

الكهربائية

الفصل الاول : قانون كولوم

جامعة الحمدانية

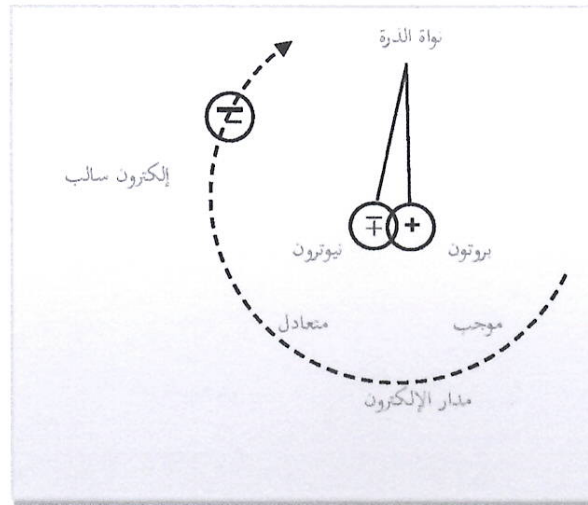
م. بان عبد المسيح بدر

الفصل الاول / قانون كولوم Coulomb's Law

Atomic Structure

(1-1) تركيب الذرة

تتكون كل ذرة من نواة موجبة الشحنة تمثل جزءاً صغيراً جداً من حجمها ولكن تؤلف أكثر من 99.9% من كتلتها الكلية. تحتوي النواة على نوعين من الجسيمات المشحونة المتناهية الصغر تسمى بالنيوترونات والبروتونات. فالنيوترون متعادل الشحنة وكتلته $1.6748 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ، أما البروتون فهو ببساطة نواة ذرة الهيدروجين وشحنته $+e$ تساوي $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ وكتلته $1.6725 \times 10^{-27} \text{ kg}$. وتدور حول النواة بمدارات خارجية (دائرية أو على شكل قطع ناقص) يتراوح بعدها ما بين 1 و 2 انجستروم جسيمات متناهية جداً في الصغر تسمى بالالكترونات وهي ذات كتلة صغيرة جداً مقارنة بكتلة النواة مقدارها $9.1091 \times 10^{-31} \text{ kg}$ وتحمل شحنة سالبة $e -$ مساوية بالمقدار لشحنة البروتونات الموجبة* كما موضح في الشكل (1-1).



الشكل (1-1) : رسم تخطيطي لتركيب الذرة.

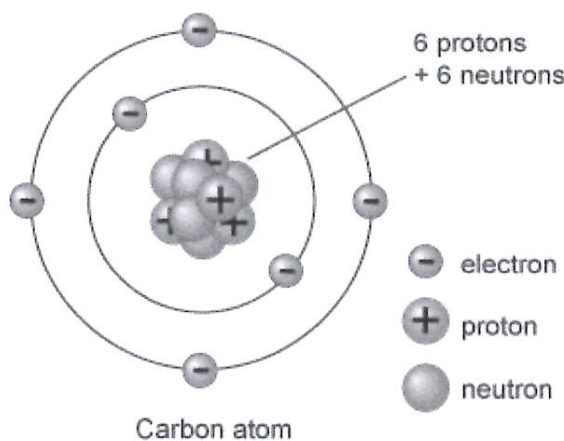
أن عدد الالكترونات التي تدور حول النواة هي التي تميز ذرة عنصر عن ذرة عنصر آخر. وكذلك نجد من خلال قيم كتل الجسيمات الأولية أن للبروتون كتلة تقريباً مساوية لكتلة النيوترون، وان كتلة الإلكترون الساكن هي اصغر بحوالي 1840 مرة من كتلة البروتون لذا فان كتلة الذرة تتركز في نواتها. فإذا تصورنا نواة الذرة بشكل كرة فان قطرها يتراوح ما بين $1 \times 10^{-15} \text{ m}$ للهيدروجين إلى حوالي $7 \times 10^{-15} \text{ m}$ للذرات الثقيلة التي تحتوي نواتها على عدد كبير من البروتونات كاليورانيوم مثلاً، أما قطر الذرة فيتراوح ما بين $1 \times 10^{-10} \text{ m}$ إلى حوالي $3 \times 10^{-10} \text{ m}$ أي اكبر بحوالي 10^5 مرة قطر النواة.

أن الذرة متعادلة كهربائياً (غير متأينة) عندما يكون عدد الإلكترونات فيها مساوياً لعدد البروتونات تماماً كحالة ذرة الكربون الموضحة في الشكل (1-2) حيث تتوازن الشحنات السالبة للإلكترونات السالبة بالشحنة الموجبة للنواة، وهذا العدد المتوازن يسمى بالعدد الذري Atomic Number ويرمز له بالحرف Z . أما العدد الكلي للبروتونات والنيوترونات داخل النواة فيسمى بالعدد الكتلي Mass Number ويرمز له بالحرف A وبهذا يكون:

$$A = Z + N$$

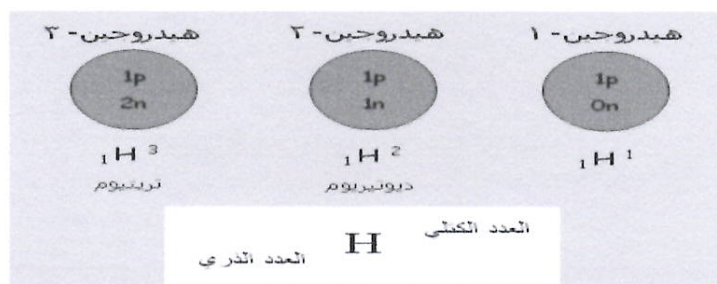
(1-1).....

إذ أن الحرف N يرمز إلى عدد النيوترونات داخل النواة.

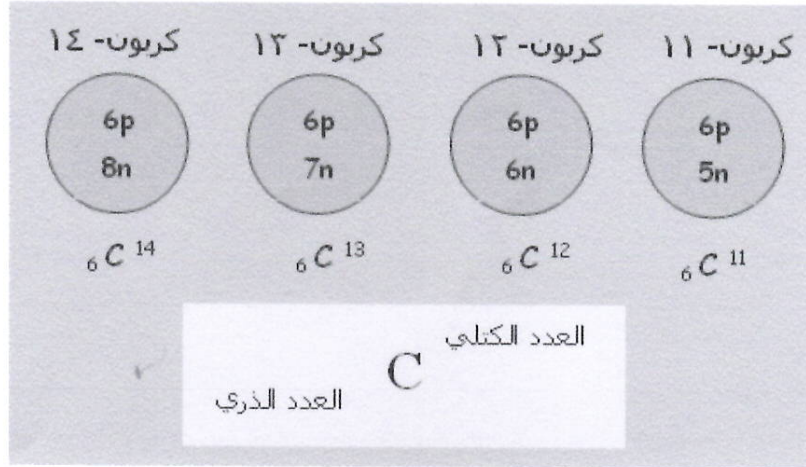


الشكل (1-2): تركيب ذرة الكربون.

