرة.

(a) احسب مقدار عزم ثنائي القطب المغناطيسي.

(b) ما مقدار الإزدواج المؤثر على الدائرة؟

(a

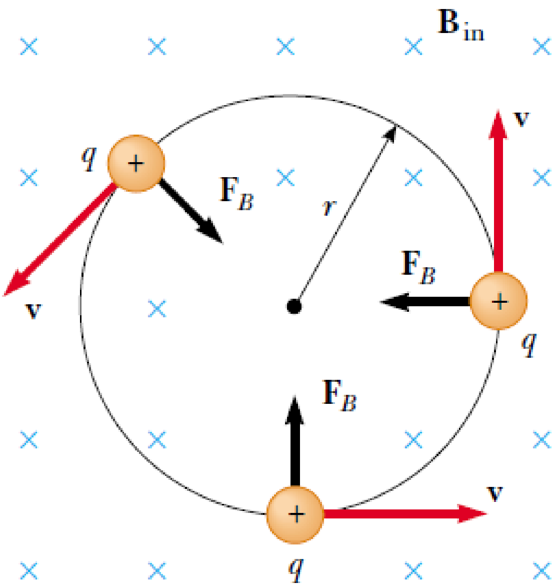
$$\mu_{\text{للملف}} = NIA = NIA = 25\times15\times10^{-3}\times8.5\times5.4\times10^{-4}$$

$$=1.72\times10^{-3}\,A.m^{2}$$

(b

$$\tau = \mu_{\text{للملف}} \times B = 1.72\times10^{-3}\times0.35 = 6.02\times10^{-4}\,N.m$$

حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم



- يتحرك الجسيم في دائرة تقع في مستوى عمودي على المجال المغناطيسي.

.... لماذا؟

- يتغير اتجاه سرعة الجسيم **v** والقوة المغناطيسية F_B باستمرار.
- القوة المغناطيسية تغير فقط اتجاه سرعة الجسيم وليس مقدارها.
- اذا كانت **q** موجبة يكون الدوران عكس دوران عقارب الساعة.
- اذا كانت **q** سالبة يكون الدوران مع دوران عقارب الساعة.
- نصف قطر المسار الدائري الذي يتحركه الجسيم:

$$F_B = F_r \quad \Rightarrow qvB = \frac{mv^2}{r} \quad \Rightarrow r = \frac{\overbrace{mv}^{\text{كمية الحركة الخطية}}}{qB}$$

نصف قطر المسار يتناسب طرديا مع كمية الحركة الخطية وعكسيا مع مقدار الشحنة والمجال المغناطيسي

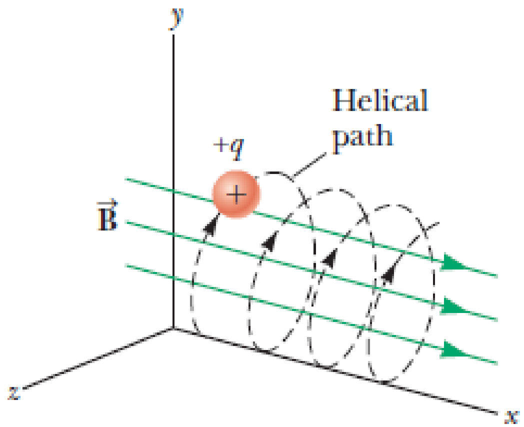
- السرعة الزاوية المطلقة للجسيم: $\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$

- الزمن الدوري لحركة الجسيم: $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$

لايعتمد كلا من السرعة الزاوية والزمن الدوري للجسيم على السرعة الخطية للجسيم **v** ولا على نصف قطر المسار **r**

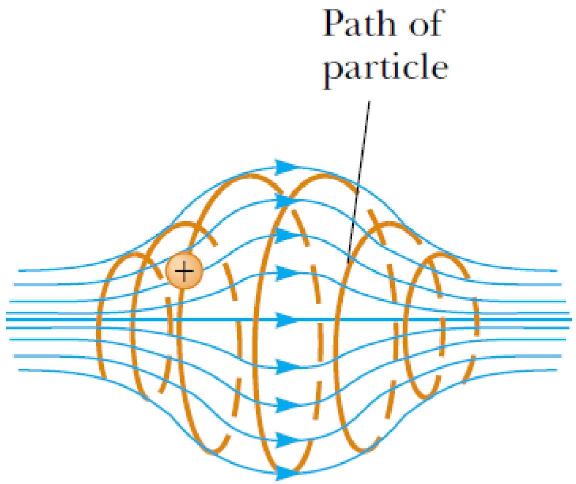
ح العاشور

حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم (ثلاثي الابعاد)



- يكون مسار الجسيم حلزونيا كما بالشكل المقابل وسبب هذا المسار:
- بفرض ان اتجاه المجال المغناطيسي هو الاتجاه **x** نجد ان القوة المغناطيسية F_B في هذا الاتجاه تساوي صفر , وبالتالي تكون مركبة تسارع الجسيم في هذا الاتجاه تساوي صفر. $a_x = 0$
- هذا يعني ان مركبة سرعة الجسيم في الاتجاه **x** ثابتة.
- تغير القوة المغناطيسية المركبتين v_y و v_z مع الزمن وتكون الحركة الناتجة هي حركة حلزونية محورها موازيا للمجال المغناطيسي.
- يكون مسقط المسار على المحور **yz** عبارة عن دائرة بينما يكون المسقط على **xy** و **xz** عبارة عن مسار جيبي.
- سرعة الجسيم $\upsilon_{\perp} = \sqrt{\upsilon_y^2 + \upsilon_z^2}$
- نصف قطر المسار الدائري الذي يتحركه الجسيم: $r = \dfrac{mv}{qB}$
- السرعة الزاوية المطلقة للجسيم: $\omega = \dfrac{v}{r} = \dfrac{qB}{m}$
- الزمن الدوري لحركة الجسيم: $T = \dfrac{2\pi r}{v} = \dfrac{2\pi}{\omega} = \dfrac{2\pi m}{qB}$

حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي غير منتظم



- يكون مسار الجسيم معقدا.

- بفرض ان المجال المغناطيسي قويا عند الطرفين وضعيفا في المنتصف.

- يتذبذب الجسيم للأمام والخلف بين نقطتي النهاية.

- وتسمى هذه الحالة بالقنينة المغناطيسية لان الجسيم يكون محبوسا داخلها.

مثال 4.26 حركة بروتون عموديا على مجال مغناطيسي منتظم

يتحرك برتون في مدار دائري نصف قطره 14 cm في مجال مغناطيسي منتظم 0.35 T على سرعة البروتون . أوجد السرعة المطلقة الخطية للبروتون.

$$r = \frac{mv}{qB} \qquad \Rightarrow \upsilon = \frac{qBr}{m_p}$$

$$\Rightarrow \upsilon = \frac{1.6\times10^{-19}\times0.35\times14\times10^{-2}}{1.67\times10^{-27}} \qquad = 4.7\times10^{6}\, m/s$$

مثال 5.26 انحناء حزمة الكترونية

$\Rightarrow k_i = 0$

في احدى التجارب المستخدمة لتعيين مقدار المجال المغناطيسي المنتظم, عجلت الكترونات من السرعة صفر خلال فرق جهد 350V. سارت الالكترونات في مسار منحني نتيجة القوة المغناطيسية المؤثرة عليها, وكان نصف قطر المسار هو 7.5cm. فاذا كان المجال المغناطيسي عمودي على الحزمة الالكترونية:

1- ما مقدار المجال المغناطيسي؟

$$\Delta k = -q\Delta V \quad \Rightarrow k_f = -q\Delta V \quad \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = -q\Delta V$$

$$\Rightarrow |v| = \sqrt{\frac{2q\Delta V}{m}} \quad = \sqrt{\frac{2\times1.6\times10^{-19}\times350}{9.11\times10^{-31}}}$$

$$\Rightarrow v = 1.11\times10^{7}\, m/s$$

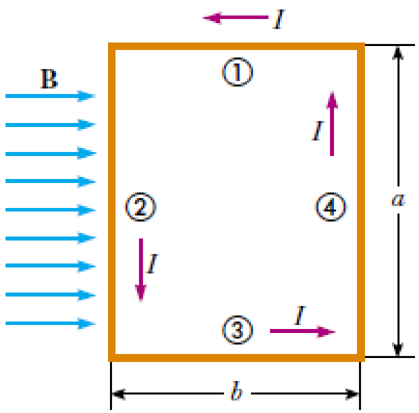
$$r = \frac{mv}{qB} \quad \Rightarrow B = \frac{mv}{qr} \quad = \frac{9.11\times10^{-31}\times1.11\times10^{7}}{1.6\times10^{-19}\times7.5\times10^{-2}}$$

$$\Rightarrow B = 8.4\times10^{-4}\,T$$

2- ما مقدار السرعة الزاوية للإلكترونات؟

$$\omega = \frac{v}{r} \quad = \frac{1.11\times10^{7}}{7.5\times10^{-2}} \quad = 1.5\times10^{8}\, s^{-1}$$

اثبات معادلة عزم الازدواج

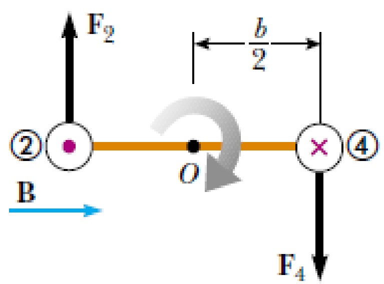


- القوة المغناطيسية المؤثرة على الاضلاع:

$$F_B = IL \times B$$

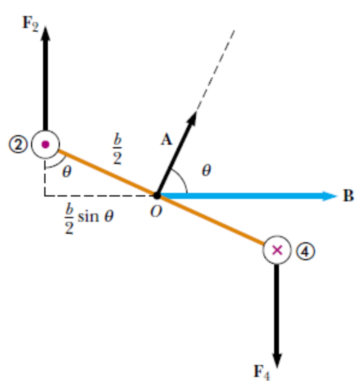
$$F_3 = F_1 = 0 \quad , F_2 = F_4 = IaB$$

- اتجاه F_2 لخارج الصفحة, بينما اتجاه F_4 للداخل, واذا كان الملف مثبت عند النقطة O يتكون ازدواج دوران في اتجاه عقارب الساعة مقداره:



$$\tau_{\max} = F_2 \frac{b}{2} + F_4 \frac{b}{2} \;= (IaB)\frac{b}{2} + (IaB)\frac{b}{2} \;= IabB \;= IAB$$

- الحالة العامة (المجال المغناطيسي لا يوازي مستوى الدائرة بل يصنع معها زاوية مقدارها θ):



$$\tau = IAB\sin\theta \;\Rightarrow \tau = IA \times B$$

ح العاشور

س: 280

يتحرك بروتون بسرعة مطلقة $3\times10^{6}\,m/s$ بزاوية $37°$ مع اتجاه مجال مغناطيسي شدته $0.3T$ في اتجاه $+y$.

a) احسب مقدار القوة المغناطيسية على البروتون؟

b) " " العجلة.

