جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الانبار – كلية العلوم
قسم الفيزياء

اسم المادة: الفيزياء العامة

المستوى الدراسي: الدراسات الاولية (البكالوريوس)

المرحلة: الاولى

المحاضرة رقم (9)

اسم المحاضرة: الكهربائية Electricity

مدرس المادة

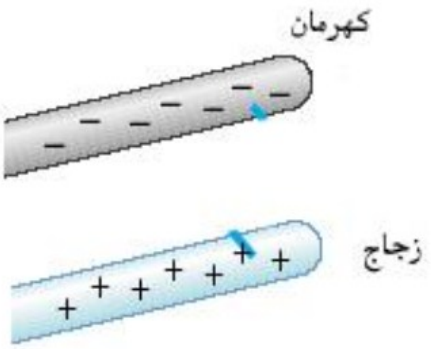
م. احمد مظفر احمد

الكهربائية Electricity

الكهربية الساكنة والتيار الكهربي من علوم الفيزياء الاساسية ولها العديد من التطبيقات في حياتنا العملية مثل المصابيح الكهربية والمولدات الكهربية والبطاريات الجافة والألواح الشمسية وماكنات التصوير وطابعات الليزر، ولدراسة هذا العلم سوف نقوم بشرح المفاهيم الاساسية التي يعتمد عليها هذا العلم، وتتلخص تلك المفاهيم في مفهوم الشحنة الكهربية والمجال الكهربي والفيض الكهربي والجهد الكهربي والمجال المغناطيسي ، سنقوم أيضا بدراسة بعض التطبيقات الاساسية مثل المكثف الكهربي والتيار الكهربي المستمر والمقاومات الكهربية وتحليل الدوائر الكهربية

1-9 الشحنة والمادة Charge and Matter

عرف الإنسان الكهرباء منذ القدم، فقد لاحظ ثيلز (Thales) عام 600 قبل الميلاد أن قطعة من الكهرمان (Amber) تجذب إليها قطعاً من القش إذا دلكت بقطعة من الملابس ، ولذلك يمكن القول أن الكهرمان قد اكتسب شحنة كهربية.



تعتمد نوع هذه الشحنة على طبيعة المادة التى نقوم بدلكها. بمعنى أنه فى حالة دلك مادة الكهرمان بفرو الحيوان فإنها تكتسب شحنات سالبة. أما فى حالة مادة الزجاج المدلوك بالحرير فتنتقل الشحنات السالبة للحرير ويصبح قضيب الزجاج موجب الشحنة.

الشحنة Charge

تتكون المادة من ذرات، و تتكون الذرات بدورها من إلكترونات و بروتونات و نيوترونات. ولكل من هذه الجسيمات خواصها المميزة. ومن خواص هذه الجسيمات خاصية الكتلة (mass) و التي تحدد قصور (inertia) أو عجز هذه الجسيمات عن الحركة من تلقاء نفسها. وهناك خاصية أخرى لهذه الجسيمات هي الشحنة (charge).

ويرمز لها بالرمز q (أو Q)، و تقاس بالكولوم (Coulomb) ويرمز للكولوم بالرمز C. ومثل ما تمكن خاصية الكتلة للأجسام من جذب بعضها بعضاً (كالجذب المتبادل بين الأرض و القمر)، فإن خاصية الشحنة للمادة تمكن الأجسام من التأثير بعضها على بعض. والشحنة قد تكون سالبة و قد تكون موجبة، وبالتالي فإن القوة الناتجة عن وجود خاصية الشحنة في المادة قد تكون قوة جذب أو قوى تنافر.ومن هنا يمكن استنتاج قاعدة التجاذب والتنافر:

تتجاذب الشحنات المختلفة وتتنافر الشحنات المتشابهة

ومن الأمثلة على بعض الشحنات الأساسية الهامة ، هي شحنة الإلكترون (e) ومقداراها 1.6×10^{-19} كولوم. وهي أصغر مقدار للشحنة في الكون وتتواجد الشحنات على الأجسام المادية المختلفة بكميات مساوية لمضاعفات شحنة الإلكترون، أي على شكل Ne حيث N عدد صحيح. فمثلاً يمكن أن تتواجد شحنة على جسم ما بمقدار $2e$ أو $10e$ أو 1.6×10^{2} e، بيد أنها لا يمكن أن تتواجد بمقدار $1.5e$ أو $25.3e$ ومن هنا فإنه يقال على الشحنة بأنها مكماة (Quantized).

Particle الجسيم	Symbol الرمز	Charge الشحنة	Mass الكتلة
Proton البروتون	p	1.6×10^{-19}C	1.67×10^{-27}K
Neutron النيوترون	n	0	1.67×10^{-27}K
Electron الالكترون	e	-1.6×10^{-19}C	1.67×10^{-31}K

ويجب أن ننوه هنا أن هناك نوعاً آخر من القوى التي تربط مكونات النواة مع بعضها البعض وهى القوى النووية، ولولاها لتفتت النواة بواسطة قوى التجاذب بين الإلكترون والبروتون.

تصنيف المواد:

تقسم المواد إلى ثلاثة أصناف، وذلك حسب سماحيتها للشحنات بالحركة خلالها:

(1) الموصلات (Conductors)

وهي المواد التي تمتلك أعدادا كبيرة من الالكترونات الحرة وتسمح للشحنات بالحركة خلالها، وذلك تحت تأثير قوة خارجية. ومن الأمثلة عليها: جميع المعادن (كالنحاس والحديد والذهب والفضة ...) وجميع محاليل الأملاح (كمحلول الطعام ومحلول كبريتات النحاس ...).

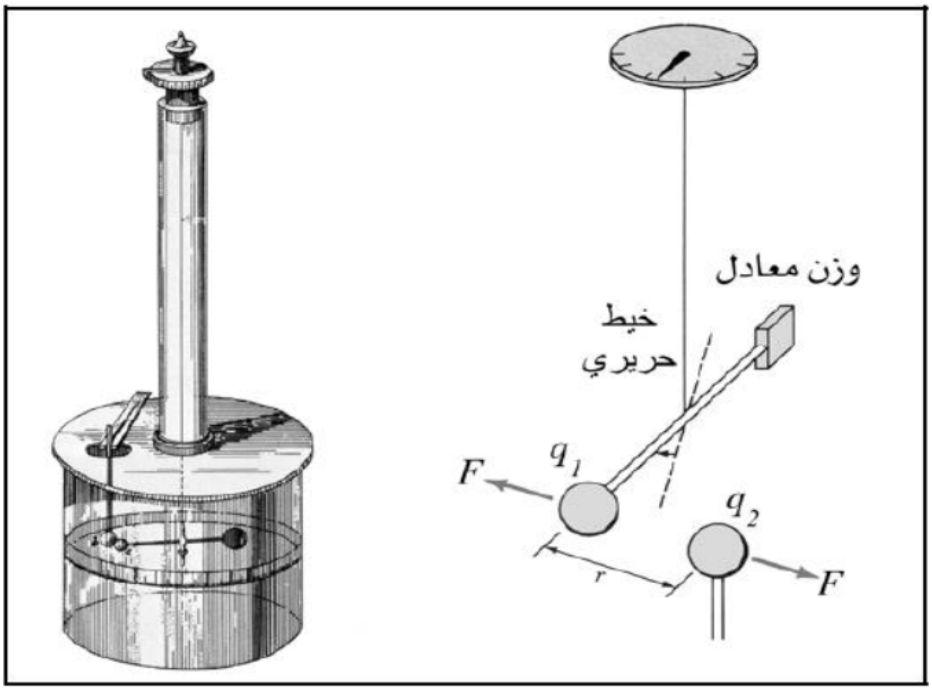
(2) المواد العازلة (Insulators)

وهي المواد التي لا تمتلك جسيمات مشحونة حرة ولا تسمح، عندما تكون نقية، للشحنات بالحركة خلالها، ومن الأمثلة عليها، الزجاج والمطاط والخشب.