إن ذرات العناصر التي تختلف في عددها الكتلي A وتتشابه في عددها الذري Z تسمى بالنظائر Isotopes. ومن الواضح أن هذه النظائر تتواجد فقط في المادة الواحدة حيث تختلف في عدد النيوترونات الموجودة في نوياتها. وتتشابه النظائر في خواصها الكيميائية نظراً لاعتمادها على عدد الإلكترونات وتوزيعها خارج النواة، على حين تختلف في بعض خواصها الفيزيائية نتيجة اختلاف كتلتها بسبب اختلاف عدد نيوترونات نظائر العنصر الواحد كما ي ذرة الهيدروجين الموضحة بالشكل (1-3) وذرة الكربون الموضحة بالشكل (1-4).



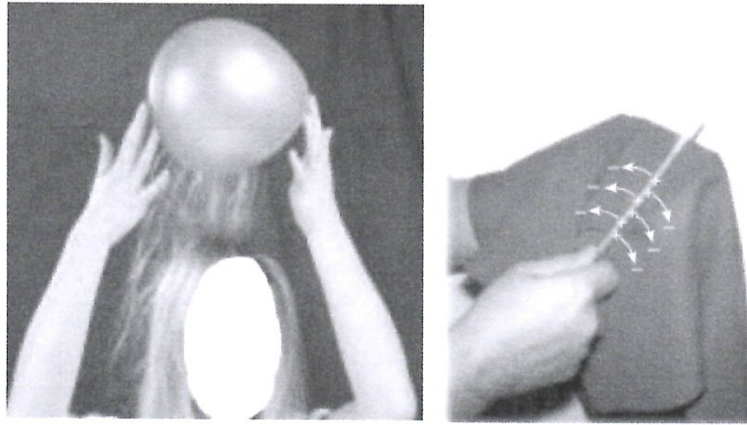
الشكل (1-3): نظائر ذرة الهيدروجين



الشكل (1-4) : نظائر ذرة الكربون

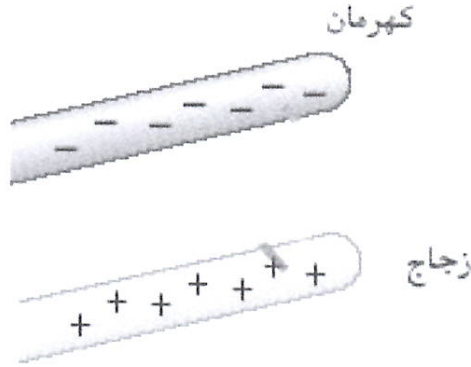
(2-1) الشحنة و المادة Charge and Matter

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 كهربائية كما في الشكل (1-5).



الشكل (1-5)

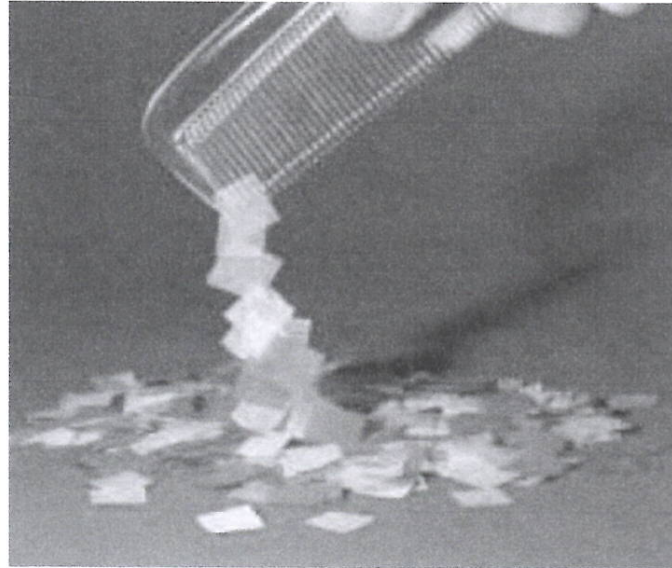
تعتمد نوع هذه الشحنة على طبيعة المادة التي نقوم بدلكها. بمعنى أنه في حالة ذلك مادة الكهرمان بفرو الحيوان فإنها تكتسب شحنات سالبة. أما في حالة الزجاج المدلوك بالحريز فإنها تكتسب شحنات موجبة كما في الشكل (1-6).



الشكل (1-6)

وهناك العديد من التجارب العملية البسيطة التي يمكن من خلالها البرهنة على وجود القوة الكهربائية الساكنة منها على سبيل المثال لا الحصر التجارب التالية :-

عند ذلك مشط (comb) بشعر الإنسان أو الحيوان فإننا نلاحظ عند تقريب هذا المشط من قصاصات ورق أن هذه القصاصات تنجذب إلى المشط كما هو موضح بالشكل (1-7)



الشكل (1-7)

و بالمثل عرف الإنسان المغناطيسية الطبيعية، و أن هناك حجارة معينة تلتقط قطع الحديد إذا اقتربت منها. ولذلك يمكن القول بأن القوة الكهرومغناطيسية بين الجسيمات المشحونة تعتبر واحدة من أساسيات القوة في الطبيعة.

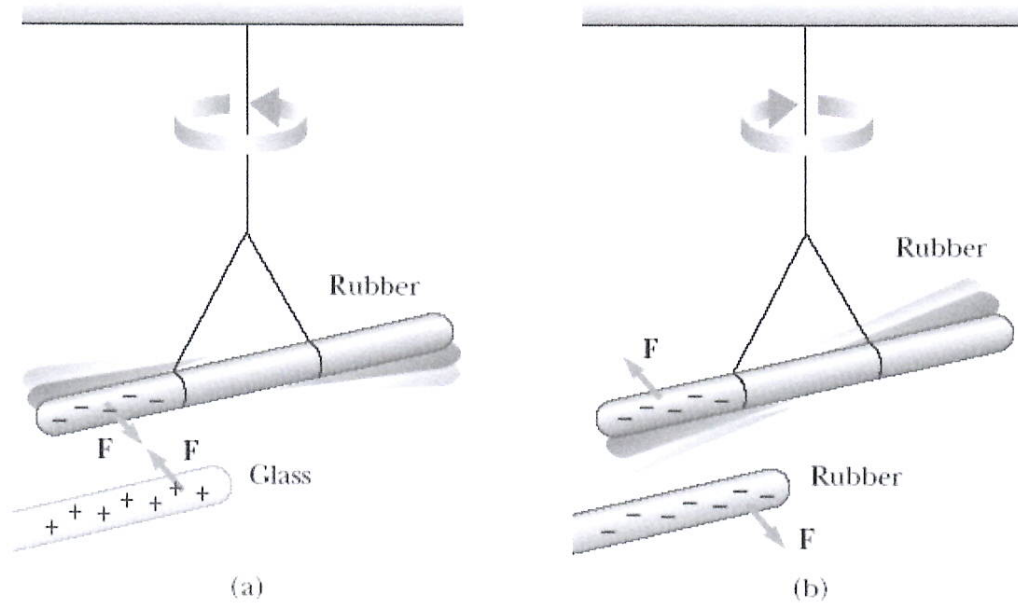
(3-1) الشحنة Charge

تتكون المادة من ذرات، و تتكون الذرات بدورها من إلكترونات و بروتونات و نيوترونات. و لكل من هذه الجسيمات خواصها المميزة. و من خواص هذه الجسيمات هي خاصية الكتلة (mass) و التي تحدد قصور (inertia) أو عجز هذه الجسيمات عن الحركة من تلقاء نفسها. و هناك خاصية أخرى لهذه الجسيمات هي الشحنة (charge). و يرمز لها بالرمز q (أو Q)، و تقاس بالكولوم (Coulomb) و يرمز للكولوم بالرمز C . و مثلما 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. و على عكس خاصية الكتلة، التي تكون