الحل:

a) $F_B = qV\times B = qVB\sin\theta$

$= (1.6\times10^{-19}c)(3\times10^{6}m/s)(0.3T)\sin 37°$

$F_B = 8.7\times10^{-14}N$

b) $a = \dfrac{F_B}{m_p} = \dfrac{8.7\times10^{-14}N}{1.67\times10^{-27}kg} = 5.2\times10^{13}\,m/s^2$

س 401 / 280

يتحرك بروتون عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم B بسرعة مقدارها $1\times10^{7}m/s$ ويعاني من عجلة $2\times10^{13}m/s^2$ في اتجاه موجب X عندما تكون السرعة في اتجاه موجب Z. احسب مقدار واتجاه المجال؟

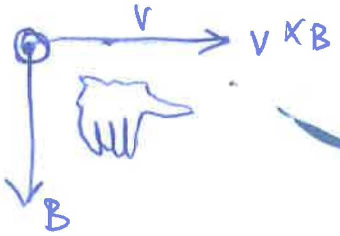
$F = ma = (1.67\times10^{-27}kg)(2.0\times10^{13}\,m/s^2)$

$F = 3.34\times10^{-14}N$

$F = qVB\sin 90°$

$B = \dfrac{F}{qv} = \dfrac{3.34\times10^{-14}N}{(1.6\times10^{-19}c)(1.0\times10^{7}m/s)}$

$B = 2.09\times10^{-2}T$



سؤال 5
280

يعجل الكترون خلال فرق جهد 2400V من سكون ثم دخل منطقة بها مجال مغناطيسي 1.7T ما مقدار: a) أقصى قيمة للقوة المغناطيسية التي تؤثر على الشحنة؟
b) أقل

الحل: أولاً نجد سرعة الالكترون

$$\Delta K = \frac{1}{2}mv^2 = e\Delta V = \Delta U$$

$$v = \sqrt{\frac{2e\Delta V}{m}} = \sqrt{\frac{2(1.6\times10^{-19}c)(2400V)}{(9.11\times10^{-31}Kg)}} = 2.9\times10^{7}\,m/s$$

a) $F_{B\,max} = qvB = (1.6\times10^{-19}c)(2.9\times10^{7}m/s)(1.7T) = \boxed{7.9\times10^{-12}N}$

b) $F_{B\,min} = 0$ when $\theta = 0$ موازي B
$\theta = 180°$ معاكس B

سؤال 10
281

سلك طوله 2.8m، يحمل تيار شدته 5A في مجال مغناطيسي منتظم شدته 0.39T احسب مقدار القوة المغناطيسية التي تؤثر على السلك، إذا كانت الزاوية بين المجال المغناطيسي والتيار هي: 60°، 90°، 120°

$60° \Rightarrow F_B = ILB\sin\theta = (5.0A)(2.8m)(0.39T)\sin 60° = \boxed{4.73N}$

$90° \Rightarrow F_B = (5.0A)(2.8m)(0.39T)\sin 90° = \boxed{5.46N}$

$120° \Rightarrow F_B = (5.0A)(2.8m)(0.39T)\sin 120° = \boxed{4.73N}$

سؤال 12
281

يمر تيار شدته 17mA في دائرة واحدة مغلقة محيطها 2m، ويوازي مستوى الدائرة مجال مغناطيسي شدته 0.8T احسب العزم المغناطيسي للدائرة؟
b) ما مقدار عزم الازدواج المؤثر على الدائرة بالمجال المغناطيسي.

الحل:

a) محيط الدائرة $2\pi r = 2m$

$r = 0.318m$ $\quad A = \pi r^2$

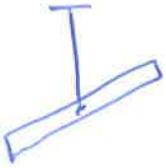
$$\mu = IA = (17.0\times10^{-3}A)(\pi\times0.318^2 m^2)$$

$$\mu = 5.41\,mA.m^2 = \boxed{5.41\times10^{-3}A.m^2}$$

b) $\tau = \mu\times B \Rightarrow \tau = (5.41\times10^{-3}A.m^2)(0.8T) = 4.33\,mN.m$
$= \boxed{4.33\times10^{-3}N.m}$

سؤال 13
281

قضيب مغناطيسي معلق في مجال مغناطيسي منتظم شدته 0.25T أقصى ازدواج فعال في منه القضيب هو $4.6\times10^{-3}N\cdot m$ ، احسب العزم المغناطيسي للقضيب.



$$\mu = \frac{\tau_{max}}{B} = \frac{4.6\times10^{-3}\,N\cdot m}{0.25\,T} = 1.8\times10^{-2}\ A\cdot m^2$$

سؤال 19
282

يتحرك بروتون في مسار دائري عمودي على مجال مغناطيسي ثابت فأخذ $1\mu s$ ليكمل دورة واحدة ، احسب مقدار المجال المغناطيسي.

$$F_B = qvB = \frac{mv^2}{R}$$

$$v = \frac{qRB}{m}$$

الزمن ليكمل دورة كاملة T

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi R}{qRB/m} = \frac{2\pi m}{qB}$$

$$B = \frac{2\pi m}{qT} = \frac{2\pi(1.67\times10^{-27}\,kg)}{(1.6\times10^{-19}\,C)(1\times10^{-6}\,s)} =$$

$$\boxed{B = 6.55\times10^{-2}\ T}$$

المجالات المغناطيسية

- كل مغناطيس مهما كان شكله يحوي قطبين يسمى الأول شمالياً والثاني جنوبياً.

- تتجاذب الاقطاب المختلفة وتتنافر الاقطاب المتشابهة (مثل الشحنات الكهربية)

- لا يمكن أن يوجد مغناطيس ذو قطب منعزل (الاقطاب المغناطيسية توجد دائماً في شكل ازواج)

المجال المغناطيسي B:

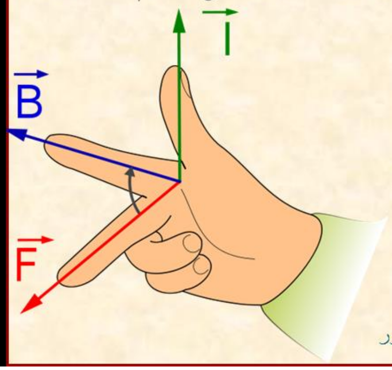
- هو الحيز الذي تظهر فيه أثار القوة المغناطيسية.

- المجال المغناطيسي كمية متجهة ويحدد اتجاهها عند نقطة ما باستخدام ابرة البوصلةعند هذه النقطة أو برادة الحديد.

- خطوط المجال المغناطيسي تبتعد عن القطب الشمالي وتقترب من القطب الجنوبي.

- يمكن تعريف المجال المغناطيسي عند أي نقطة : بانه القوة المغناطيسية F_B التي يؤثر بها المجال على جسيم الاختبار.

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \quad = qvB\sin\theta$$



ملاحظات:

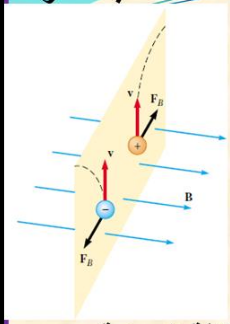
- اتجاه القوة المغناطيسية يكون عمودياً على كل من السرعة V والمجال المغناطيسي B ، ويمكن استخدام قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه القوة.

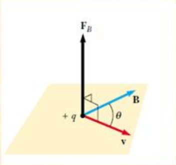
- مقدار القوة المغناطيسية : $F_B = |q| v \times B = |q| vB\sin\theta$

- ّإذا تحرك الجسم المشحون موازياً لاتجاه المجال(v توزي B) فإن $F_B=0$

ح العاشور

- القوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة موجبة تكون في عكس اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على شحنة سالبه تتحرك في نفس الاتجاه.





- F_B نفس اتجاه VXB إذا كانت q موجبة.

- F_B عكس اتجاه VXB إذا كانت q سالبة.

- عندما يتحرك جسيم مشحون في مجال مغناطيسي يكون الشغل المبذول بواسطة القوة المغناطيسية على الجسيم صفراً... لماذا؟ (الازاحة عمودية على القوة)

- يمكن للمجال المغناطيسي أن يغير اتجاه السرعة ولكن لا يمكنه تغير مقدارها (لا يمكن تغير مقدار الطاقة الحركية للجسيم)

الفرق بين القوة الكهربية والقوة المغناطيسية

الكمية	القوة الكهربية	القوة المغناطيسية
1- اتجاه القوة	القوة الكهربية موازية للمجال الكهربية Fe // Ee	القوة المغناطيسية عمودية على المجال المغناطيسية $F_B \perp B$
2- الحركة	القوة الكهربية تعمل على الجسم المشحون سواء كان ساكنا او متحركاً.	القوة المغناطيسية تعمل على الجسم المشحون عندما يتحرك فقط.
3- الشغل	تبذل القوة الكهربية شغلا عند ازاحة جسيم مشحون.	لا تبذل القوة المغناطيسية أي شغل عندما يزاح جسيم مشحون.

وحدة قياس المجال مغناطيسي:

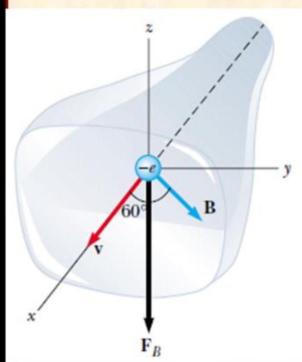
- في النظام الدوالي المتري : التسلا T

$$T = 1\frac{N}{c.m/s} = 1\frac{N}{A.m}$$

- الجاوس (G): $1T = 10^4\ G$

مثال 1.26 حركة إلكترون في مجال مغناطيسي.

يتحرك إلكترون في أنبوبة جهاز التليفزيون تجاه مقدمة الأنبوبة بسرعة $8 \times 10^6 m/s$ على المحور السيني وحول عنق الأنبوبة يوجد ملف من السلك ينشئ مجالاً مغناطيسياً مقداره $0.025\ T$ في اتجاه يصنع زاوية 60^o مع المحور السيني ويقع في المستوى xy .احسب القوة المغناطيسية والعجلة للإلكترون.