(3) شبه الموصلات (Semiconductors):

وهي المواد المتوسطة، بين العازلات والموصلات، في سماحيتها للشحنات بالحركة من خلالها. ومن الأمثلة عليها : السيليكون و الجرمانيوم. ويمكن إضافة بعض الشوائب كالبورون أو الفوسفور إلى شبه الموصلات لزيادة توصيلها.

2-9 قانون كولوم



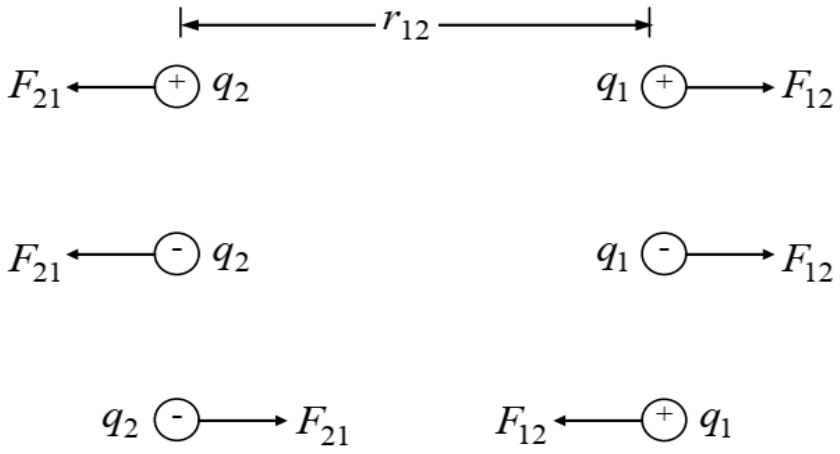
أجرى العالم الفرنسى كولوم فى عام 1785 م دراسة تتعلق بالقوى الكهربية بين الشحنات واستنتج بالتجربة أن القوة بين شحنتين نقطيتين مثل q_1, q_2 تتناسب طردياً مع قيمة كل من الشحنتين و عكسياً مع مربع المسافة بينهما r_{12}. أي يمكن كتابة القوة المتبادلة بين الشحنتين على النحو التالي:

$$F = K\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}$$

حيث K مقدار ثابت يعتمد على نوع الوسط المحيط بالشحنتين ويساوي في حالة الفراغ 9×10^9 $\mathrm{N.m^2/C^2}$. و يكتب الثابت K في كثير من الأحيان على النحو التالي:

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\times10^9\,\mathrm{N.m^2/C^2}$$

حيث يمثل ε_0 ثابت نفاذية الفراغ للتأثير الكهربائي، ويساوي 8.85×10^{-12} $\mathrm{C^2/N.m^2}$. وعند وجود وسط آخر غير الفراغ بين الشحنتين، يستعاض عن ε_0 بثابت نفاذية ذلك الوسط للتأثير الكهربائي. باستخدام النظام العالمي للوحدات (SI) فإن القوة تقاس بالنيوتن (N)، و المسافة (r_{12}) بالمتر(m)، و الشحنة بالكولوم (C). وعندما تكون الشحنتان متشابهتين (موجبة-موجبة أو سالبة – سالبة) تكون القوة بينهما قوى تنافر. وإذا كانت الشحنتان مختلفتين (موجبة –سالبة) تكون القوة بينهما قوى تجاذب كما هو موضح بالشكل التالي :



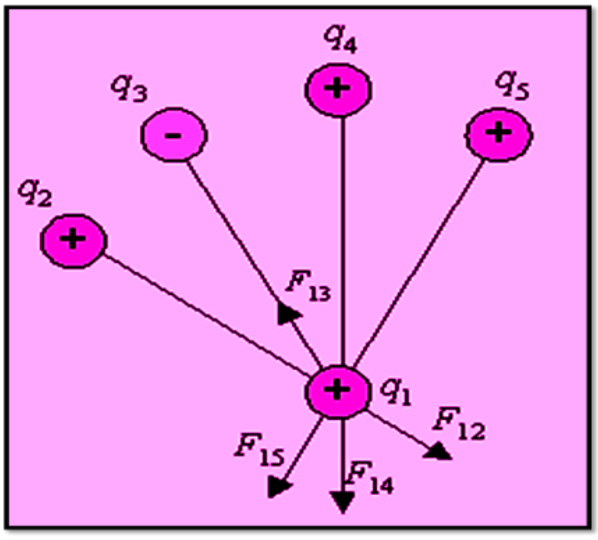
نص قانون كولوم

" القوى الناشئة بين شحنتين تتناسب طرديا مع حاصل ضرب الشحنتين و عكسيا مع مربع المسافة بين الشحنتين"

ملحوظة

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 (الشحنة q_1 مثلاً) تعطى بجمع متجهات القوى بين هذه الشحنة وكلا من الشحنات الأخرى

$$\overrightarrow{F_1} = \overrightarrow{F_{12}} + \overrightarrow{F_{13}} + \overrightarrow{F_{14}}$$



مثال (9- 1)

كم شحنة نواة الكربون ؟

الحل

تحتوي نواة ذرة الكربون على 6 بروتونات اذا شحنتها

$$q = 6 \times 1.6 \times 10^{-19} = 9.6 \times 10^{-19} C$$

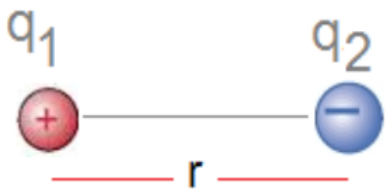
مثال (9- 2)

شحنت كرتان من نخاع البيلسان بحيث تحمل الاولي شحنة $-4.3\ \mu C$ والثانية شحنة $+6\mu C$ فإذا وضعت الكرتان على مسافة $0.12m$:

ا) ما نوع القوة المتبادلة بين القوتين

ب) مقدار القوة واتجاه التي تؤثر على الشحنة الاولي.

الحل



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

$$= \frac{9 * 10^9 * 6 * 10^{-6} * 4.3 * 10^{-6}}{0.12^2}$$

$$= 16.1N$$

اتجاه القوة يكون على يسار q_1

مثال (9- 3)

يبعد البروتون عن الالكترون في ذرة الهيدروجين مسافة $5.3\ x10^{-11}\ m$ تقريبا فأوجد مقدار القوة الكهروستاتيكية ومقدار قوة الجذب بينهما ؟ أيهما أكبر؟

الحل

$$F_e = k_e\frac{|e||-e|}{r^2} = (8.99 \times 10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2})\frac{(1.60 \times 10^{-19}\ \mathrm{C})^2}{(5.3 \times 10^{-11}\ \mathrm{m})^2}$$

$$= \boxed{8.2 \times 10^{-8}\ \mathrm{N}}$$

$$F_g = G\frac{m_e m_p}{r^2}$$

$$= (6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N\cdot m^2/kg^2}) \times \frac{(9.11 \times 10^{-31}\ \mathrm{kg})(1.67 \times 10^{-27}\ \mathrm{kg})}{(5.3 \times 10^{-11}\ \mathrm{m})^2}$$

$$= \boxed{3.6 \times 10^{-47}\ \mathrm{N}}$$

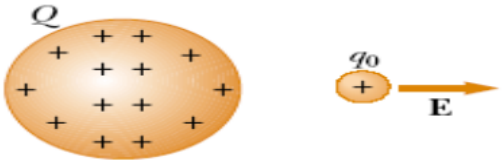
3-9 المجال الكهربائي The Electric Field

المقصود بمجال أي شيء هو نفوذ أو تأثير ذلك الشيء. فإذا قلنا أن شيئاً موجود في مجال شيء آخر، فهذا يعني أن الشيء الأول خاضع لنفوذ و تأثير الشيء الثاني (المنتج لهذا المجال). ولذلك يصاحب أى جسم مشحون مجال كهربي يحيط به ويؤثر على أي شحنة تقع داخل حيز هذا المجال بقوة تنافر أو تجاذب حسب نوع هذه الشحنة (موجبة أو سالبة) . وهذا يشبه مجال الجاذبية الأرضية حيث تجذب الأرض إليها الأجسام طالما لم يخرج من نطاق الجاذبية الأرضية. وكذلك مجال المصدر الحراري الذي يؤثر على الأجسام الموجودة فيه، ويشعرها بالدفء والحرارة. ويمكن الكشف عن وجود مجال كهربي عند نقطة ما بوضع جسم مشحون بشحنة موجبة صغيرة q_o وتسمى بشحنة إختبار (test charge) فإذا تأثرت هذه الشحنة بقوة كهربية فهذا يعنى وجود مجال كهربي عندها.