موجبة عادة، فإن الشحنة قد تكون سالبة و قد تكون موجبة، و بالتالي فإن القوة الناتجة عن وجود خاصية الشحنة في المادة قد تكون قوة جذب أو قوى تنافر. ومن هنا يمكن استنتاج قاعدة التجاذب والتنافر التي نصها :

تجاذب الشحنات المختلفة وتنافر الشحنات المتشابهة

كما هو موضح بالشكل (1-8)



الشكل (1-8) يوضح قوة التجاذب والتنافر

من الأمثلة على بعض الشحنات الأساسية الهامة التي سنتعامل معها في كثير من المسائل، هي شحنة الإلكترون (e) و مقدارها 1.6×10^{-19} كولوم. و هي أصغر مقدار للشحنة في الكون و تكون شحنات الجسيمات الأولية إما صفر مثل النيوترونات أو أعداد صحيحة لشحنة الإلكترون. بمعنى آخر تتواجد 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 $1.6 \times 10^2 e$ ، بيد أنها لا يمكن أن تتواجد بمقدار $1.5e$ أو $25.3e$ و من هنا فإنه يقال على الشحنة بأنها مكمأة (Quantized). و الجدول (1-1) يبين خصائص بعض الجسيمات ويجب أن ننوه أن هناك نوعاً آخر من القوى التي تربط مكونات النواة مع بعضها البعض وهي القوى النووية، ولولاها لتفقت النواة بواسطة قوى التجاذب بين الإلكترون والبروتون.

Particle	Symbol	Charge	Mass
Proton	p	$1.6 \times 10^{-19} \text{C}$	$1.67 \times 10^{-27} \text{K}$
Neutron	n	0	$1.67 \times 10^{-27} \text{K}$
Electron	e	$-1.6 \times 10^{-19} \text{C}$	$9.1 \times 10^{-31} \text{K}$

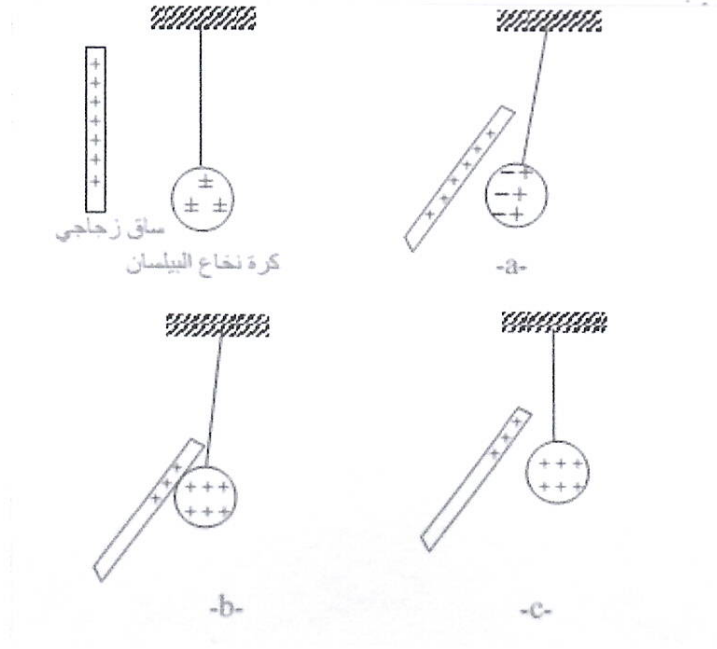
الجدول (1-1) يبين خصائص بعض الجسيمات

Charging By Contact

(4-1) الشحن بالتوصيل (التماس)

أن ذرات المادة تكون متعادلة كهربائياً عندما تكون كمية الشحنات الموجبة (البروتونات) داخل النوات تساوي تماماً مجموع الشحنات السالبة (الالكترونات) حول النواة. هناك طرق عدة استعملت لتغيير حالة التوازن الاعتيادي بين الشحنات الموجبة والشحنات السالبة في الذرة والحصول على أجسام مشحونة وأقدمها ظاهرة الشحن بالتماس. فعند ذلك ساق زجاجي بالحريز سيحدث انتقال سريع جداً للالكترونات فقط من ذرات الزجاج إلى الحريز، ومن الطبيعي فإن الحريز الذي استلم الالكترونات تصبح شحنته سالبة ويترك الآخر أي الزجاج بشحنة موجبة بعد أن يخسر جزءاً من شحنته السالبة.

وعند تقريب كرة من نخاع البيلسان* معلقة بخيط عازل من ساق الزجاج فإنها ستجذب أولاً نحو ساق الزجاج، كما في الشكل (1-9). ثم تبدأ الالكترونات بمغادرة بعض ذرات الكرة نحو ساق الزجاج ونتيجة لهذا تكتسب كرة نخاع البيلسان شحنة موجبة مما يجعلها تنفر من ساق الزجاج حالاً. وعندها لو قربنا الكرة من قطعة الحريز سالبة الشحنة فإنها ستجذب إليها بسهولة.



الشكل (9-1) : انتقال الشحنات الكهربائية بسبب التماس وان التناظر يحصل بسبب الشحنات المتشابهة.

Conductors ,Insulators Semiconductors

(5-1) الموصلات والعوازل واشباه الموصلات

بالإمكان تقسيم المواد تبعاً لسلوكها الكهربائي إلى مجموعتين رئيسيتين هما الموصلات والعوازل. وحيث المواد التي تقع في الوسط ما بين هاتين المجموعتين فإنها تسمى أشباه الموصلات Semiconductors. يمكن تقسيم طيف لبعض العناصر حسب قيم معاملات توصيلها الكهربائي σ ، إذ نجد :

- 1- مجموعة الفلزات مثل الفضة والنحاس والحديد ، حيث توصيلتها الكهربائية σ عالية عند درجة حرارة الغرفة في المدى من 10^5 إلى 10^8 (اوم.متر)⁻¹.
- 2- مجموعة أشباه الموصلات مثل الجرمانيوم والسليكون وكبريتيد الرصاص وكبريتيد الكاديوم، حيث قيم σ متوسطة عند درجة حرارة الغرفة في المدى من 5×10^{-5} إلى 5×10^{-5} (اوم.متر)⁻¹.
- 3- مجموعة العوازل مثل الزجاج والخزف والكوارتز والكهرمان، حيث قيم σ قليلة جداً عند درجة حرارة الغرفة في المدى من 10^{-6} إلى 10^{-16} (اوم.متر)⁻¹.