مقدار القوة المغناطيسية:

$$F_B = |q| vB\sin\theta = 1.6\times10^{-19} \times 8\times10^6 \times 0.025\times \sin 60 \;\; = 2.8\times10^{-14}\, N$$

- اتجاهها: بالاتجاه السالب للمحور Z..... لماذا؟

- عجلة الالكترون:

$$a = \frac{F_B}{m_e} \;\; = \frac{2.8\times10^{-14}}{9.11\times10^{-31}} = 3.1\times10^{16}\, m/s^2$$

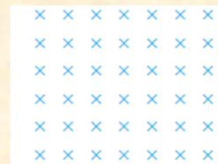
القوة المغناطيسية التي تؤثر على موصل يحمل تياراً

- يتكون التيار من مجموعة الجسيمات المشحونة التي تتحرك في السلك.

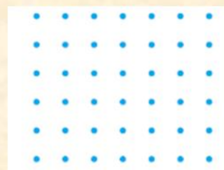
- القوة الناتجة عن مجال السلك هي المجموع الاتجاهي للقوى المفردة الناتجة عن كل الشحنات المكونة للتيار.

- **اتجاه المجال المغناطيسي:**

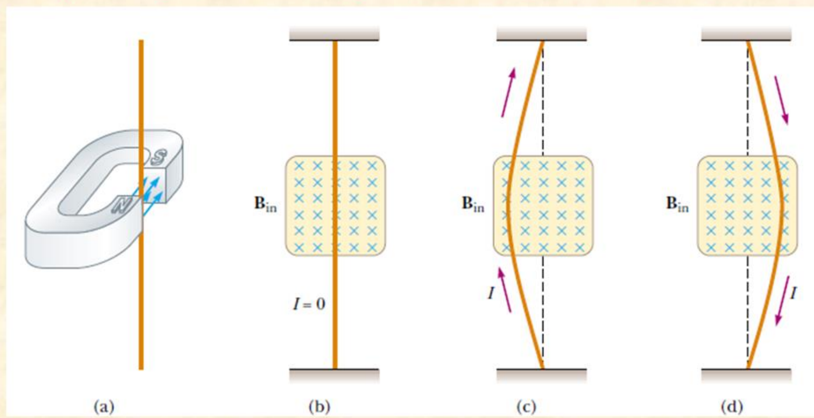
المجال المغناطيسي داخل في الورقة B_{in}



المجال المغناطيسي خارج من الورقة B_{out}

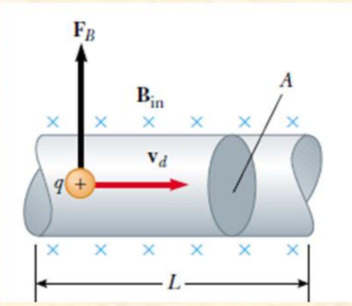


- **اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك يسري فيه تيار وخاضع المجال مغناطيسي للداخل B_{in} :**



ايجاد القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل يسري فيه تيار وخاضع لمجال مغناطيسي

1- القوة المغناطيسية المؤثرة على موصل مستقيم طوله L ويحمل تياراً I موضوع في مجال موضوع في مجال مغناطيسي منتظم B: $\vec{F}_B = q\vec{v}_d \times \vec{B}$



- عدد الشحنات في هذا الحجم = n A L ← عدد الشحنات لوحدة الحجوم

طول السلك — مساحة مقطع السلك

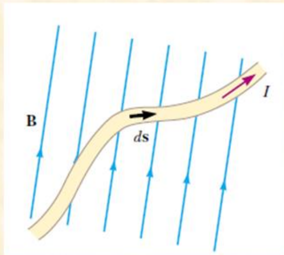
$$\Rightarrow F_B = (qvd \times B)nAL \because I = nqvdA \Rightarrow F_B = IL \times B$$

حيث L هو متجه في اتجاه I و L= |L|

2 - القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك شكله اختياري ويحمل تيار I موضوع في مجال مغناطيسي:

- نأخذ عنصر من السلك طوله ds ونوجد القوة المغناطيسية المؤثرة عليه: $dF_B = Ids \times B$

- نكامل هذه المعادلة بأخذ تغيرات B و ds عند كل نقطة بعين الاعتبار:

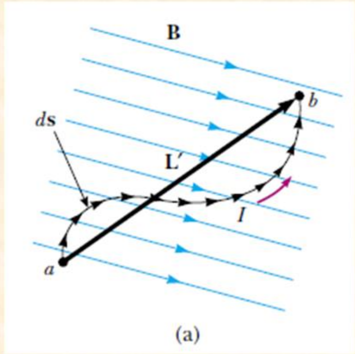


$$F_B = I\int_a^b ds \times B$$

ح العاشور

حالات خاصة من الفقرة 2

- القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك شكله اختياري ويحمل تيار I موضوع في مجال مغناطيسي منتظم:

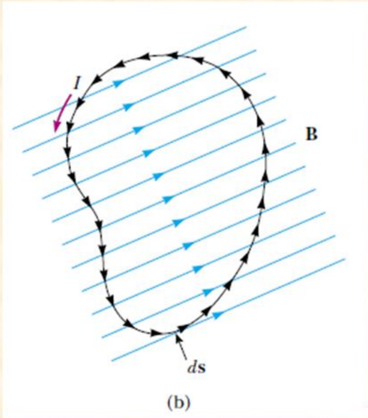


(a)

$$F_B = I\left(\int_a^b ds\right)\times B \quad \Rightarrow F_B = IL'\times B$$

وهي تساوي القوة المغناطيسية التي تنتج من سلك مستقيم نهايتيه a و b.

- القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك على شكل دائرة مغلقة ويحمل تيار I موضوع في مجال مغناطيسي منتظم:



(b)

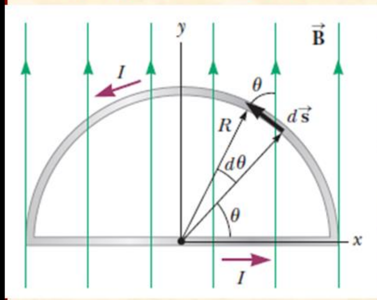
$$F_B = I\left(\oint ds\right)\times B \;\; = 0$$

أي ان القوة المغناطيسية على أي دائرة كهربية مغلقة تساوى صفر.

ح العاشور

مثال 2.26 القوة المؤثرة على موصل نصف دائرة

ثني سلك ليمثل نصف دائرة مغلقة نصف قطرها R وتحمل تيار I. يقع السلك في المستوى xy ويتجه المجال المغناطيسي المنتظم في اتجاه موجب y . أوجد مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على الجزء المستقيم من السلك وعلى الجزء المنحني.



- القوة المغناطيسية المؤثرة على الجزء المستقيم:

$$F_1 = IL \times B \quad = I \times 2R \times B \quad = 2IRB$$

ويكون اتجاه هذه القوة للخارج (موجب).

- القوة المغناطيسية المؤثرة على الجزء المنحني:

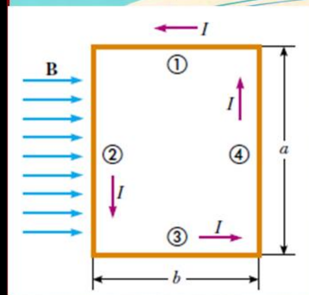
$$dF_2 = I\left(\int ds\right)\times B \quad = I\left(\int ds\right)B\sin\theta \quad = IB\sin\theta\int ds \quad = IB\sin\theta\int Rd\theta \quad = IBR\int \sin\theta d\theta$$

$$= IBR\int_0^{\pi} \sin\theta d\theta \quad = IBR\left[-\cos\theta\right]_0^{\pi} \quad = -IBR\left[\cos\theta\right]_0^{\pi} \quad = -IBR\left[-1-1\right] \quad = 2IBR$$

ويكون اتجاه هذه القوة للداخل (سالب)

وبالتالي تكون القوة الكلية المؤثرة على دائرة مغلقة مساوية للصفر.

عزم الازدواج على دائرة مغلقة تحمل تياراً في مجال مغناطيسي منتظم



عزم الازدواج (τ):

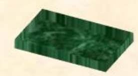
$$\tau = IA \times B \qquad = IAB \sin\theta$$

τ ← عزم الازدواج

I ← شدة التيار المار في الدائرة الكهربية

A ← مساحة الدائرة المغلقة

B ← المجال المغناطيسي

الاثبات: 

ملاحظات:

1- إذا كان اتجاه المجال B موازيا لمستوى الدائرة الكهربية المغلقة (عموديا على متجه المساحة A ← Ɵ =90°)

$$\Rightarrow \tau = IAB$$

2- إذا كان اتجاه المجال B عموديا على مستوى الدائرة المغلقة (موازياً لمتجه المساحة A ← Ɵ = 0°)

$$\Rightarrow \tau = 0$$

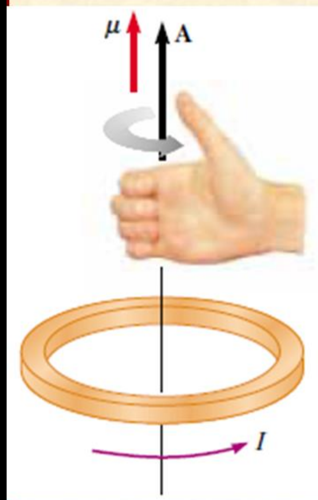
وحدة قياس عزم الازدواج:

N . m = A .m^2.T

- عزم ثنائي المغناطيسي للدائرة (μ): $\mu = IA$

وحدة قياس عزم ثنائي القطب المغناطيسي μ: $A.m^2$

- اتجاه المتجه A (اتجاه عزم ثنائي القطب المغناطيسي): باستخدام قاعدة اليد اليمنى.



- العلاقة بين عزم الازدواج وعزم ثنائي القطب المغناطيسي لدائرة مغلقة:

$$\tau = \mu \times B$$

وإذا كان الملف يتكون من N من اللفات فأن:

$$\tau = N\mu_{\text{لفة}} \times B = \mu_{\text{للملف}} \times B$$

حيث أن $\mu_{\text{للملف}} = N\mu_{\text{لفة}} = NIA$

- طاقة الوضع لثنائي القطب المغناطيسي (U):

$$U = -\mu \cdot B = -\mu B \cos\Theta$$

- إذا كانت μ في نفس اتجاه B فإن U تكون لها نهاية صغرى $(U = -\mu B)$

- إذا كانت μ معاكسة لاتجاه B فإن U تكون لها نهاية عظمى $(U = +\mu B)$

مثال 3.26 ثنائي القطب المغناطيسي لملف

ملف على شكل مستطيل أبعاده 5.4 cm x 8.5 cm يتكون من 25 لفة من سلك يحمل تيار 15 mA

استخدم مجال مغناطيسي شدته 0.35T موازيا لمستوى الدائرة.