وتعرف شدة المجال الكهربائى E فى نقطة ما بأنها القوة على وحدة الشحنات الموضوعة فى هذا المجال.

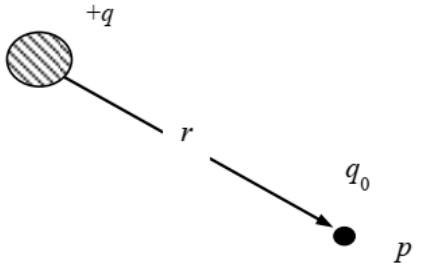
$$E = \frac{F}{q_0} \qquad (1)$$

حيث تمثل E المجال الكهربائي، و F القوة (Force) التي يؤثر بها على شحنة اختبار (test charge) موجبة قيمتها q_0 موضوعة في تلك النقطة. ومن هذا التعريف نرى أنه لحساب شدة المجال الكهربائي E عند نقطة ما، فإنه يمكن تخيل وجود شحنة موجبة q_0 في تلك النقطة، ثم حساب القوة التي يؤثر المجال بها على هذه الشحنة، ومن ثم توجد قيمة المجال E من المعادلة (1).



ووحدة المجال الكهربائي هي نيوتن لكل كولوم (N/C). ومن خصائص شحنة الاختبار (Test Charge) أنها موجبة و صغيرة جدا.

ولإيجاد المجال الكهربائي E الناتج عن شحنة نقطية q، عند نقطة مثل p تبعد عن الشحنة مسافة r، كما في الشكل. 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.



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

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

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

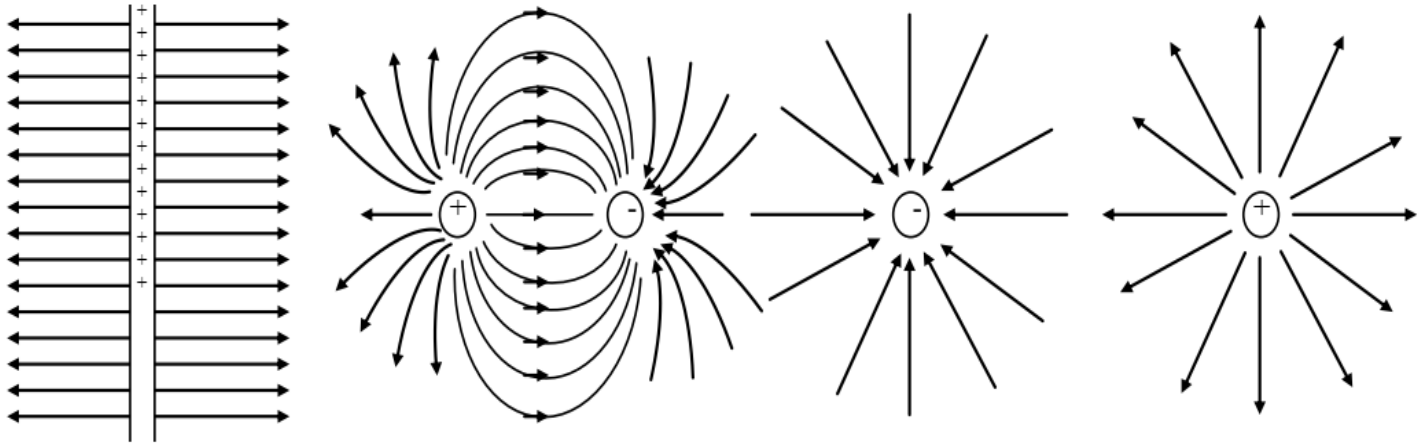
ولإيجاد المجال الكهربائي نعوض قيمة F في المعادلة (1).

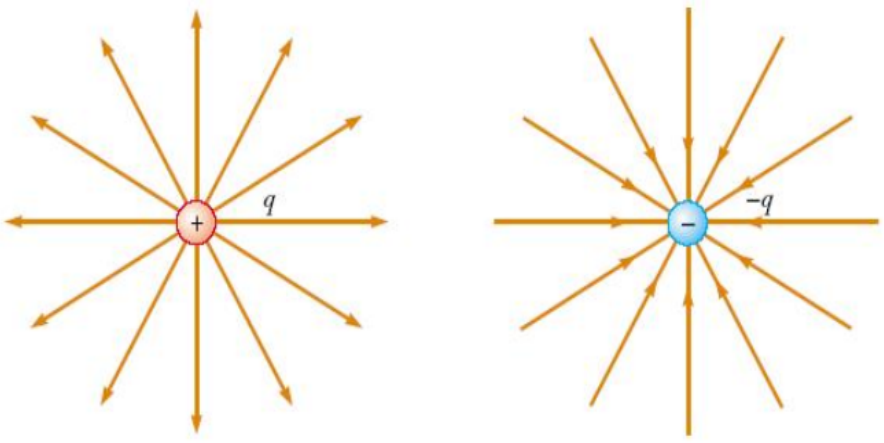
$$E = \frac{F}{q_0} = K\frac{q}{r^2}\hat{r} \qquad (3)$$

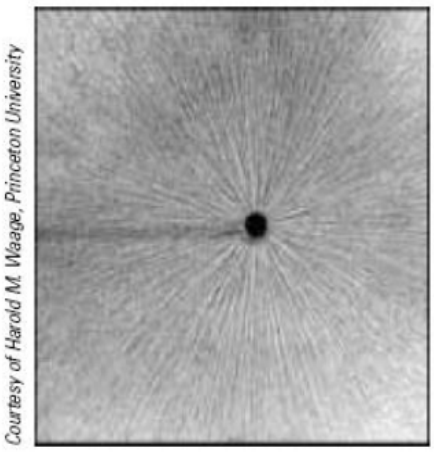
ونلاحظ من هذه المعادلة أن المجال E لا يعتمد على مقدار شحنة الاختبار q_0، وإنما يعتمد على الشحنة q (مصدر المجال)، وعلى المسافة r (التي تحدد مكان النقطة المراد حساب المجال عندها).

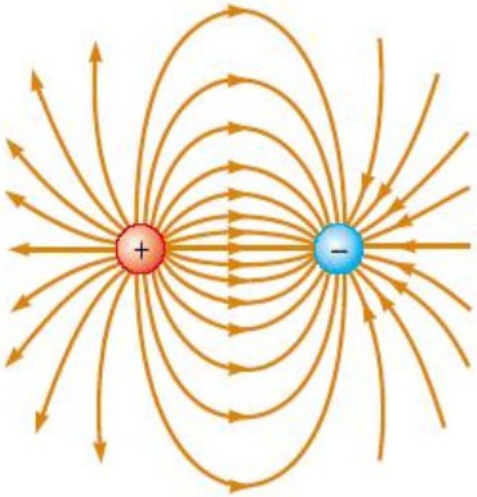
ويعرف اتجاه المجال الكهربي على أنه اتجاه القوى المؤثرة على شحنة الاختبار الموجبة كما يسمى مسار هذه الحركة بخط القوة الكهربية Line of force وهى خطوط وهمية تستخدم لوصف المجال الكهربي مقداراً واتجاهاً.