(1) الموصلات (Conductors)

و هي المواد التي تسمح للشحنات بالحركة خلالها، و ذلك تحت تأثير قوة خارجية. و من الأمثلة عليها: جميع المعادن (كالنحاس، و الحديد و الذهب ...)، و جميع محاليل الأملاح (كمحلول كبريتات النحاس ...).

(2) العوازل (Insulators)

و هي المواد التي لا تسمح، عندما تكون نقية، للشحنات بالحركة خلالها، ومن الأمثلة عليها، الزجاج و المطاط و الخشب.

(3) اشباه الموصلات (Semiconductors):

و هي المواد المتوسطة، بين العوازل و الموصلات، في سماحتها للشحنات بالحركة من خلالها. و من الأمثلة عليها : السيليكون و الجرمانيوم. و يمكن إضافة بعض الشوائب كالبيورون أو الفوسفور إلى شبه الموصلات لزيادة توصيلها.

Coulomb's Law

(6-1) قانون كولوم

يعد العالم الفرنسي تشارلس أوغسطين دي كولوم (1736-1806) واحداً من الرواد الأوائل في القرن الثامن عشر في الكهرباء، فهو أول من قام بقياسات عملية للقوى العاملة بين الأجسام المشحونة. ومن حصيلة هذه القياسات استطاع صياغة قانونه الشهير عام 1785 الذي عرف بقانون كولوم وهو يركز على ثلاث نصوص :

- 1- تتافر الشحنات ذات الإشارة المتشابهة وتجاذب الشحنات ذات الإشارة المختلفة.
 - 2- تؤثر شحنتان نقطيتان أحدهما على الأخرى بقوة تعمل على امتداد الخط المستقيم الذي يصل بين مركزيهما، ومقدار هذه القوة سواء كانت قوة تجاذب أو تنافر بين الشحنتين تتناسب طردياً مع حاصل ضرب الشحنتين.
 - 3- يتناسب مقدار قوة التجاذب أو التنافر بين شحنتين عكسياً مع مربع المسافة بينهما، ان هذا الاستنتاج يعد إشارة واضحة إلى ان كولوم اثبت ان قوة التجاذب أو التنافر بين جسمين مشحونين تتبع قانون التربيع العكسي.
- على ضوء ما تقدم يمكن صياغة نص قانون كولوم بالشكل الآتي : القوة الكهروستاتيكية بين شحنتين نقطيتين في حالة سكون تتناسب طردياً مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين وعكسياً مع مربع المسافة بينهما.
- ويمكن كتابة قانون كولوم بصيغة رياضية تشير إلى اتجاه القوة إضافة إلى مقدارها بالشكل الآتي :

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad (1-1) \dots\dots\dots$$

وطبقاً لقانون نيوتن للفعل ورد الفعل فان القوة المؤثرة على إحدى الشحنتين لا بد ان تكون مطابقة في المقدار ومعاكسة في الاتجاه للقوة التي تؤثر على الشحنة الأخرى وكلاهما تعمل على الحد الفاصل بين الشحنتين. وعليه فان القوة F في المعادلة (1-1) تشير للقوة الكهروستاتيكية المؤثرة على الشحنة q_2 من قبل الشحنة q_1 وهي نفس القوة المؤثرة على الشحنة q_1 من قبل الشحنة q_2 ولكن بعكس الاتجاه. تمثل r المسافة بين الشحنتين و k يمثل ثابت فيزيائي كوني يعرف بثابت قوة كولوم، إذ تعتمد قيمته على نظام الوحدات المستعملة وكذلك على نوع الوسط الفاصل. أما الرمز $\hat{r}$ فهو وحدة المتجه Unit Vector ومقداره واحد واتجاهه من q_1 إلى q_2 .

يطبق قانون كولوم على الشحنات النقطية Point Charges وهي الشحنات التي تشغل حيزاً أبعاده صغيرة جداً مقارنة بالمسافات الفاصلة بينها. ويطبق أيضاً في العوازل والموصلات إذا كانت F القوة المؤثرة بين q_1 و q_2 بغض النظر عن القوى الناجمة عن الشحنات الأخرى ضمن الوسط.

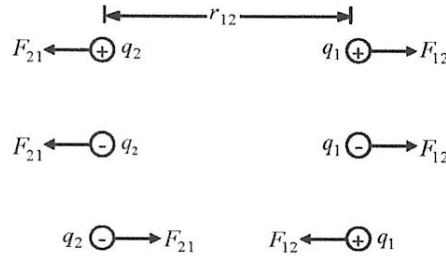
يمكن كتابة القوة المتبادلة بين الشحنتين على النحو التالي:

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

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

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$

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

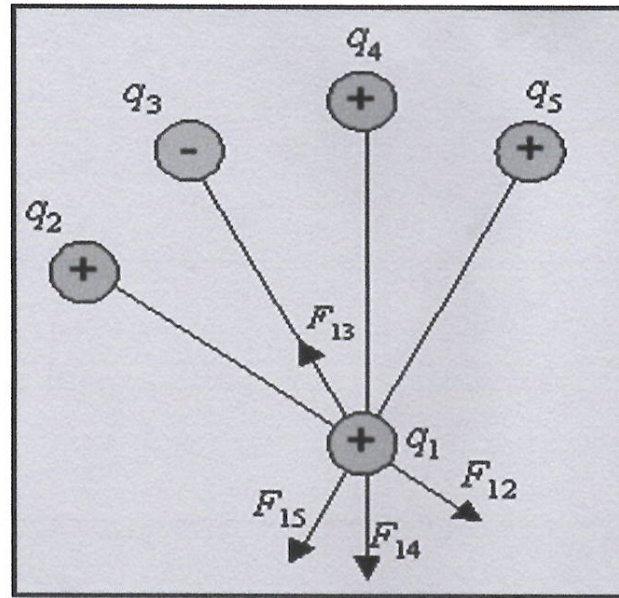


ملحوظة

قانون كولوم ينطبق على الشححات النقطية (point charges) فقط، (تعرف الشحنة النقطية بأنها تلك الشحنة التي يمكن إهمال أبعادها (أو حجمها) إذا قورنت بالمسافة بينها و بين شححات أخرى) و أن القوة التي تؤثر بها الشحنة q_2 على الشحنة q_1 ، F_{12} (أو القوة التي تؤثر بها الشحنة q_1 على الشحنة q_2 ، F_{21}) كمية متجهة (أي أن لها مقداراً و اتجاهاً).