(a) احسب مقدار عزم ثنائي القطب المغناطيسي.

(b) ما مقدار الإزدواج المؤثر على الدائرة؟

(a

$$\mu_{\text{للملف}} = NIA = NIA = 25\times15\times10^{-3}\times8.5\times5.4\times10^{-4}$$

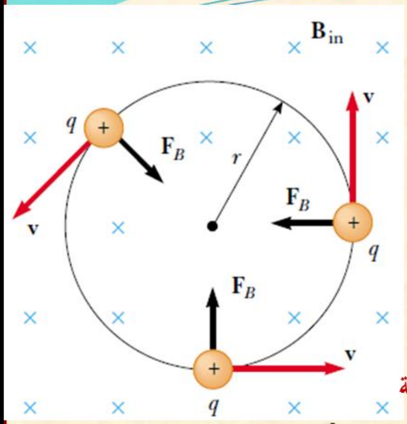
$$=1.72\times10^{-3}\,A.m^2$$

(b

$$\tau=\mu_{\text{للملف}}\times B =1.72\times10^{3}\times0.35 =6.02\times10^{4}\,N.m$$

ح العاشور

حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم



- يتحرك الجسيم في دائرة تقع في مستوى عمودي على المجال المغناطيسي.

.... لماذا؟

- يتغير اتجاه سرعة الجسيم v والقوة المغناطيسية F_B باستمرار.
- القوة المغناطيسية تغير فقط اتجاه سرعة الجسيم وليس مقدارها.
- اذا كانت q موجبة يكون الدوران عكس دوران عقارب الساعة.
- اذا كانت q سالبة يكون الدوران مع دوران عقارب الساعة.
- نصف قطر المسار الدائري الذي يتحركه الجسيم:

$$F_B = F_r \quad \Rightarrow qvB = \frac{mv^2}{r} \quad \Rightarrow r = \frac{\overbrace{mv}^{\text{كمية الحركة الخطية}}}{qB}$$

نصف قطر المسار يتناسب طرديا مع كمية الحركة الخطية وعكسيا مع مقدار الشحنة والمجال المغناطيسي

- السرعة الزاوية المطلقة للجسيم: $\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$

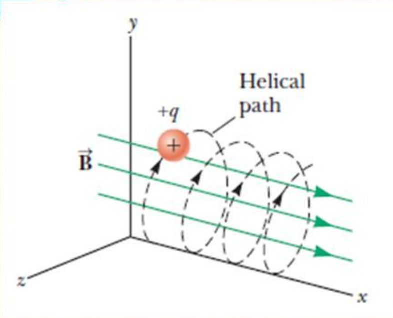
- الزمن الدوري لحركة الجسيم: $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$

لايعتمد كلا من السرعة الزاوية والزمن الدوري للجسيم على السرعة الخطية للجسيم v ولا على نصف قطر المسار r

ح العاشور

حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم (ثلاثي الابعاد)

- يكون مسار الجسيم حلزونيا كما بالشكل المقابل وسبب هذا المسار:



- بفرض ان اتجاه المجال المغناطيسي هو الاتجاه x نجد ان القوة المغناطيسية F_B في هذا الاتجاه تساوي صفر , وبالتالي تكون مركبة تسارع الجسيم في هذا الاتجاه تساوي صفر. $a_x = 0$

- هذا يعني ان مركبة سرعة الجسيم في الاتجاه x ثابتة.

- تغير القوة المغناطيسية المركبتين v_y و v_z مع الزمن وتكون الحركة الناتجة هي حركة حلزونية محورها موازيا للمجال المغناطيسي.

- يكون مسقط المسار على المحور yz عبارة عن دائرة بينما يكون المسقط على xy و xz عبارة عن مسار جيبي.

- سرعة الجسيم $\upsilon_{\perp} = \sqrt{\upsilon_y^2 + \upsilon_z^2}$

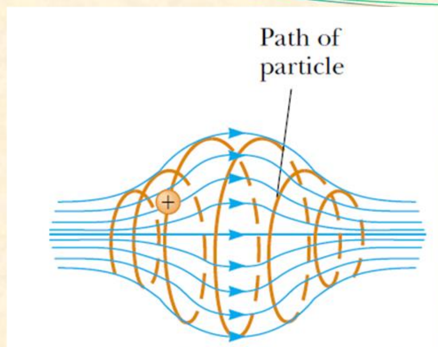
- نصف قطر المسار الدائري الذي يتحركه الجسيم: $r = \frac{mv}{qB}$

- السرعة الزاوية المطلقة للجسيم: $\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$

- الزمن الدوري لحركة الجسيم: $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$

ح العاشور

حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي غير منتظم



- يكون مسار الجسيم معقدا.
- بفرض ان المجال المغناطيسي قويا عند الطرفين وضعيفا في المنتصف.
- يتذبذب الجسيم للأمام والخلف بين نقطتي النهاية.
- وتسمى هذه الحالة بالقنينة المغناطيسية لان الجسيم يكون محبوسا داخلها.

مثال 4.26 حركة بروتون عموديا على مجال مغناطيسي منتظم

يتحرك برتون في مدار دائري نصف قطره 14 cm في مجال مغناطيسي منتظم 0.35 T على سرعة البروتون . أوجد السرعة المطلقة الخطية للبروتون.

$$r = \frac{mv}{qB} \qquad \Rightarrow \upsilon = \frac{qBr}{m_p}$$

$$\Rightarrow \upsilon = \frac{1.6\times10^{-19}\times0.35\times14\times10^{-2}}{1.67\times10^{-27}} \qquad = 4.7\times10^{6}\, m/s$$

مثال 5.26 انحناء حزمة الكترونية

$\Rightarrow k_i = 0$

في احدى التجارب المستخدمة لتعيين مقدار المجال المغناطيسي المنتظم, عجلت الكترونات من السرعة صفر خلال فرق جهد 350V. سارت الالكترونات في مسار منحني نتيجة القوة المغناطيسية المؤثرة عليها, وكان نصف قطر المسار هو 7.5cm. فاذا كان المجال المغناطيسي عمودي على الحزمة الالكترونية:

1- ما مقدار المجال المغناطيسي؟

$$\Delta k = -q\Delta V \quad \Rightarrow k_f = -q\Delta V \quad \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = -q\Delta V$$

$$\Rightarrow |v| = \sqrt{\frac{2q\Delta V}{m}} \quad = \sqrt{\frac{2\times1.6\times10^{-19}\times350}{9.11\times10^{-31}}}$$

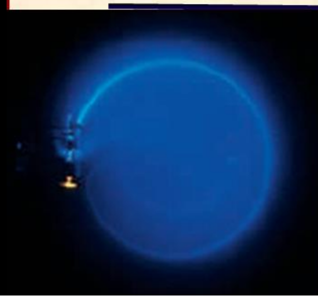
$$\Rightarrow v = 1.11\times10^7\, m/s$$

$$r = \frac{mv}{qB} \quad \Rightarrow B = \frac{mv}{qr} \quad = \frac{9.11\times10^{-31}\times1.11\times10^7}{1.6\times10^{-19}\times7.5\times10^{-2}}$$

$$\Rightarrow B = 8.4\times10^{-4}\,T$$

2- ما مقدار السرعة الزاوية للإلكترونات؟

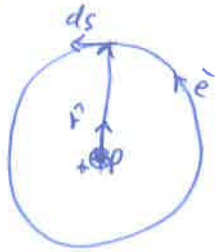
$$\omega = \frac{v}{r} \quad = \frac{1.11\times10^7}{7.5\times10^{-2}} \quad = 1.5\times10^8\, s^{-1}$$



ح العاشور

مثال 1 (9)
301

في نموذج بور لذرة الهيدروجين يدور الالكترون حول بروتون وعلى مسافة 10^{-11} m بسرعة 2.19×10^{6} m/s ، احسب مقدار المجال المغناطيسي الذي تولده هذه الحركة عند البروتون.



$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{d\vec{s}\times\hat{r}}{r^2} \qquad d\vec{s}\times\hat{r} = ds\sin 90^\circ = ds(1) = ds$$

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{ds}{r^2}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2}\oint ds = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2}(2\pi r) = \frac{\mu_0 I}{2r}$$

$$I = \frac{e}{T}, \quad T: \text{زمن الدورة}, \quad T = \frac{2\pi r}{v}$$

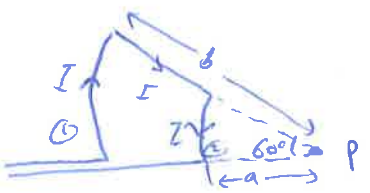
$$I = \frac{e}{T} = \frac{e}{\frac{2\pi r}{v}} = \frac{ev}{2\pi r}$$

$$B = \frac{\mu_0}{2r}\left(\frac{ev}{2\pi r}\right) = \frac{\mu_0 ev}{4\pi r^2} = \frac{4\pi\times10^{-7}\times1.6\times10^{-19}\times2.19\times10^{6}}{4\pi\times(5.29\times10^{-11})^2} = 12.5\ T$$

(inside the page)

سؤال (9)
302

دارة تتكون من سلك يحمل تيار، ومكونة من جزئين شعاعيين (قطريين) وجزء قوس دائرة مركزه عند P ، احسب مقدار المجال B عند P.



$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2}r\theta \qquad \oint ds = r\theta \qquad \theta = 60^\circ = \frac{\pi}{3}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r}\frac{\pi}{3} = \frac{\mu_0 I}{12r}$$

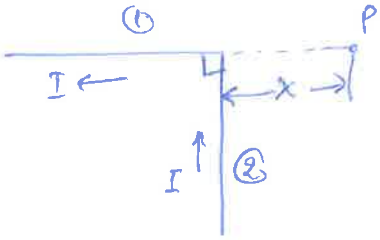
$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{12b} \quad \text{(into the page)} \text{ داخل الصفحة}$$

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{12a} \quad (\text{خارج الصفحة})$$

$$B = B_2 - B_1 = \frac{\mu_0 I}{12a} - \frac{\mu_0 I}{12b} = \frac{\mu_0 I}{12}\left(\frac{1}{a}-\frac{1}{b}\right)$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{12}\left(\frac{b-a}{ab}\right) \quad \text{خارج الصفحة}$$

س 5 ص 302 أحسب المجال المغناطيسي عند نقطة P التي تقع على مسافة x من ركن سلك لانهائي الطول ثني بزاوية قائمة، كما بالشكل P5.27 السلك يحمل تيار مستقر مقداره I.