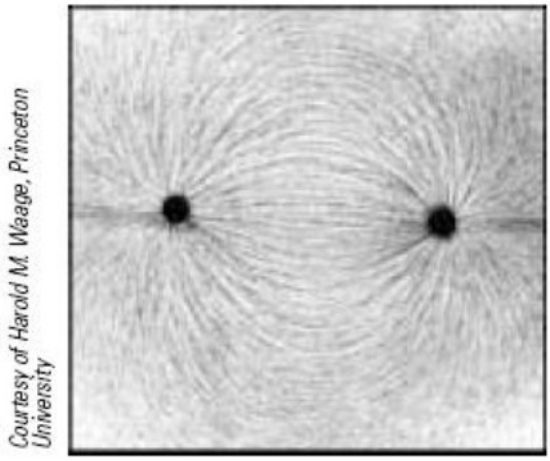
ويمثل الشكل التالي بعض خطوط القوى حول شحنة موجبة حيث نرى أن خطوط المجال تبدأ منها أى تكون اتجاه الخطوط خارجة من الشحنة الموجبة . وبالنسبة للشحنة السالبة تكون خطوط القوى متجة إلى الشحنة السالبة.

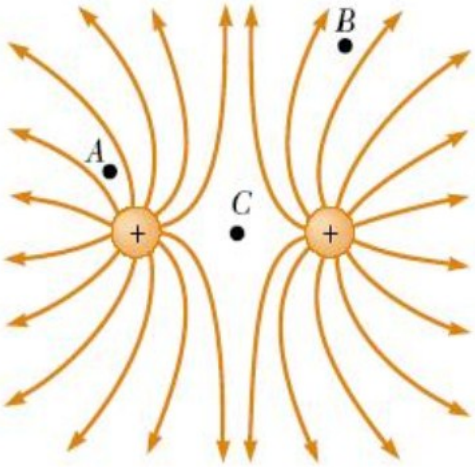


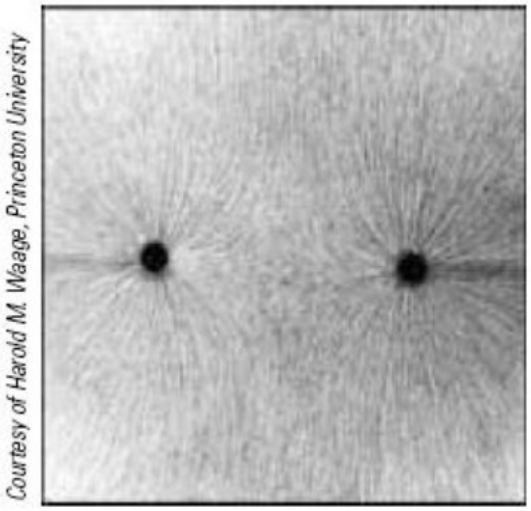












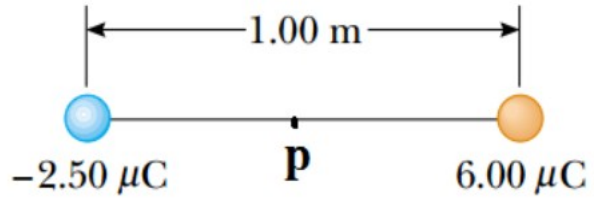
وفي حالة صفيحة طويلة منتظمة الشكل مشحونة بشحنة موجبة فإن خطوط القوى تكون متعامدة على مستوى الصفيحة ومتوازية مع بعضها البعض وتكون قيمة المجال E واحدة لكل النقاط القريبة من الصفيحة.

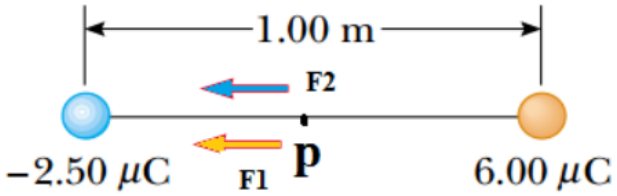
وفي حالة وجود شحنتين موجبة وسالبة يكون المجال عند أى نقطة محصلة المجالين الناشئين عن الشحنتين واتجاه يمثل المماس لخط القوى الكهربية.

ويأخذ المجال الكهربي نفس اتجاه القوة إذا كانت الشحنة المتأثرة موجبة أما إذا كانت الشحنة المتأثرة سالبة فيكون اتجاه المجال عكس اتجاه القوة.

مثال (9- 4)

احسب المجال الكهربي مع تحديد الإتجاه على النقطة P الناتج من شحنتين إحداهما موجبة والأخرى سالبة وقيمة كل منهما كما في الشكل.





$$E_p = E_1 + E_2$$

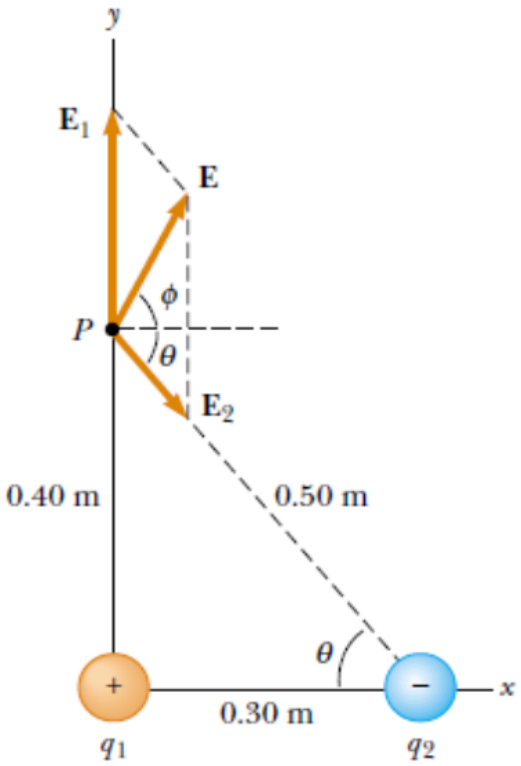
$$= K\frac{q_1}{r_1^2} + K\frac{q_2}{r_2^2} =$$

$$= 9\times10^9 \times\left(\frac{6\times10^{-6}}{(0.5)^2} + \frac{2.5\times10^{-6}}{(0.5)^2}\right)$$

$$= 3*10^5\ N/C$$

مثال (9- 5)

احسب المجال الكهربي الناتج من شحنتين الأولى مقدارها $q_1 = 7.0\ \mu C$ وتقع عند نقطة الأصل والثانية مقدارها $q_2 = -5.0\ \mu C$ وتقع على محور السينات وتبعد مسافة 30 سم من نقطة الأصل. أوجد المجال الكهربي عند النقطة P التي تبعد 40 سم عن نقطة الاصل على محور الصادات.