أما إذا كان هناك مجموعة من الشححات النقطية (q_1, q_2, q_3, q_4) يؤثر بعضها على بعض، فإن القوة الكلية التي تؤثر على إحداها (الشحنة رقم 1 مثلاً) تعطى بجمع متجهات القوى بين الشحنة هذه و كل من الشححات الأخرى. أي أن:

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



نموذج رانر فورده للذرة

- 1- الذرة تشبه المجموعة الشمسية (نواة مركزية يدور حولها على مسافات شاسعة الالكترونات السالبة الشحنة).
- 2- الذرة معظمها فراغ (لان الذرة ليست مصمتة وحجم النواة صغير جدا بالنسبة لحجم الذرة).
- 3- تتركز كتلة الذرة في النواة (لان كتلة الالكترونات صغيرة جدا مقارنة بكتلة مكونات النواة من البروتونات والنيوترونات).
- 4- يوجد بالذرة نوعان من الشحنة (شحنة موجبة بالنواة وشحنات سالبة على الالكترونات).
- 5- الذرة متعادلة كهربائيا لان عدد الشحنات الموجبة (البروتونات) يساوي عدد الشحنات السالبة (الالكترونات).
- 6- تدور الالكترونات حول النواة في مدارات خاصة.

يرجع ثبات الذرة الى وقوع الالكترونات تحت تأثير قوتين متضادتين في الاتجاه متساويتين في المقدار هما قوة جذب النواة للالكترونات وقوة الطرد المركزي الناشئة عن دوران الالكترون حول النواة.

الوحدات والابعاد Units and Dimensions

تتحدد اي كمية طبيعية بعاملين اثنين هما العدد والوحدة. اي انه لا يمكن ذكر اعداد أو ارقام مجردة دون تحديد الوحدة التي تقاس بها تلك الكمية .

فمثلا لتحديد كتلة الجسم نقول ان كتلته تساوي 20 كيلوجرام ولكي نقول ان الكتلة تساوي 20000 جرام يجب ان يكون هنالك علاقة بين الكيلوجرام والجرام وهي 1كجم = 1000جم .

الكميات الفيزيائية Physical Quantities

هي التي تبني هيكل الفيزياء وبها نكتب المعادلات والقوانين الفيزيائية , من هذه الكميات: القوة – الكثافة – الزمن – السرعة – درجة الحرارة – الشحنة وغير ذلك.

وتنقسم الكميات الفيزيائية الى:

- كميات اساسية : هي الكتلة والطول والزمن ويرمز لها (T,L,M) على الترتيب.
- كميات مشتقة : هي كميات مشتقة من الكميات الاساسية مثل الحجم والسرعة والعجلة وغير ذلك من الكميات.

وحدات الكميات الفيزيائية Units of physical Quantities

اي كمية فيزيائية يجب ان يكون لها وحدة قياس الى جانب قيمتها العددية اذ انه لا معنى لقولنا ان المسافة بين مدينة أربيل ومدينة عقرة 80 دون ذكر وحدة القياس لان 80 كيلومتر تختلف عن 80 متر وتختلف عن 80 ميل حيث ان الكيلومتر والمتر والميل هي وحدات قياس الطول.

انظمة القياس :

- النظام الدولي ISU : متر – كيلوجرام – ثانية (MKS System) وأحيانا يسمى بالنظام الفرنسي المطلق أو سننيمتر – جرام – ثانية (CGS System) .
- النظام البريطاني : قدم – باوند – ثانية (FBS) .

الجدول (1-1): يبين وحدات القياس الأساسية والجدول (2-1) يبين بعض وحدات القياس المشتقة.

الجدول (1-1) وحدات القياس الأساسية:

الكمية	الوحدة بالنظام الدولي (ISU)	الوحدة بالنظام البريطاني (FBS)
الكتلة (Mass)	كيلوجرام (Kg)	باوند
الطول أو المسافة (Length)	متر (m)	قدم
الزمن (Time)	ثانية (S)	ثانية

الجدول (2-1) وحدات القياس المشتقة:

الكمية	الوحدة بالنظام الدولي (ISU)	الوحدة بالنظام البريطاني (FBS)
المساحة	متر ² (m^2)	قدم ²
الحجم	متر ³ (m^3)	قدم ³
الكثافة = الكتلة / الحجم	Kg/m^3	باوند/قدم ³
القوة	نيوتن (N)	ثقل باوند (LB)
الضغط = القوة / المساحة	N/m^2 (باسكال)	ثقل باوند/قدم ²

مثال: شحنتان نقطيتان الاولى $(2 \times 10^{-6} \text{ C})$ والثانية $(-5 \times 10^{-6} \text{ C})$ وضعتا في النقطتين (1,3) $(-5,11)$, على الترتيب , فاذا كانت $r = 11.66$ بالسنتيمتر احسب القوة المتبادلة بينهما؟

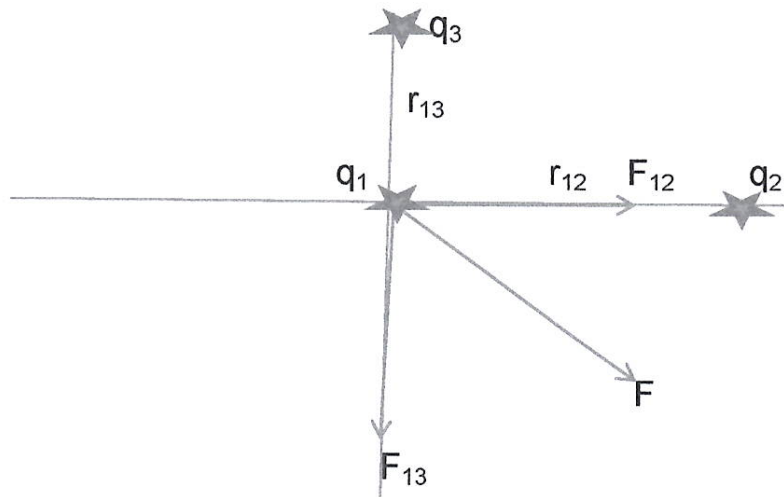
$$F = K \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}$$

$$F = ?, r = 11.66 \text{ cm} = 11.66 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$F = 9 \times 10^9 \times (5 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-6}) / (11.66 \times 10^{-2})^2 = 6.6 \text{ N}$$

مثال ١ : يبين الشكل ثلاثة شحنات نقطية q_3, q_2, q_1 احسب القوة المؤثرة على الشحنة q_1

$$q_1 = 1 \times 10^{-6} \text{ C}, q_2 = -3.6 \times 10^{-6} \text{ C}, q_3 = 4.8 \times 10^{-6} \text{ C}, r_{13} = 4 \text{ m}, r_{12} = 3 \text{ m}$$



$$F_{12} = 9 \times 10^9 (1 \times 10^{-6}) (3.6 \times 10^{-6}) / 9 = 36 \times 10^{-4} \text{ N}$$

$$F_{13} = 9 \times 10^9 (1 \times 10^{-6}) (4.8 \times 10^{-6}) / 16 = 27 \times 10^{-4} \text{ N}, \dots$$

$$F = ((F_{12})^2 + (F_{13})^2)^{0.5} = 45 \times 10^{-4} \text{ N},$$

اما الاتجاه (θ)

$$\tan \theta = F_{13} / F_{12}, \theta = 36.9$$

س ١ في الانحلال الاشعاعي لمادة اليورانيوم ${}_{92}\text{U}^{238}$ كانت دقيقة الفا (نواة ذرة الهيليوم ${}_{2}\text{He}^4$ المنبعثة على بعد $(9 \times 10^{-15} \text{m})$ من مركز النواة المتبقية الثوريوم ${}_{90}\text{Th}^{234}$ فاحسب :-

1- القوة المؤثرة على دقيقة الفا وهي عند هذا البعد المذكور .