الحل: بالنسبة للجانب ① $ds \times \hat{r} = 0$

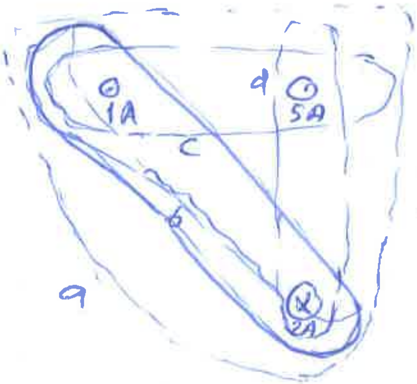
ومن ثم ليس هناك مساهمة في المجال من الجانب ①

من الجانب ②:

$$B = \frac{1}{2}\left(\frac{\mu_0 I}{2\pi x}\right) = \frac{\mu_0 I}{4\pi x}$$

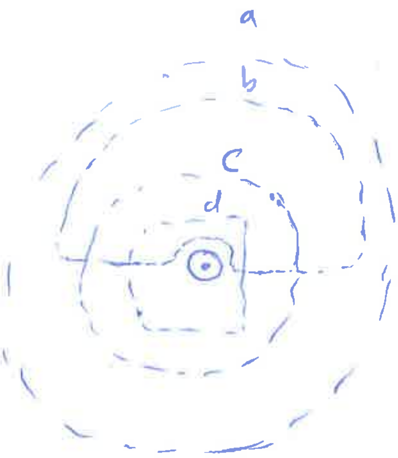
واتجاهه داخل الورقة.

رتب مقدار $\oint B\cdot ds$ للمسارات المغلقة كما في الشكل من الأصغر إلى الأكبر.



قانون أمبير
حسب المعادلة (13.27) $\oint B\cdot ds = \mu_0 I$
قيمة التكامل الخطي تعتمد على التيار الكلي
خلال كل مسار مغلق

المسار b: $2A - 1A = 1A$
" d: $5A - 2A = 3A$
" a: $5A + 1A - 2A = 4A$
" c: $5A + 1A = 6A$



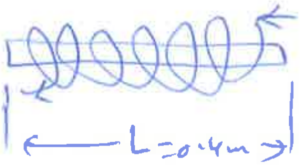
رتب قيم $\oint B\cdot ds$ للمسارات كما في الشكل من الأصغر إلى الأكبر؟
المسار b يعطي القيمة صفر، التكامل صفر (لا يحيط بتيار)
المسارات a، c، d تعطي قيمة غير صفرية للمقدار $\mu_0 I$

حل ١٩
304

ما مقدار التيار المطلوب لملف دائري طويل عدد لفاته $N = 1000$ لفة موزعة بانتظام طول قدره $0.4m$ ، وذلك لإنتاج مجال مغناطيسي عند منتصف الملف الدائري قدره $1\times10^{-4}T$.

*

$B = 1\times10^{-4}T \rightarrow$



$N = 1000$ لفة

$$B = \mu_0 \frac{N}{L} I$$

$$I = \frac{BL}{\mu_0 N} = \frac{(1\times10^{-4}T)(0.4m)}{(4\pi\times10^{-7})(1000)} = 31.8\,mA$$

سؤال 21
304

ملف دائري نصف قطره $R = 5cm$ صنع من سلك موصل نصف قطره $r = 2mm$ وطوله $l = 10m$ $(l >> R)$ ومقاومته النوعية $\rho = 1.7\times10^{-8}\,\Omega.m$
أوجد المجال المغناطيسي عند مركز الملف الدائري إذا وصل السلك ببطارية قوتها الدافعة $\mathcal{E} = 20V$.

$L = 10m$
$R = 5cm$
$r = 2mm$

$$N = \frac{l}{2\pi R}$$

$$\frac{N}{l} = \frac{1}{2\pi R}$$

$$R = \frac{\rho l}{A} = \rho \frac{l}{\pi r^2}$$

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{\Delta V}{\frac{\rho l}{\pi r^2}} = \frac{\Delta V \pi r^2}{\rho l}$$

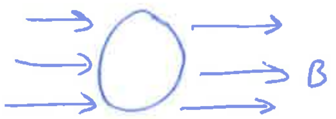
$$B = \mu_0 \frac{N}{L} I = \mu_0 \left(\frac{1}{2\pi R}\right)\left(\frac{\Delta V \pi r^2}{\rho l}\right)$$

$$B = \frac{\mu_0 r^2 \Delta V}{2 R l \rho} = \frac{(4\pi\times10^{-7})(2\times10^{-3}m)^2(20V)}{2(0.05m)(10m)(1.7\times10^{-8})}$$

$$\boxed{B = 0.6\times10^{-3}T}$$

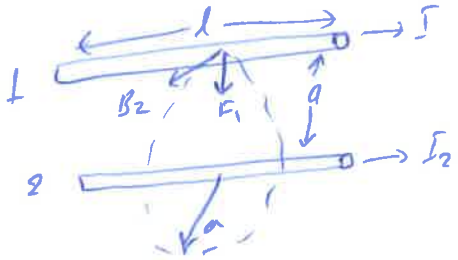
* ejercicios del examen final *

دائرة مغلقة عزمها المغناطيسي $\mu = 5.4\times10^{-3}\,A\cdot m^2$ موضوعة في مجال مغناطيسي شدته $(0.9T)$ عمودياً على مستوى الدائرة. ما مقدار عزم الازدواج (τ) المؤثر على الدائرة؟



$$\tau = \mu \times B$$
$$= 5.4\times10^{-3}\,A\cdot m^2 \times 0.9\,T$$
$$\tau = 4{,}86\times10^{-3}\,N\cdot m$$

16 موصلان طويلان ومتوازيان تفصلهما مسافة 4cm ويحملان تياران لهما نفس الاتجاه $(I_1 = 2A,\ I_2 = 4mA)$ ما مقدار القوة لوحدة الطول المتبادلة بين الموصلين:



$$F = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi a} l$$

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}$$

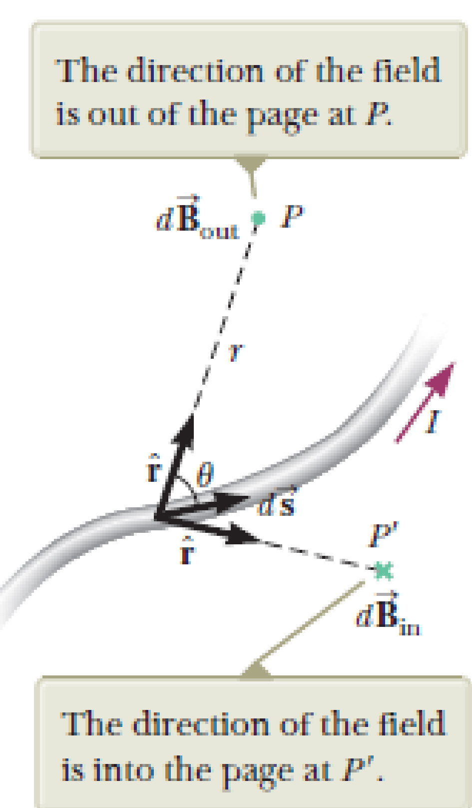
$$\frac{F}{l} = \frac{(4\pi\times10^{-7})(2\times10^{-3}A)(4\times10^{-3}A)}{2\pi(4\times10^{-2}m)}$$

$$\frac{F}{l} = 4\times10^{-11}\,N/m$$

17 احسب مقدار المجال المغناطيسي المتولد عند مركز ملف لولبي طويل عدد لفاته 2000 لفة موزعة بانتظام على طول قدره $(0.02m)$ وذلك عند مرور تيار مقداره 4A في الملف اللولبي.

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I$$
$$= (4\pi\times10^{-7})\left(\frac{2000}{0.02}\right)(4\,A)$$
$$= \frac{4\times3.14\times10^{-7}\times2000\times4}{0.02}$$
$$B = 50{,}2\times10^{-2}\,T$$

مصادر المجال المغناطيسي



- قانون بيو وسافار: $dB = \frac{\mu_o}{4\pi}\frac{Ids \times \hat{r}}{r^2}$ ⟵ المجال المغناطيسي الناشيء من تيار كهربي

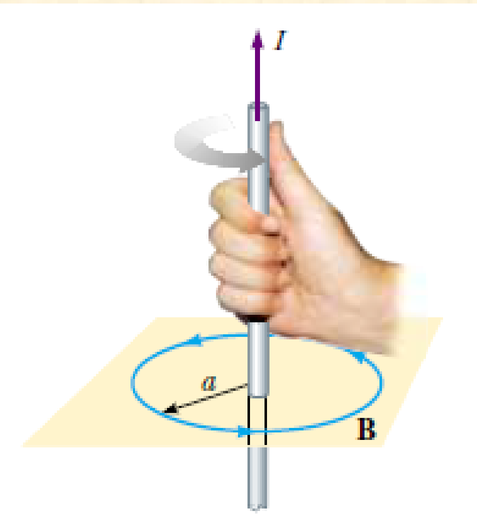
حيث μ_o تسمى سماحية الفراغ $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} T.m/A$

$$\Rightarrow B = \frac{\mu_O I}{4\pi}\int\frac{ds \times \hat{r}}{r^2}$$

- اتجاه المجال المغناطيسي الناشيء من تيار كهربي:

باستخدام قاعدة اليمنى

- خصائص المجال المغناطيسي الناشيء عن تيار كهربي:



1- المتجه dB عمودي على كل من ds (التي تشير الى اتجاه التيار) وعلى متجه الوحدة r̂ الذي يتجه من ds الى p.

2- مقدار dB يتناسب عكسيا مع r^2, حيث r هي المسافة من ds الى p.

3- مقدار dB يتناسب مع التيار ومقدار طول العنصر ds.

4- مقدار dB يتناسب مع sinѳ, حيث ѳ هي الزاوية بين ds و r̂.

ح. العاشور

مصادر المجال المغناطيسي

- ملاحظة:

قانون بيو وسافار صالح للاستخدام في حالة حركة شحنات في الفراغ مثل الحزمة الالكترونية في أجهزة التلفاز.

حيث تمثل ds طول عنصر صغير من الفراغ الذي تمر فيه الشحنات.