الحل

اولا نحسب مقداري المجالين E1 الناتج من الشحنة q_1 و E2 الناتج من الشحنة q_2

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

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

$$E_{2\mathrm{x}} = E_2 \cos\theta = \tfrac{3}{5} E_2$$
$$E_{2\mathrm{y}} = -E_2 \sin\theta = -\tfrac{4}{5} E_2$$

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

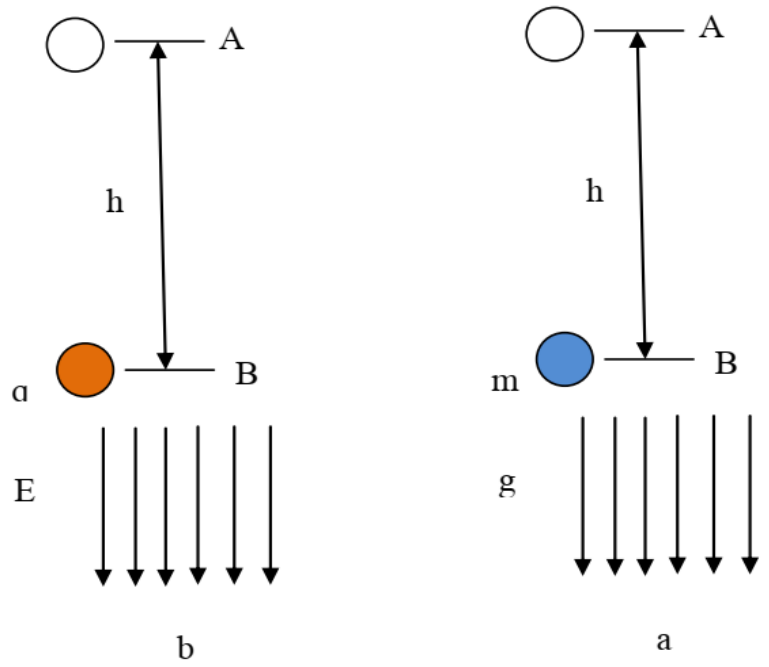
$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 = (1.1 \times 10^5 \hat{\mathbf{i}} + 2.5 \times 10^5 \hat{\mathbf{j}})\ \mathrm{N/C}$$

$E = 2.7 \times 10^5$ N/C. $\quad \phi = \tan^{-1}(E_{\mathrm{y}} / E_{\mathrm{x}})$

E makes an angle ϕ of 66°

4-9 الجهد الكهربائي Electric Potential

عند وضع جسم كتلته m من النقطة B إلى النقطة A في مجال الجاذبية الأرضية g على ارتفاع h من الأرض فإنه يكتسب مقداراً من طاقة الوضع (يساوي mgh)، ويكتسب الجسم طاقة الوضع هذه نتيجة لوضعه بالنسبة للأرض، على ارتفاع h من سطحها (شكل 1-a). و بالمثل عند وضع شحنة كهربائية q في مجال كهربائي E فإن الشحنة تكتسب مقداراً من الطاقة يعتمد على وضعها بالنسبة لما حولها من شحنات، يسمى باسم طاقة الوضع الكهربائية (Electric potential energy) (شكل 1-b). و كما أن الجسم في مجال الجاذبية يحصل على طاقته الوضعية من الشغل الميكانيكي الذي بذل في رفعه إلى مكانه على ارتفاع h، فإن الشحنة كذلك تحصل على طاقتها الوضعية من الشغل المبذول في تحريكها ووضعها في مكانها داخل المجال الكهربائي. ومثلما يتحرك الجسم محولاً طاقته الوضعية إلى طاقة حركية عندما يتحرك حراً في مجال الجذب الأرضي، فإن الشحنة كذلك تتحرك محولة طاقتها الوضعية إلى حركية في المجال الكهربائي. وتسمى طاقة الوضع الكهربائية التي تمتلكها وحدة الشحنة باسم الجهد الكهربائي (electric potential)، ويرمز للجهد الكهربي بالرمز V.



إذا زال تأثير الشغل المبذول على الجسم فانة سوف يسقط سقوطا حرا عائدا الى وضعة الابتدائى B وبذا تقل طاقة الوضع بالتدريج الى ان تتحول كاملة الى طاقة حركة عند وصول الجسم الى سطح الأرض وعندئذ طاقة الوضع عند اقصى ارتفاع A تساوى طاقة الحركة عند اصطدام الجسم بالأرض B اى (يصبح الفرق في طاقتي الجسم بين النقطتين A&B مساويا للصفر). قياساً على ذلك فإن لكل جسم مشحون موجود فى مجال كهربى طاقة كهربية تنتج عن الشغل المبذول واللازم لتحريك الجسم. مثال: فصل شحنتين متجاذبتين او تقريب شحنتين متباعدتين فى عكس المجالات الكهربية وهذا الشغل يتحول الى طاقة حركة لو ترك الجسم المشحون حرا.

اذا وضعت شحنة اختبار q_o فى مجال كهربى شدتة E فانها سوف تتحرك من نقطة قريبة من الشحنة إلى نقطة أكثر بعداً أي من B إلى A مثلا . بحساب الشغل المبذول بواسطة قوة خارجية (F_{ex}) ضد القوى الكهربية (qE) لتحريك شحنة اختبار q_o من A إلى B بحيث تكون دائما في حالة اتزان أي أن

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

وفيزيائيا نقول أن الشحنة q_o تحركت من مناطق ذات جهد كهربي مرتفع إلى مناطق ذات جهد كهربي منخفض. ولذلك يكون تعريف فرق الجهد الكهربي بين نقطتين A&B واقعتين في مجال كهربي شدته E:

بالشغل الازم لنقل وحدة الشحنات الموجبة بين هاتين النقطتين عكس المجال الكهربى

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

ووحداته Joule/Coulomb = فولت (V)

فرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائي منتظم

اذا كان لدينا مجالاً منتظماً E ونريد أن نجد فرق الجهد بين نقطتين واقعتين في منطقة المجال، كالنقطتين A, B تبعدان عن بعضهما المسافة d فان:

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

وهذة المعادلة تبين العلاقة بين فرق الجهد والمجال الكهربى كحالة خاصة فى حالة وجود مجال كهربى منتظم .

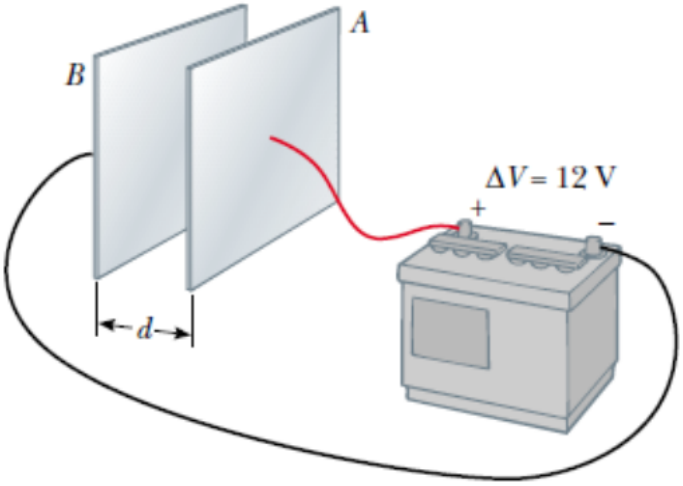
ووحدة قياس المجال هنا (V/m) وهى تساوى (N/C) .

مثال (9- 6)

بطارية 12 فولت وصلت بلوحين كما في الشكل فاذا كانت المسافة بين اللوحين هي 0.3 cm وبافتراض أن المجال الكهربي بين اللوحين منتظما أوجد مقدار المجال الكهربي بين اللوحين؟

الحل:

المجال الكهربي موجه من اللوح A الى اللوح B واللوح الموجب هو الأعلى جهدا من اللوح السالب. فرق الجهد بين الوحين الجهد بين قطبي البطارية، اذا مقدار المجال الكهربي بين اللوحين هو



$$E = \frac{|V_B - V_A|}{d} = \frac{12\ \text{V}}{0.30 \times 10^{-2}\ \text{m}} = 4.0 \times 10^3\ \text{V/m}$$

الجهد الكهربى لنقطة مشحونة

الجهد الكهربي عند نقطة تبعد مسافة قدرها r من نقطة مشحونة بشحنة موجبة هو

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

الجهد الكهربي لمجموعة من الشحنات النقطية

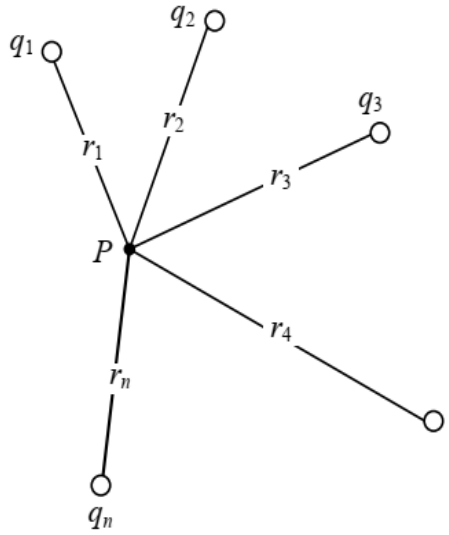
الجهد الناتج عن عدد n من الشحنات النقطية عند نقطة مثل P، كما في الشكل (8)، نحسب الجهد الناتج عن كل شحنة على حدة، متجاهلين وجود الشحنات الأخرى، ثم نجمع قيم هذه الجهود جمعاً جبرياً بسيطاً، لأن الجهد كمية قياسية (غير متجهة)، فنحصل على الجهد الكهربائي عند النقطة المطلوبة.