2- تعجيل دقيقة الفا عند نفس البعد .

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

$$q_1 = 2 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}, \quad q_2 = 90 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$F = 9 \times 10^9 \times 2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 90 \times 1.6 \times 10^{-19} / (9 \times 10^{-15})^2$$

$$F = 5.12 \times 10^2 \text{ N}.$$

$$(m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ Kg}) \text{ كتلة البروتون}$$

$$F = ma. \quad a = F/m = 5.12 \times 10^2 / 2 \times 1.67 \times 10^{-27} \text{ m/sec}^2.$$

$$\frac{\text{نـ} = \text{كـ} \times \text{م}}{\text{ث}^2}$$

س/ كرتان معدنيتان تحملان شحنتين مقدارهما $(+2\mu\text{C})$, $(-4.4\mu\text{C})$ جلبت احدهما لكي تلامس الاخرى ثم وضعتا على مسافة قدرها (6cm) . ما مقدار القوة الكهروستاتيكية العاملة بينهما ؟ وهل هي قوة تنافر ام قوة تجاذب ؟

عند التلامس سوف تنتقل الشحنة السالبة باتجاه الموجبة ويحدث التوازن بحيث تحمل كل كرة نفس الكمية والنوع من الشحنة. اذن الشحنة سالبة على كل كرة وتساوي

$$q = (-4.4 + 2) / 2 = -1.1 \mu\text{C}$$

$$F = 9 \times 10^9 \times (1.1 \times 10^{-6})^2 / (6 \times 10^{-2})^2 = 3\text{N}$$

القوة تنافر

مثال / احسب قوة التنافر بين نواتي اركون عندما يكون البعد بينهما $1 \times 10^{-3}\text{m}$ علما بان نواة الاركون تحتوي على 18 بروتون.

الحل: لكل نواة اركون شحنة مقدارها $18e$ أي $18 \times 1.6 \times 10^{-19}\text{C}$ وتساوي $28.8 \times 10^{-19}\text{C}$ اذا قوة التنافر عندما تكون المسافة الفاصلة $1 \times 10^{-3}\text{m}$ هي $1 \times 10^{-9}\text{C}$:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon^0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$F_{21} = 9 \times 10^9 \times \frac{(28.8 \times 10^{-19})^2}{(1 \times 10^{-9})^2} = 7.4 \times 10^{-8}\text{N}$$

مثال

ما هي المسافة الفاصلة بين الكترونين في الفراغ اذا علمت ان القوة الكهروستاتيكية بينهما تساوي قوة جذب الارض للإلكترون.

الحل:

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

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

وقوة جذب الارض للإلكترون هي:

$$\therefore \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} = mg$$

$$F_g = mg$$

$$F_e = F_g$$

$$9 \times 10^9 \times \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{r^2} = 9.1 \times 10^{-31} \times 9.8$$

$$\therefore r^2 = 0.258 \times 10^2 m = 25.8m \text{ or } r = 5.1m$$

الكهربائية

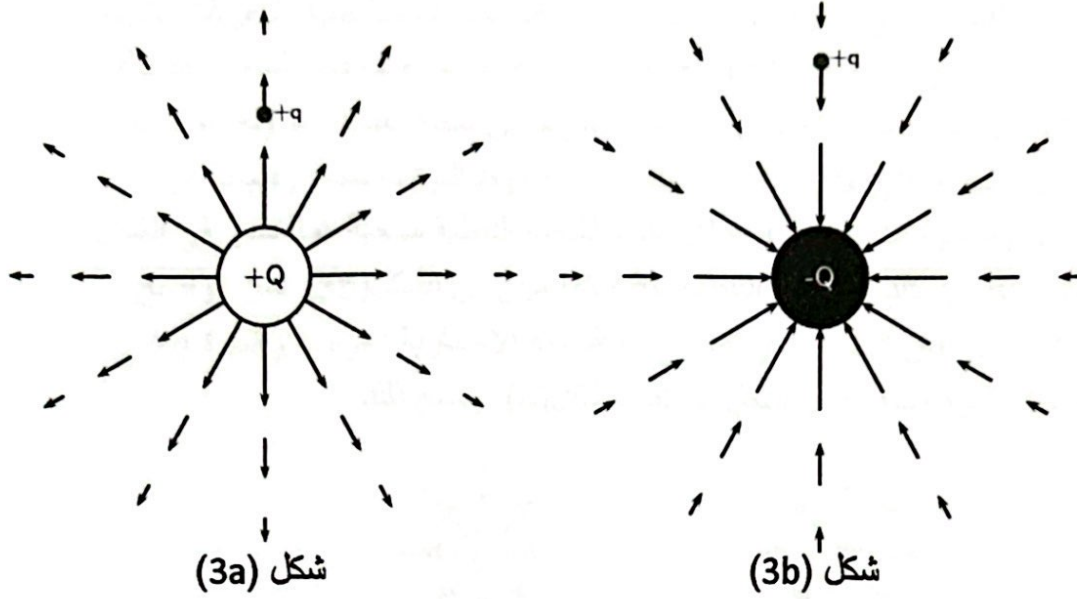
الفصل الثاني : المجال الكهربائي

جامعة الحمدانية

أ.م. بان عبد المسيح بدر

1.1- المجال الكهربائي (Electric Field)

في مطلع القرن التاسع عشر جاء العالم ميشيل فراداي بمفهوم المجال الكهربائي حيث صور فراداي التأثير المتبادل بين الاجسام المشحونة بأنه يحدث بطريقة ما في الفضاء الذي يفصل بين الجسمين .