- مقارنة بين قانون بيو وسافار وقانون كولوم:

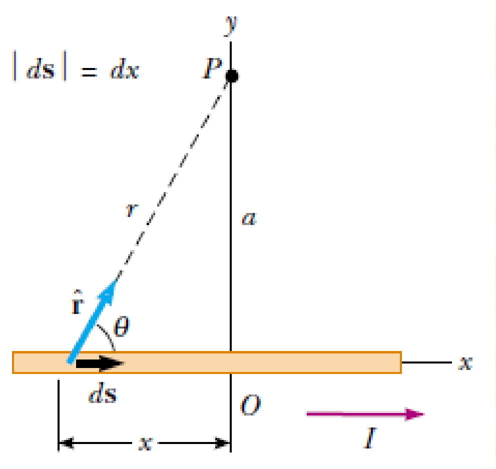
- ينشأ المجال المغناطيسي من تيار كهربي بينما ينشأ المجال الكهربي من شحنة نقطية.

- يتغير مقدار المجال المغناطيسي عكسيا مع مربع المسافة ويتغير مقدار المجال الكهربي عكسيا مع مربع المسافة.

- يكون اتجاه المجال المغناطيسي عموديا على كلا من ds و $\hat{r}$ بينما يكون اتجاه المجال الكهربي قطريا.

مثال 1.27 المجال المغناطيسي المحيط بموصل رفيع مستقيم

افرض سلكا رفيعا مستقيما يحمل تيار I ويقع على المحور x. احسب مقدار واتجاه المجال المغناطيسي عند النقطة p نتيجة هذا التيار.



- المقدار:

1

$$B=\frac{\mu_O I}{4\pi}\int\frac{ds\times\hat{r}}{r^2}\Rightarrow B=\frac{\mu_O I}{4\pi}\int\frac{dx\times\hat{r}}{r^2}\Rightarrow B=\frac{\mu_O I}{4\pi}\int\frac{dx\sin\theta}{r^2}\hat{k}$$

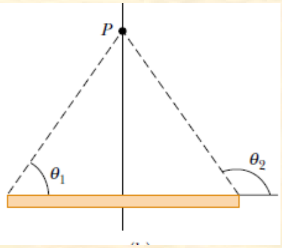
$$r=\frac{a}{\sin\theta}=a\csc\theta\ ,x=\frac{-a}{\tan\theta}=-a\cot\theta\ \Rightarrow dx=a\csc^2\theta d\theta$$

لابد من توحيد المتغيرات اما بدلالة x او بدلالة الزاوية ө

2

$$\Rightarrow B=\frac{\mu_O I}{4\pi}\int\frac{a\csc^2\theta\sin\theta d\theta}{a^2\csc^2\theta}\Rightarrow B=\frac{\mu_O I}{4\pi a}\int_{\theta_1}^{\theta_2}\sin\theta d\theta\ =\frac{\mu_O I}{4\pi a}\left[-\cos\theta\right]_{\theta_1}^{\theta_2}\ =\frac{\mu_O I}{4\pi a}(\cos\theta_1-\cos\theta_2)$$

- عندما يكون السلك لانهائي الطول ومستقيم فان $\theta_1=0$ و $\theta_2=\pi$:



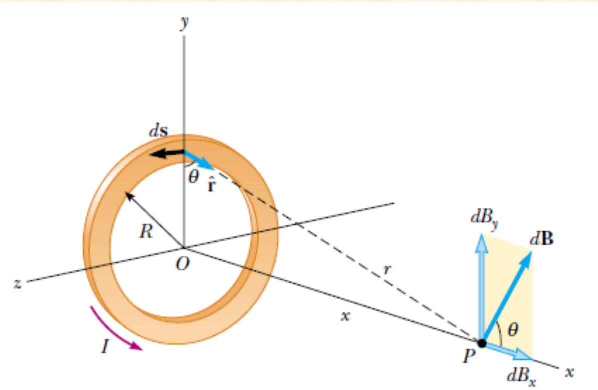
$$\Rightarrow B=\frac{\mu_O I}{2\pi a}$$ ⟶ المجال المغناطيسي عند مسافة a من سلك مستقيم طويل يحمل تيار I

ملاحظة:

يتناسب مقدار المجال المغناطيسي الناتج عن تيار يسري في سلك مستقيم لانهائي الطول طرديا مع شدة التيار وعكسيا مع بعد النقطة عن السلك.

مثال 3.27 المجال المغناطيسي على محور حلقة دائرية مغلقة

افرض سلك على شكل دائرة نصف قطرها R وتقع في المستوى yz وتحمل تيارا ثابتا I. احسب المجال المغناطيسي عند النقطة P تقع على المحور وعلى مسافة x من مركز الحلقة.



$$B=\frac{\mu_O I}{4\pi}\int\frac{ds\times\hat{r}}{r^2}\Rightarrow B=\frac{\mu_O I}{4\pi}\oint\frac{ds\times\hat{r}}{r^2}$$

لان الحلقة مغلقة ← التكامل مغلق

لان ds عمودية على r

1

$$\Rightarrow B=\frac{\mu_O I}{4\pi}\oint\frac{ds\hat{r}}{r^2}\Rightarrow B=\frac{\mu_O I}{4\pi}\oint\frac{ds}{r^2}$$

$$\because r=\sqrt{x^2+R^2}\quad\Rightarrow B=\frac{\mu_O I}{4\pi}\oint\frac{ds}{\left(x^2+R^2\right)}$$

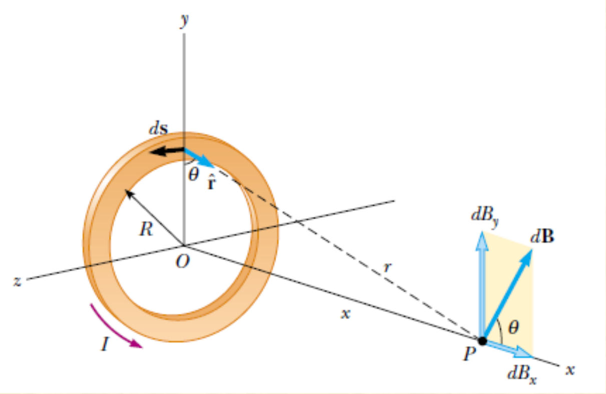
- حيث ان المركبة الصادية للمجال تلاشي بعضها البعض فلن تبقى سوى المركبة السينية B_x :

$$B_x=B\cos\theta\qquad=B\frac{R}{r}\qquad=\frac{BR}{\left(x^2+R^2\right)^{\frac{1}{2}}}\qquad=\frac{\mu_O IR}{4\pi\left(x^2+R^2\right)^{\frac{3}{2}}}\oint ds$$

$$\oint ds=2\pi R$$

$$\Rightarrow B_x=\frac{\mu_O IR^2}{2\left(x^2+R^2\right)^{\frac{3}{2}}}$$

المجال المغناطيسي على محور حلقة دائرية مغلقة



$$B_x = \frac{\mu_O I R^2}{2\left(x^2 + R^2\right)^{\frac{3}{2}}}$$

حالات خاصة:

- المجال المغناطيسي عند مركز الحلقة (x = 0):

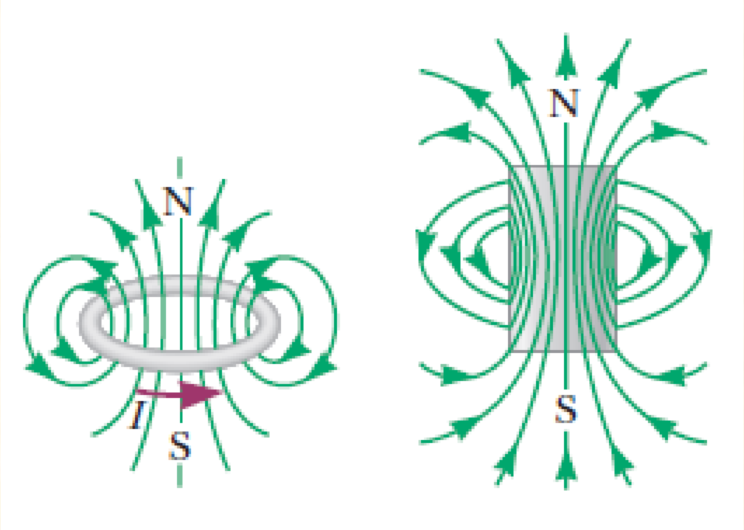
$$B = \frac{\mu_O I}{2R}$$

- المجال المغناطيسي عند نقطة بعيدة جدا عن الحلقة (x>> R):

$$B \approx \frac{\mu_O I R^2}{2x^3}$$

- مقدار المجال المغناطيسي بدلالة العزم المغناطيسي:

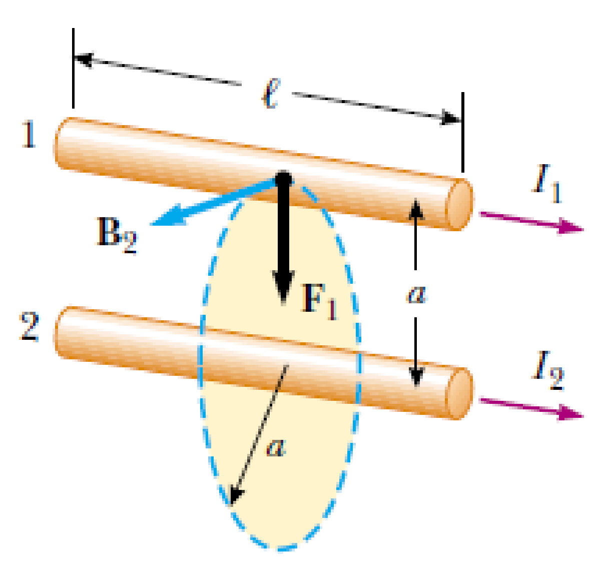
$$\because \mu = IA = I\pi R^2 \qquad \Rightarrow B \approx \frac{\mu_O}{2\pi}\frac{\mu}{x^3}$$



ملاحظة:

تكون خطوط المجال المغناطيسي لحلقة دائرية تحمل تيار متماثلة حول محور الحلقة, وتشبه خطوط المجال المتكونة حول قضيب مغناطيسي.

القوة المغناطيسية بين موصلين متوازيين



- بفرض وجود سلكين طويلين ومستقيمين ومتوازيين تفصلهما مسافة **a** ويحملان تيارين I_1 و I_2 في نفس الاتجاه.

- القوة المغناطيسية المبذولة من السلك الاول نتيجة المجال المغناطيسي الناشئ من السلك الثاني:

$$B_2 = \frac{\mu_o I_2}{2\pi a}$$

$$F_1 = I_1 \ell B_2 = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi a}\ell$$

- وهذه القوة تساوي في المقدار القوة المغناطيسية المبذولة من السلك الثاني نتيجة المجال المغناطيسي الناشئ من السلك الاول وتعاكسها في الاتجاه.