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

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

أي أن:

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

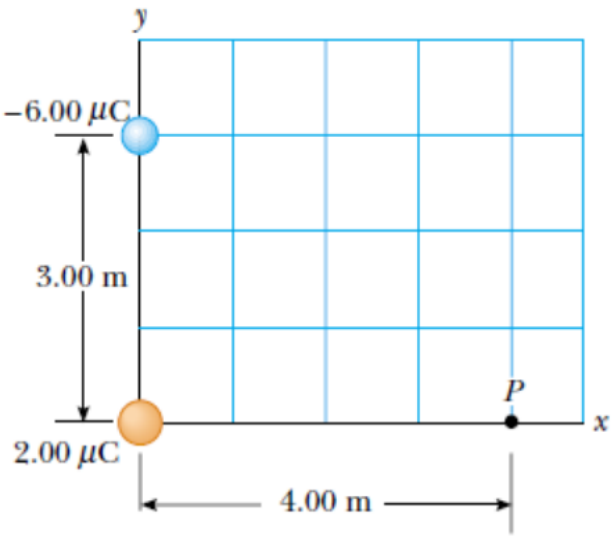


شكل (8)

مثال (9- 7)

شحنة $q1 = 2.0\ \mu C$ موجودة عند نقطة الأصل وشحنة $q2 = 6.0\ \mu C$ موجودة عند $(0, 3.0)\ m$ كما في الشكل، أوجد الجهد الكهربائي الكلي الناتج من هاتين الشحنتين عند النقطة P والتي احداثياتها $(4.0, 0)\ m$.

الحل:



$$V_P = k_e\left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2}\right)$$

$$V_P = (8.99 \times 10^9\ \mathrm{N\cdot m^2/C^2}) \times \left(\frac{2.00 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}}{4.00\ \mathrm{m}} - \frac{6.00 \times 10^{-6}\ \mathrm{C}}{5.00\ \mathrm{m}}\right)$$

$$= -6.29 \times 10^3\ \mathrm{V}$$

5-9 المكثفات Capacitors

المكثفات اجهزة تستخدم فى تخزين الشحنات الكهربية. وعموما فان المكثفات تستخدم فى:

1- ضبط تردد اجهزة الاستقبال الاذاعي ، عمليات التوليف والرنين

2- كمرشحات فى مصادر الامدادات الكهربائيه، فى نظم احداث شرارة الأشتعال في نظام السياره،

3- كمصدر تخزين للطاقة في الأجهزة للتحكم فى الوحدات الالكترونيه.

المكثف يتكون من موصلين يفصل بينهما مادة عازلة (insulator) وكل مكثف لة سعة معينة تعتمد على الشكل الهندسى للمكثف وعلى المادة العازلة التى تفصل بين الموصلين.

سعة المكثفات

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

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

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

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

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

أي ان سعة المكثف تعتمد علي:

1- أبعاد لوحي المكثف 2- الوسط العازل بين اللوحين

وحدة قياس سعة المكثف هي الفاراد وتساوي ($1F=1C/V$) ولكن الفاراد وحدة قياس كبيرة ولذا يستخدم

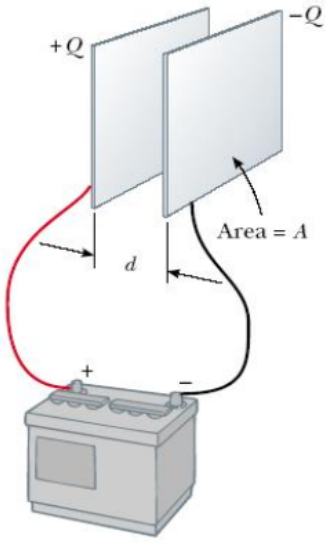
$1\mu F = 10^{-6}\ F$, $1nF = 10^{-9}\ F$, $1pF = 10^{-12}\ F$

أنواع المكثفات :

هناك انواع عدة من المكثفات كمتوازي اللوحين والكروي والحلزوني وغيرها.

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



$$E = \frac{Q}{\varepsilon_o\ A}$$

$$\because\ V = E\ d$$

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

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

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

مثال (9- 8)

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 (9- 9)

مكثف متوازي اللوحبن مصنوع من مادة الالومنيوم المسافة بين لوحيه $1\ mm$ ماذا يجب ان تكون مساحة كل من لوحيه (A) كي تكون سعته $1\ \mu f$

الحل

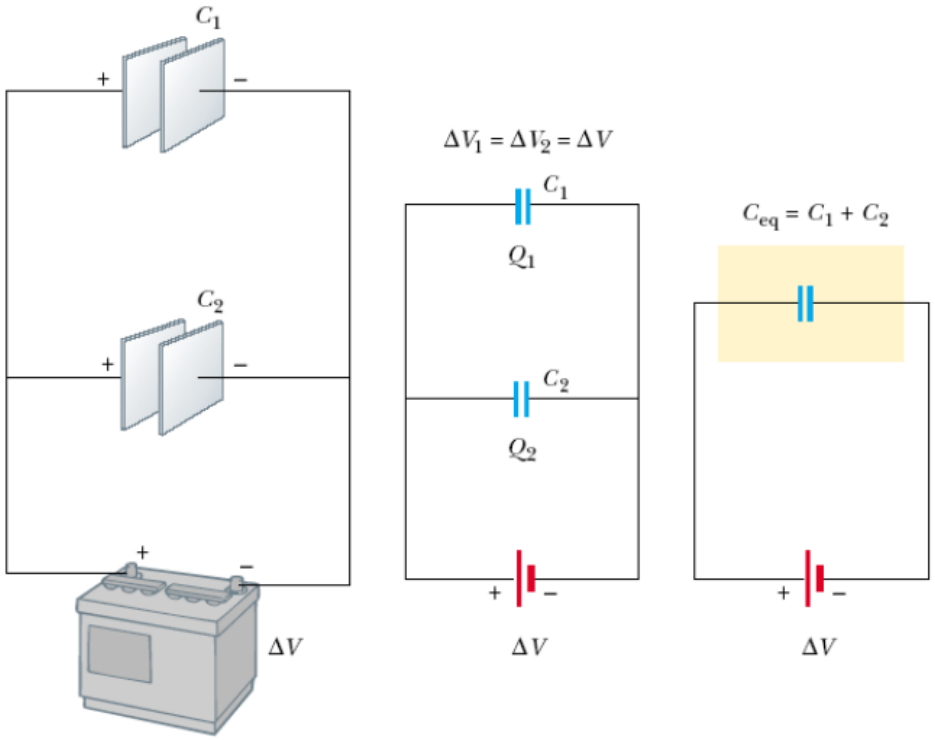
$$\because C = \frac{\varepsilon_o . A}{d} \qquad \therefore A = \frac{C.d}{\varepsilon_o}$$