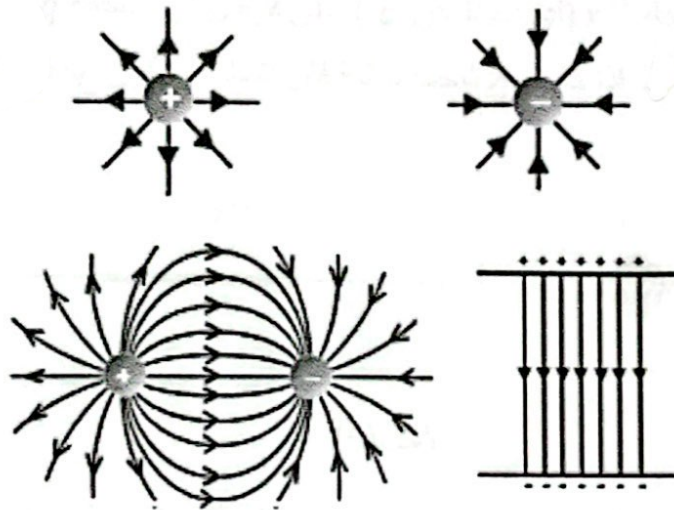
في الشكلين (3a , 3b) نلاحظ الشحنة $(+Q, -Q)$ كيف تحدث مجالاً كهربائياً في الحيز المحيط بها وهذا المجال بدوره يؤثر على الشحنة $(+q)$ بقوة $(F \rightarrow)$. مما تقدم يتضح انه بالامكان عملياً التأكد من وجود مجال كهربائي في نقطة ما وبالتالي قياسه. وذلك بوضع جسم صغير يحمل شحنة اختبار مقدارها $(+q)$ (وقد اتفق على ان تكون موجبة للسهولة) في الموضع المراد اختبار المجال عنده. وبقياس القوة الكهربائية $(F \rightarrow)$ (ان وجدت) المؤثرة على هذا الجسم يمكننا ان نتعرف على وجود المجال وشدته. وعلى هذا الاساس نستطيع ان نعرف شدة المجال الكهربائي ورمزها $(E \rightarrow)$ عند نقطة ما. بأنها القوة المؤثرة لوحدة الشحنة على شحنة الاختبار الموجبة الموضوعه عند هذه النقطة. اي ان :

$$E \rightarrow = \frac{F \rightarrow}{+q} \dots\dots\dots (3)$$

حيث ان $(E \rightarrow)$ تمثل شدة المجال الكهربائي وهي كمية متجهة واتجاهها هو نفس اتجاه $(F \rightarrow)$ ومن المعادلة (3) يتضح ان وحدة شدة المجال الكهربائي هي وحدة القوة مقسومة على وحدة الشحنة اي ان نيوتن/كولوم. ان وضع شحنة الاختبار في النقطة المراد اختبار المجال عندها يجب ان لا يؤثر على هذا المجال الاصلي ويغير من مقداره واتجاهه. وهذا يقتضي ان تكون شحنة الاختبار اصغر ما يمكن . لذا فالتعريف الدقيق لشدة المجال الكهربائي يكون كالآتي :

$$\vec{E} = \lim_{+q \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{+q} \dots\dots\dots (4)$$

كما ادخل فراداي مفهوم خطوط القوة الكهربائية وعدها طريقة سهلة لتصوير نماذج المجال الكهربائي (وكذلك المجال المغناطيسي). خط القوة هذا هو المسار الذي تسلكه شحنة اختبارية موجبة موضوعة عند نقطة ما في المجال الكهربائي. فلو تركت هذه الشحنة طليقة لتحركت باتجاه محصلة القوى الكهربائية المؤثرة عليها ($F = +qE$) والناجمة عن محصلة شدة المجال عند تلك النقطة. والشكل (3) يرينا خطوط القوة لمجال كهربائي ناشئ عن شحنة نقطية معزولة (او كرة مشحونة) في مستوى الشحنة. ففي هذه الحالة البسيطة تكون خطوط القوة مستقيمة ومنبعثة من الشحنة بشكل شعاعي ومتجهة اما نحو الخارج ان كانت الشحنة النقطية موجبة كما مبين في الشكل (3a) او متجهة نحو الداخل ان كانت الشحنة النقطية سالبة كما مبين في الشكل (3b) فمن الواضح ان اتجاه خط القوة هو نفس الاتجاه الذي تتسارع به الشحنة الاختبارية الموجبة والحررة $+q$. وغالباً لا تكون خطوط القوة مستقيمة بل بشكل منحنيات شكل (4) يوضح ذلك.



شكل (4)

كما يمكن اعتبار كثافة خطوط القوة بمثابة قياس لمقدار شدة المجال. والمقصود بكثافة الخطوط هنا هي عدد الخطوط التي تقطع وحدة المساحة العمودية على اتجاه المجال عند النقطة المعنية. مما تقدم نستطيع ان نستخلص خاصيتين لخطوط القوة الكهربائية. تتجلى اهميتها في حل المسائل المتعلقة بالحالات التي يكون فيها المجال متناظراً وذلك بطريقة سهلة (عند تطبيق قانون كاوس).

- 1- ان المماس لخط القوة عند اي نقطة في المجال يمثل اتجاه شدة المجال E في تلك النقطة.
- 2- ان عدد خطوط القوة لوحدة المساحة التي تقطع مساحة صغيرة عمودية على المجال عند نقطة معينة تمثل مقدار شدة المجال في تلك النقطة.

حساب شدة المجال الكهربائي (Calculation of E)

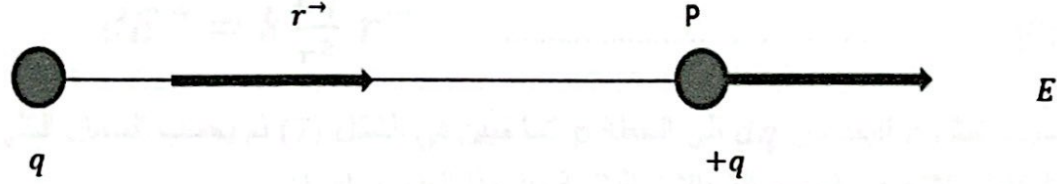
لايجاد شدة المجال الكهربائي لشحنة نقطية معزولة مقدارها q في النقطة p في الفضاء المحيط بالشحنة نفترض وجود شحنة اختبارية $+q$ في تلك النقطة عندئذ تكون القوة F المؤثرة على $+q$ استناداً لقانون كولوم مساوية للكمية.

$$\vec{F} = k \frac{+qq}{r^2} \vec{r} \dots\dots\dots (5)$$

حيث يمثل الرمز $\vec{r}$ وحدة المتجه بالاتجاه من q الى p كما مبين في الشكل (5) وبالتعويض عن F في المعادلة (3) نجد شدة المجال E .

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{+q} = k \frac{q}{r^2} \vec{r} \dots\dots\dots (6)$$

ان اتجاه E يكون بنفس اتجاه $\vec{r}$ (اي بعيداً عن q) على فرض ان الشحنة q هي شحنة موجبة كما مبين في الشكل (5). اما اذا كانت q شحنة سالبة فان اتجاه E يكون بعكس اتجاه $\vec{r}$ (اي نحو q).