- الموصلان المتوازيان الحاملان لتيارات في نفس الاتجاه يجذب كل منهما الاخر.

- الموصلان المتوازيان الحاملان لتيارات مختلفة الاتجاه ينافر كل منهما الاخر.

- القوة المغناطيسية لوحدة الاطوال:

$$\frac{F_B}{\ell} = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2\pi a}$$

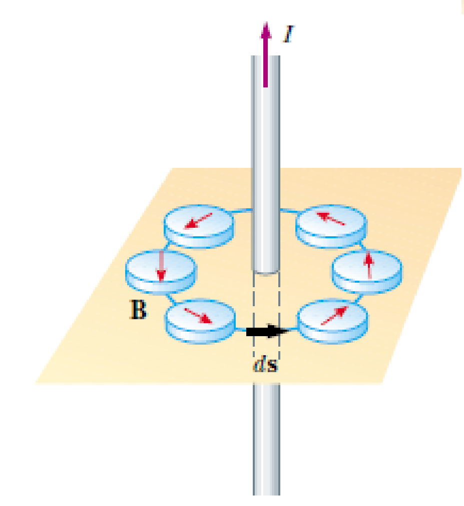
تعريف الامبير:

عندما يكون مقدار القوة لوحدة الاطوال بين سلكين طويلين متوازيين يحملان تيارا متساويا وتفصلهما مسافة **1m** يساوي **$2\text{x}10^{-7}$ N/m** يكون التيارفي كلا من السلكين مقداره **1A**.

تعريف الكولوم:

عندما يحمل موصلا تيارا ثابتا مقداره **1A** يكون مقدار الشحنة المتدفقة خلال مساحة المقطع من الموصل في الثانية هي **1C**

قانون أمبير



(b)

$$B.ds = Bds\cos\theta = Bds$$

$$,\oint B.ds = \oint Bds \;= B\oint ds \;= \frac{\mu_o I}{2\pi r}(2\pi r) \;= \mu_o I$$

$$\Rightarrow \oint B.ds = \mu_o I \longrightarrow$$ قانون أمبير

قانون أمبير:

التكامل الخطي لحاصل الضرب B.ds حول أي مسار مغلق يساوي $\mu_o I$ حيث I هو التيار الكلي الذي يمر بأي سطح محدد بالمسار المغلق.

ملاحظة:

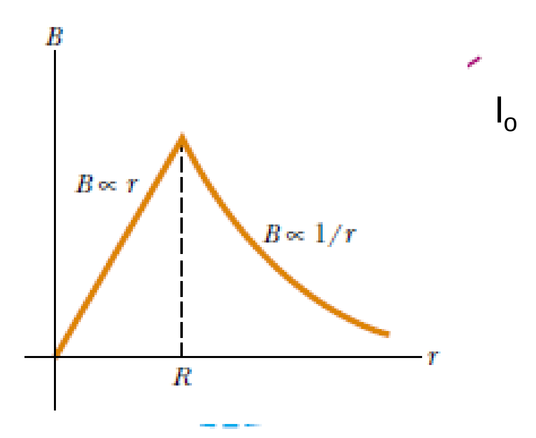
- يصف قانون أمبير نشأة المجال المغناطيسي من أي تيار ثابت (لابد ان يكون التيار متماثل).

- يمكن استخدام قانون أمبير لحساب المجال المغناطيسي لتوزيع شحني منتظم.

مثال 4.27 المجال المغناطيسي الناشئ عن سلك طويل يحمل تيارا

سلك طويل مستقيم نصف قطره R يحمل تيارا ثابتا I_o ومنتظما خلال مساحة المقطع.

- احسب المجال المغناطيسي عند مسافة r من مركز السلك في المناطق:



1- r ≥ R:

- لان B موازية لـ ds فان:

$$\oint B.ds = \oint Bds\cos\theta = \oint Bds$$

- لان B منتظمة فان:

$$\oint B.ds = B\oint ds$$

قانون أمبير:

$$\oint B.ds = \mu_o I_o \Rightarrow B\oint ds = \mu_o I_o \Rightarrow B(2\pi r) = \mu_o I_o \Rightarrow B = \frac{\mu_o I_o}{2\pi r}$$

2- r < R:

$$B(2\pi r) = \mu_o I$$

لان التيار منتظم خلال مساحة المقطع فان:

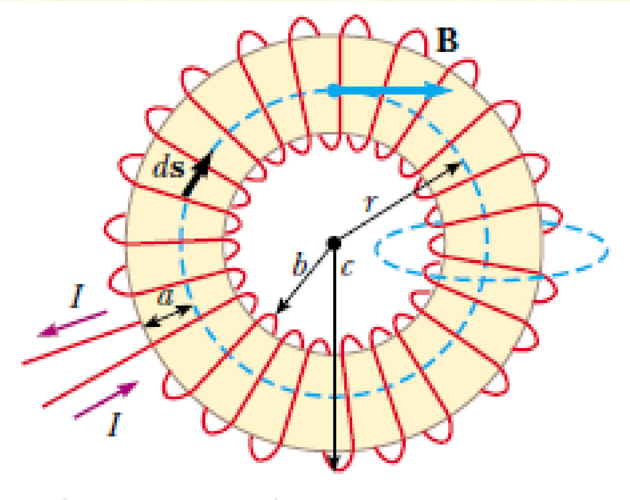
$$\frac{I}{I_o} = \frac{\pi r^2}{\pi R^2}$$

$$\Rightarrow I = \frac{r^2}{R^2} I_o \Rightarrow B(2\pi r) = \mu_o \frac{r^2}{R^2} I_o \Rightarrow B = \left(\frac{\mu_o I_o}{2\pi R^2}\right) r$$

- عند مركز السلك (r = 0) يكون المجال المغناطيسي مساويا للصفر B = 0.

مثال 5.27 المجال المغناطيسي الناشئ عن ملف حلقي

الملف الحلقي يستخدم لتوليد مجال مغناطيسي منتظم في بعض المناطق المغلقة. ويتكون من سلك ملفوف حول حلقة من مادة غير موصلة (طارة), فإذا كان عدد اللفات المغلقة للملف N. احسب المجال المغناطيسي في المنطقة التي تشغلها الطارة وعلى مسافة r من المركز.-



قانون أمبير: $\oint B.ds = \mu_o NI$

- لان B موازية لـ ds فان: $\oint B.ds = \oint Bds$

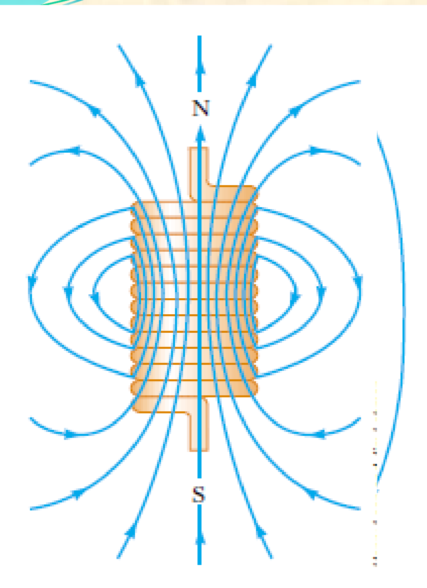
- لان B منتظمة على الدائرة فان: $\oint B.ds = B\oint ds$

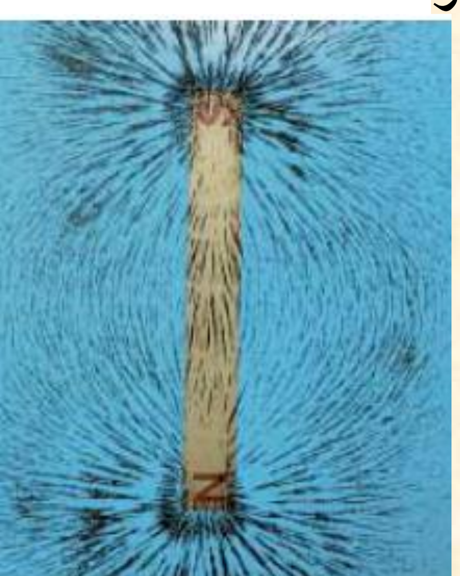
$$\Rightarrow B\oint ds = \mu_o NI \quad \Rightarrow B(2\pi r) = \mu_o NI \quad \Rightarrow B = \frac{\mu_o NI}{2\pi r}$$

ملاحظات:

- تتغير B عكسيا مع r مما يعني ان المجال المغناطيسي غير منتظم في المنطقة التي تشغلها الطارة.
- اذا كانت r كبيرة مقارنة مع نصف قطر مساحة مقطع الطارة (a) يكون المجال تقريبا منتظم داخل الطارة.

المجال المغناطيسي الناشئ عن ملف لولبي





- الملف اللولبي:

هو سلك طويل ملفوف على شكل حلقات لولبية, كما بالشكل.

- تكون خطوط المجال المغناطيسي داخل الملف اللولبي متوازية ومنتظمة تقريبا (مجال منتظم وقوي), بينما يكون المجال في خارج الملف ضعيفا.

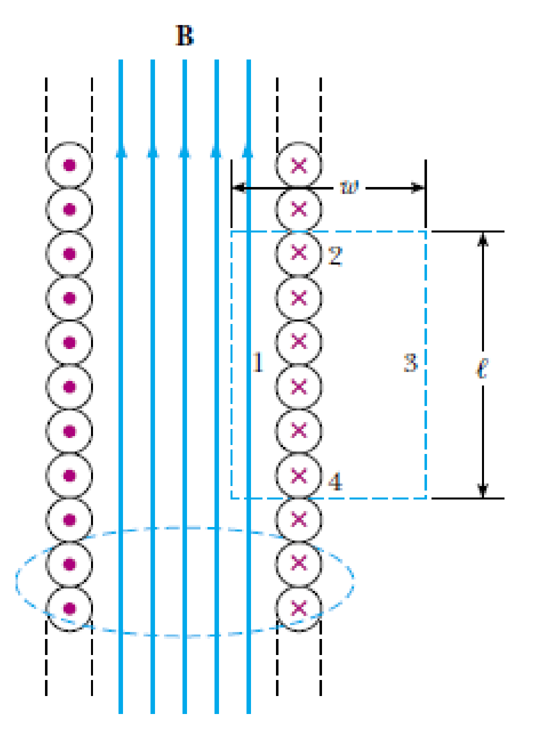
- اذا كانت حلقات الملف اللولبي متقاربة جدا وكان طول الملف محدود تنتج خطوط مجال مشابه لخطوط المجال الناتجة عن قضيب مغناطيسي حيث تعمل احدى نهايتي الملف اللو كقطب شمالي والنهاية الاخرى كقطب جنوبي.