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

توصيل المكثفات على التوازى

هذا النوع من التوصيل يتميز بـ:

1- فرق الجهد لا يتجزأ على المكثفات 2- الشحنة تتجزأ



$$Q = Q_1 + Q_2$$

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

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

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

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

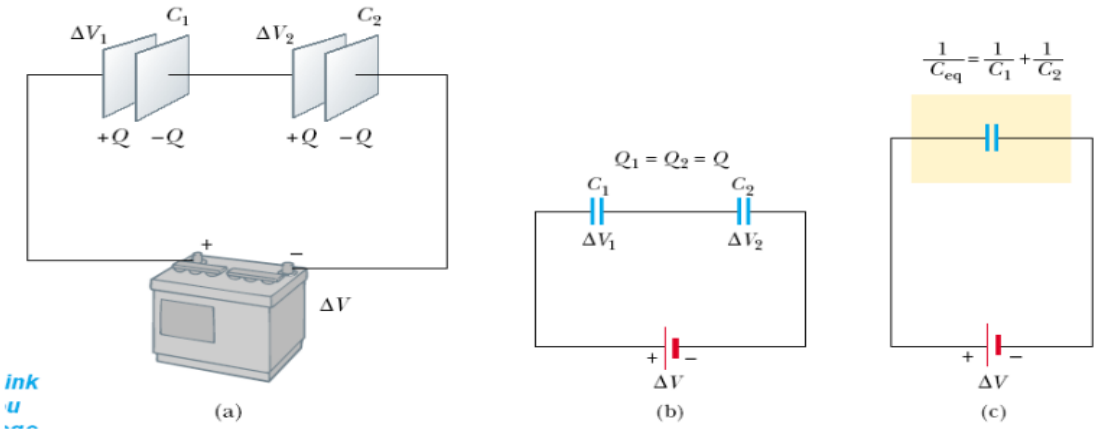
$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots \qquad \text{(parallel combination)}$$

توصيل المكثفات على التوالي

هذا النوع من التوصيل يتميز بـ:

1- فرق الجهد يتجزأ على المكثفات

2- الشحنة لا تتجزأ



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

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

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

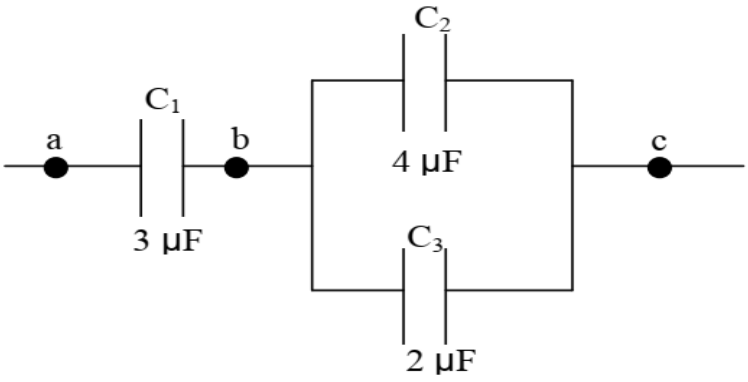
$$\frac{Q}{C_{\text{eq}}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

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

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

مثال (9- 10)

احسب السعة الكلية لهذا الشكل



الحل

المكثفان C_3 ، C_2 متصلان على التوازي:

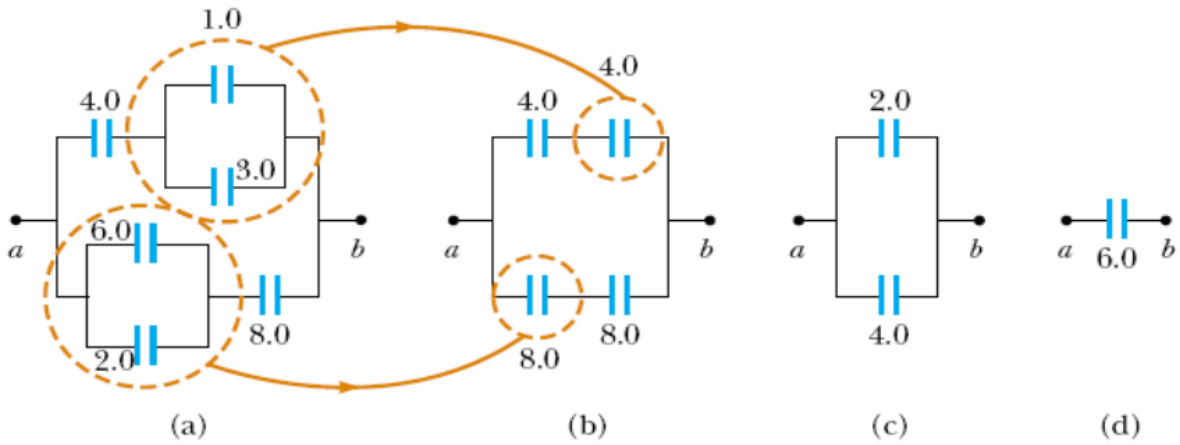
$$C = C_2 + C_3 \quad = 4 + 2 = 6\ \mu f$$

هذه السعة متصلة على التوالي مع C_1 فتكون المحصلة هي $\frac{1}{C_o} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C_1} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3}$

$$C_0 = 2\ \mu f$$

مثال (9- 11)

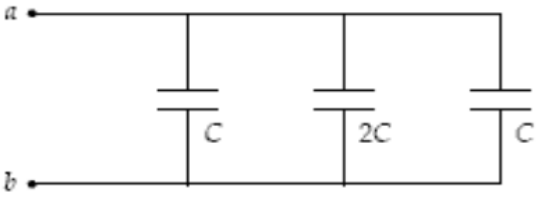
احسب السعة المكافئة للدائرة التالية



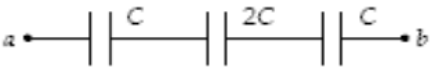
$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{4.0\ \mu F} + \frac{1}{4.0\ \mu F} = \frac{1}{2.0\ \mu F}$$

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

تمرين : السعة المكافئة لمكثفات موصلة على التوازي كما في الشكل المقابل هي [0.4 C ، 4 C ، 40 C]



تمرين: السعة المكافئة لمكثفات موصلة على التوالي كما في الشكل المقابل هي [0.4 C ، 4 C ، 40 C]



تمرين: مكثفين سعة كل منهما (C_1=400μF, C_2=200μF) موصلان على التوازي وطبق عليهما فرق جهد كهربائي مقداره 120V ، والمطلوب:

1) ارسم الدائرة الكهربائية

2) احسب السعة المكافئة C_{eq}

3) احسب فرق الجهد على كل مكثف

4) احسب الشحنة على كل مكثف

6-9 التيار الكهربى Electric Current

- تتحرك الشحنات داخل مادة الموصل من مكان الى أخر تحت تأثير مجال كهربي داخل مادة الموصل تعطى ما يسمى بالتيار الكهربى.
- 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:

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

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)

تعرف كثافة التيار لموصل (J) (Current Density) بخارج قسمة التيار على مساحة مقطع السلك

$$\boxed{J = \frac{I}{A} = nev}$$

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 ينشأ 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

$$J = \sigma E \qquad (4)$$

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

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 :

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

ووحدة قياس المقاومة هي الأوم (Ω)

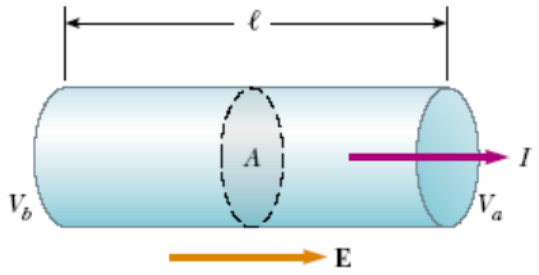
<u>قانون أوم:</u>

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.

<u>العلاقة بين فرق الجهد الكهربى V بين طرفي موصل وطولة ℓ والمجال الكهربى</u>

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 $(R = \rho\ell/A)$

وكما أسلفنا فإن المقاومة R لها وحدة قياس فولت على أمبير V/A وتسمى الأوم ohm(Ω)

$$1\Omega = 1\ V/A$$

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

مثال (9- 12)

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

الحل

$$E=\rho.J=\frac{\rho.I}{A}=1.72\times10^{-8}\times20\times10^{6}=0.344\ \ V/m$$

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

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

ويمكن تعين (R) بطريقة أخرى:

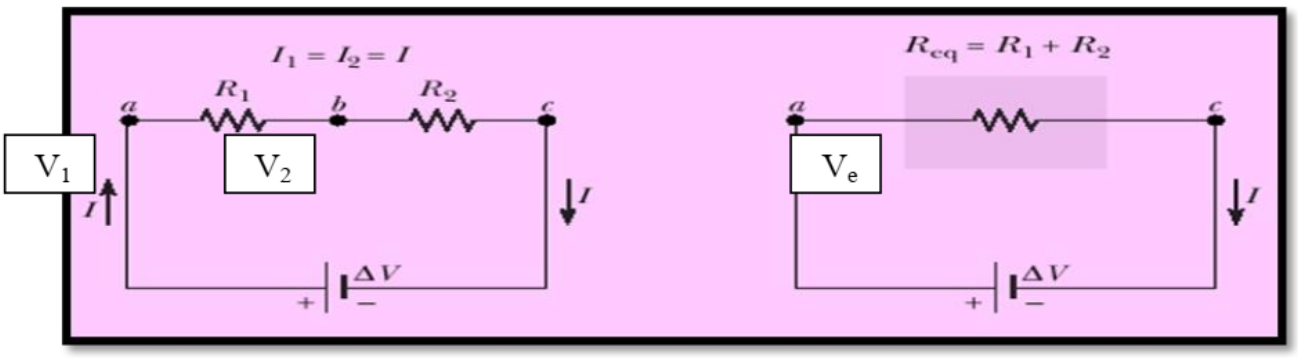
$$R=\frac{\rho\ell}{A}=\frac{1.72\times10^{-8}\times100}{10^{-6}}=1.72\quad\Omega$$

1- توصيل المقاومات على التوالي:

وهو اتصال المقاومات بحيث يكون نهاية المقاومة الأولى متصلا مع بداية المقاومة الثانية وهكذا:

ويتميز بما يلي:

أ) التيار ثابت لا يتجزأ ب) فرق الجهد يتوزع على المقاومات



بحيث يكون: $\Delta V = V_1 + V_2$

وبما أن التيار المار فى كل مقاومة واحد فيكون:

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

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

بالتعويض: $I R_{eq} = I R_1 + I R_2$

اذا فان المحصلة والتي تسمى المقاومة المكافئة تساوي $R_{eq} = R_1 + R_2$

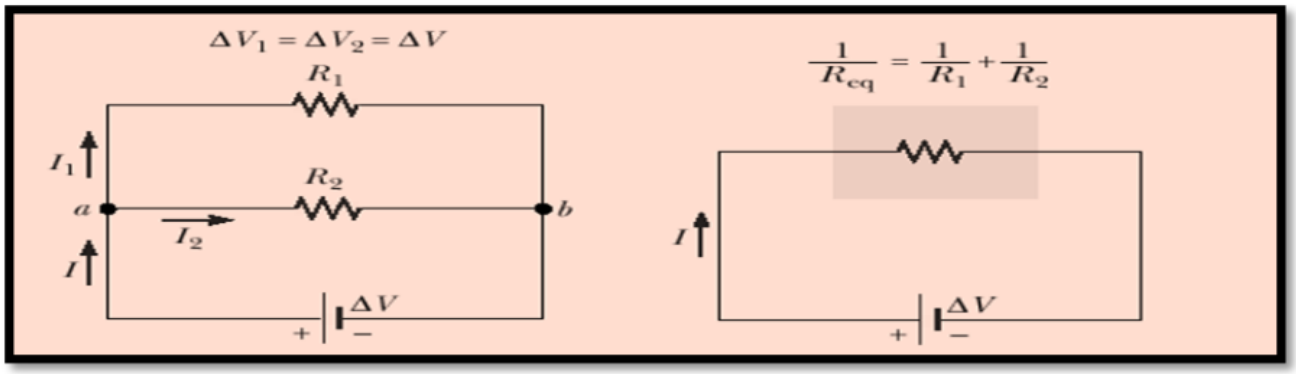
2- توصيل المقاومات على التوازى:

وهو اتصال المقاومات بحيث يكون نهايات المقاومات معا وبدايات 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 :

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

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

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

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

القدرة الكهربية (P):

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

وتكون شكل العلاقة:

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

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

مثال (9- 13)

سخان كهربي صنع من سلك نيكل – كروم استخدم فرق جهد مقداره 120V بين طرفيه وكانت مقاومته 8Ω اوجد التيار الذي يحمله السلك وكذلك قدرة السخان.

الحل

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{120}{8} = 15A$$

$$P = I\Delta V = 15 \times 120 = 1800W = 1.8kW$$

مثال (9- 14)

احسب تكلفة إعداد ديك رومي في فرن إذا عمل 4 ساعات متصلة عند 20A و 240V اذا كان سعر التكلفة هي 50 ريال للكيلووات ساعة

الحل

القدرة المستخدمة $P = I\Delta V = 20 \times 240 = 4800W = 4.8KW$:

الطاقة المستهلكة= الزمن X القدرة $E = Pt = 4.8 \times 4 = 19.2kWh$

التكلفة = 19.2 x 50 = ريال

مثال (9- 15)

مقاومتان كهربائيتان مقدارهما ($R_1=1\Omega$, $R_2=2\Omega$) موصلتان على التوالي وتم ربط طرفي المقاومتين بفرق جهد قدره 10V والمطلوب:

1. ارسم الدائرة الكهربائية

---

2. احسب المقاومة المكافئة R_{eq}

$\mathbf{R_{eq} = R_1 + R_2} = 1 + 3 = 4\Omega$

---

3. احسب التيار الكهربائي المار في الدائرة

$$I = \frac{10}{4} = 2.5A$$

---

4. احسب القدرة الكلية

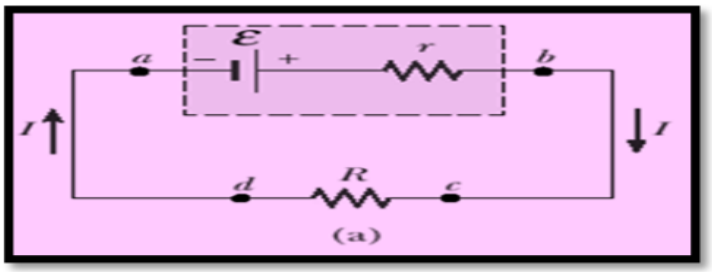
P = I . V = 2.5 x 10 = 25 W

---

5. احسب فرق الجهد بين طرفي المقاومة R_1

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

أي 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)

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

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

References:

1- Physics for Scientists and Engineers (with PhysicsNOW and InfoTrac), Raymond A. Serway - Emeritus, James Madison University , Thomson Brooks/Cole © 2004, 6th Edition, 1296 pages.

2- مبادئ الفيزياء العامة، د. عقيل مهدي كاظم، الطبعة الأولى، 2009

3- محاضرات فيزياء عامة، الدكتور عبدالحي صلاح، جامعة الملك سعود

http://faculty.ksu.edu.sa/AbdelhaySalah/Arabic/Documents/Forms/AllItems.aspx

4- محاضرات فيزياء عامة 102 للدكتور محمد مرسي،

http://faculty.ksu.edu.sa/elmorsy/Pages/102physics.aspx