- الملف اللولبي المثالي: هو الملف الذي تقترب لفاته من بعضها ويكون طوله اكبر بكثير من نصف قطر اللفة حيث يصبح المجال الخارجي صفر والداخلي تزداد قيمته ويصبح منتظما.

حساب المجال المغناطيسي الناشئ عن الملف اللولبي المثالي باستخدام قانون أمبير

- لان الملف اللولبي مثالي يكون B في الفرع الداخلي منتظم وموازي للمحور.

بينما يكون المجال المغناطيسي الخارجي صفر.



- بتطبيق قانون امبير على المسار المستطيل:

$$\oint B.ds = \mu_o NI \Rightarrow \int_{path1} B.ds = \mu_o NI \Rightarrow B \int_{path1} ds = \mu_o NI$$

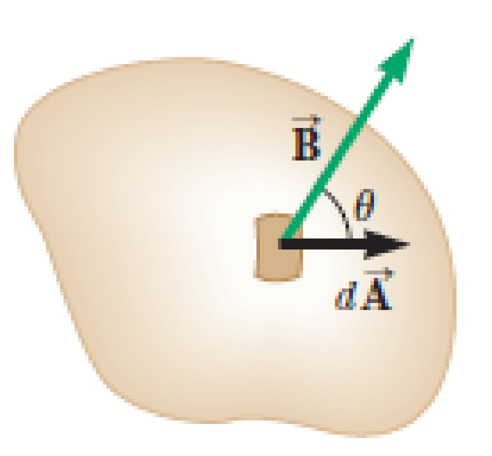
$$\Rightarrow B\ell = \mu_o NI \quad \Rightarrow B = \mu_o nI$$

حيث n هو عدد اللفات في وحدة الطول: $n = \dfrac{N}{\ell}$

ملاحظة:

هذه المعادلة صالحة فقط في النقاط البعيدة عن النهايتين للملف اللولبي الطويل جدا. اما النهايتين فيكون المجال المغناطيسي اصغر من المقدار الذي تعطيه المعادلة.

الفيض المغناطيسي



الفيض المغناطيسي Φ_B: $\varphi_B = \int B.dA$

وحدة قياس الفيض المغناطيسي:

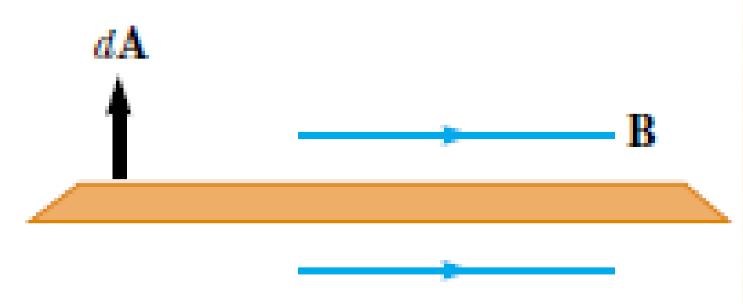
الويبر wb ($T.m^2$)

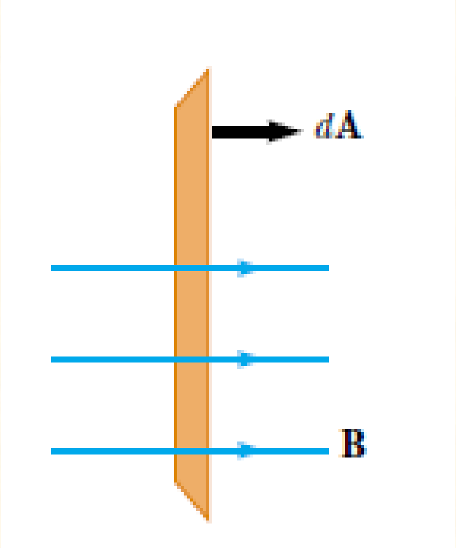
حالات خاصة:

1- إذا كانت المساحة الكلية معلومة A ← $\varphi_B = B.A = BA\cos\theta$

2- إذا المجال المغناطيسي موازيا للمستوى ($\theta = 90^o$) ← $\varphi_B = 0$

3- إذا المجال المغناطيسي عموديا على المستوى ($\theta = 0^o$) ← $\varphi_B = BA$ (أقصى قيمة)





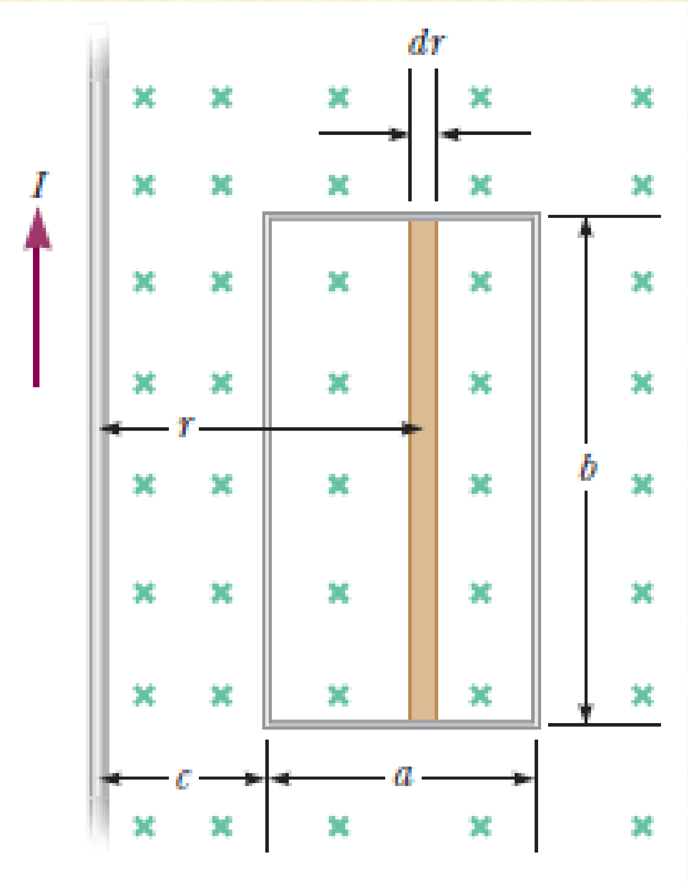
مثال 6.27: الفيض المغناطيسي خلال دائرة مغلقة على شكل مستطيل

دائرة مستطيلة عرضها a وطولها b بالقرب من سلك طويل يحمل تيارا I. المسافة بين السلك والجانب المغلق للدائرة هي c وكان السلك موازيا للجانب الاطول من الدائرة. أوجد الفيض الكلي خلال الدائرة نتيجة التيار بالسلك.

$$\varphi_B = \int B.dA$$

- المجال المغناطيسي الناشيء عن سلك عند نقطة تبعد مسافة r منه: $B = \frac{\mu_o I}{2\pi r}$

- لان B موازية لـ dA فان: $\varphi_B = \int B dA$



$$\Rightarrow \varphi_B = \int \frac{\mu_o I}{2\pi r} dA = \int \frac{\mu_o I}{2\pi r} b dr = \frac{\mu_o I b}{2\pi} \int \frac{dr}{r}$$

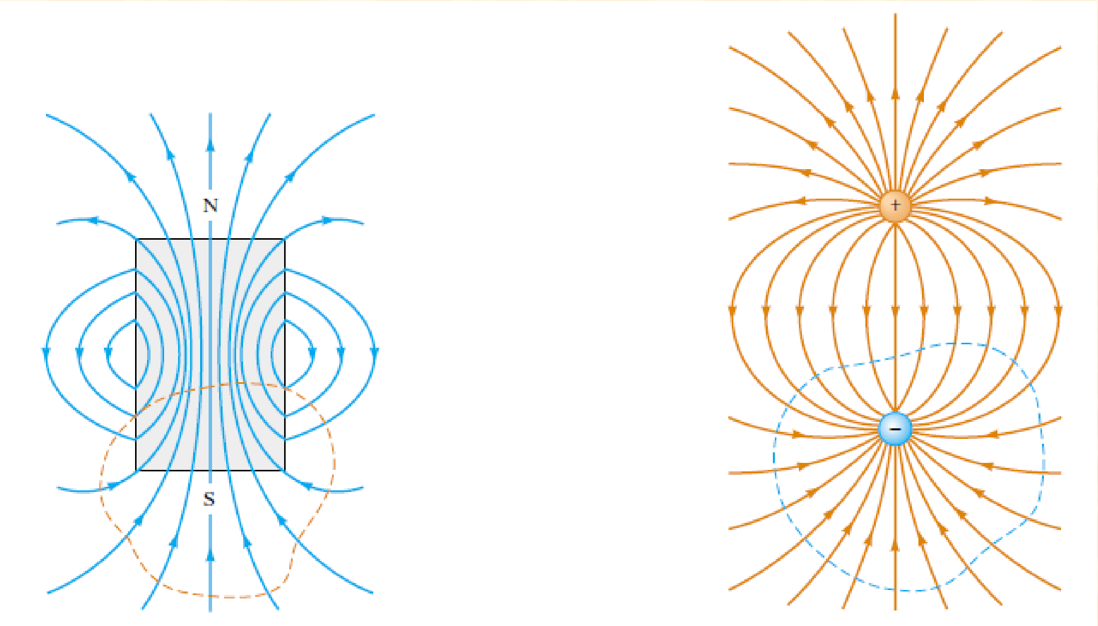
$$= \frac{\mu_o I b}{2\pi} \int_c^{a+c} \frac{dr}{r} = \frac{\mu_o I b}{2\pi} [\ln(r)]_c^{a+c} = \frac{\mu_o I b}{2\pi} \ln\left(\frac{a+c}{c}\right)$$

$$= \frac{\mu_o I b}{2\pi} \ln\left(1 + \frac{a}{c}\right)$$

قانون جاوس في المغناطيسية

الفيض المغناطيسي الكلي خلال أي سطح مغلق يكون دائما صفرا.

$$\oint B.dA = 0$$ ⟶ قانون جاوس في المغناطيسية



مجال مغناطيسي

$\varphi_B = 0$

مجال كهربي

$\varphi_E \neq 0$

لماذا يكون الفيض المغناطيسي الكلي خلال أي سطح مغلق دائما صفرا؟

لأنه لا يوجد حتى الآن قطب مغناطيسي منفرد.