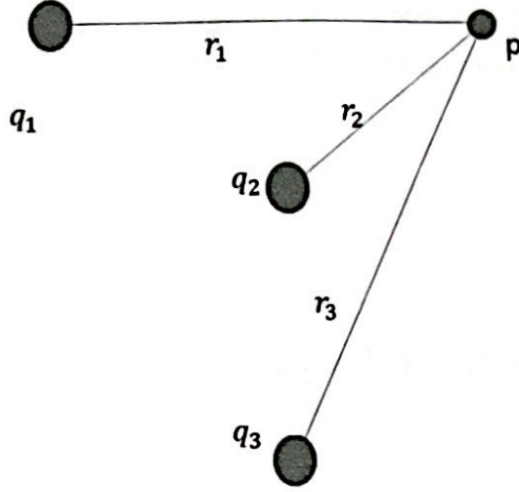
شكل (5)

ولايجاد E لعدد من الشحنات النقطية $q_1, q_2, q_3, \dots$ الخ التي تقع على بعد $r_1, r_2, r_3, \dots$ الخ من النقطة p كما في الشكل (6). نحسب $E_1, E_2, E_3, \dots$ الخ لكل شحنة على حدة عند النقطة p كما لو كانت الشحنة الوحيدة الموجودة اي ان :

$$\vec{E}_1 = k \frac{q_1}{r_1^2} \vec{r}_1, \quad \vec{E}_2 = k \frac{q_2}{r_2^2} \vec{r}_2, \dots\dots\dots,$$

ثم نجمع هذه المجالات المحسوبة لجميع الشحنات جمعاً اتجاهياً لنحصل على المجال الكلي E عند تلك النقطة.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots = \sum \vec{E}_n \quad \text{.....} \quad (7)$$



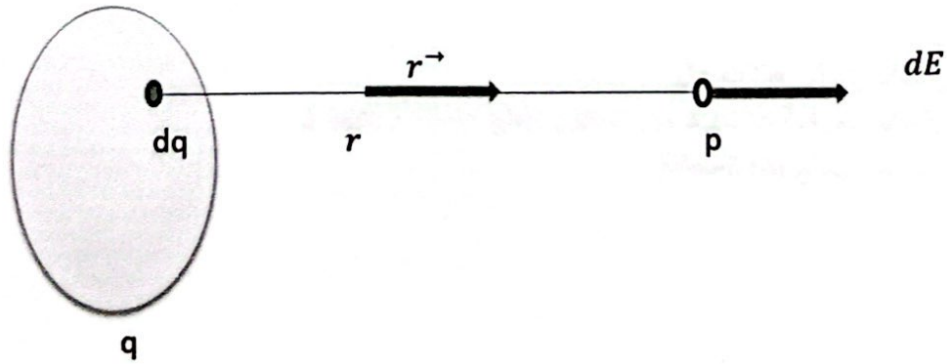
شكل (6)

اما اذا كان توزيع الشحنة متصلاً كان تكون الشحنة موزعة على سطح جسم موصل ، او موزعة ضمن حجم معين بشكل متصل ، فبالامكان ايجاد شدة المجال الناشيء عنها عند النقطة p مثلاً ، وذلك بتقسيم الشحنة الى عدد كبير من العناصر المتناهية في الصغر كل منها يدعى dq . ثم يحسب المجال dE الناشيء عن كل عنصر عند النقطة p . وذلك بأن يعد كل عنصر وكأنه شحنة نقطية . اي

$$d\vec{E} = k \frac{dq}{r^2} \vec{r} \quad \text{.....} \quad (8)$$

حيث تمثل r البعد من dq الى النقطة p كما مبين في الشكل (7) ثم يحسب المجال الكلي E باخذ التكامل الاتجاهي لجميع المجالات الناشئة من هذا العنصر اي ان

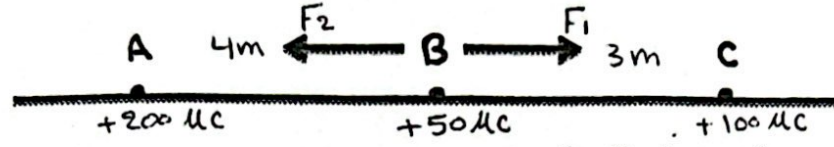
$$\vec{E} = \int d\vec{E} = k \int \frac{dq}{r^2} \vec{r} \quad \text{.....} \quad (9)$$



شكل (7)

مثال (1)

A, B, C ثلاث شحنات نقطية على استقامة واحدة البعد بين A, B (4m) وبين B, C (3m) وضعت عليها الشحنات التالية:
+ 100μ + 50μ + 200μ أسب شدة المجال عند النقطة (B) .



(F₁) القوة الناتجة من تأثير الشحنة (A) على الشحنة (B)

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$F_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{200 \times 50 \times 10^{-12}}{16} \Rightarrow F_1 = 506N$$

(F₂) القوة الناتجة من تأثير الشحنة (C) على الشحنة (B)

$$F_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{100 \times 50 \times 10^{-12}}{9} \Rightarrow F_2 = 5N$$

الآن نحسب محصلة القوة عند الشحنة (B)

$$F = F_1 - F_2 \Rightarrow F = 5.6 - 5 \quad \therefore F = 0.6N$$

شدة المجال (E) عند النقطة (B)

$$E = \frac{F}{q_B} = \frac{0.6}{50 \times 10^{-6}} \Rightarrow \therefore E = 12 \times 10^3 \frac{N}{C}$$

مثال (2)

صفيحتان متوازيتان البعد بينهما (1cm) وشدة المجال الكهربائي بينهما 10⁴ N/C أحسب :

- 1- القوة المؤثرة على الإلكترون في هذا المجال.
- 2- سرعة الإلكترون والطاقة الحركية إذا تحرك من السكون وقطع مسافة (1cm).
- 3- الزمن اللازم للإلكترون لكي يقطع هذه المسافة .

الحل:

$$e = 1.6 \times 10^{19} \text{ C} \quad m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

1)

$$F = E_e \Rightarrow F = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^4 \quad \therefore F = 1.6 \times 10^{-5} \text{ N}$$

2)

$$v_2^2 = v_1^2 + 2ax \quad F = ma$$

$$v_2^2 = 2 \times 1.8 \times 10^{15} \times 10^{-2} \quad a = \frac{f}{m_e} = \frac{1.6 \times 10^{-5}}{9.1 \times 10^{-31}}$$

$$v_2 = 6 \times 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad a = 1.8 \times 10^{15} \text{ m/s}^2$$

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \times 36 \times 10^{12}$$

$$KE = 1.6 \times 10^{-18} \text{ J} \Rightarrow KE = \frac{1.6 \times 10^{-18}}{1.6 \times 10^{-19}} = 100 \text{ eV}$$

3)

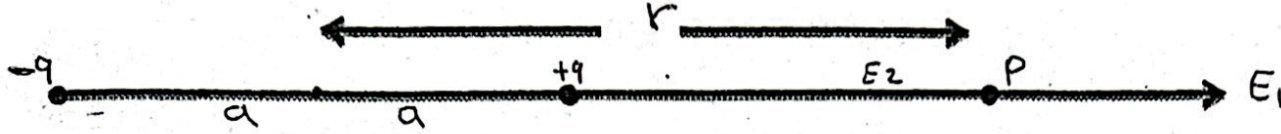
$$v_2 = v_1 + at \Rightarrow 6 \times 10^6 = 1.8 \times 10^{15} \times t$$

$$t = 3.3 \times 10^{-9} \text{ s} = 3.3 \text{ ns}$$

المجال الناشئ عن ثنائي القطب الكهربائي:

ان ثنائي القطب عبارة عن شحنتين نقطيتين متساويتين في المقدار احدهما موجبة (q_+) والاخرى سالبة (q_-) وتفصلهما مسافة قدرها $2a$.

أ- المجال الناشئ عند النقطة P الواقعة على امتداد محور الثنائي:



نفرض ان النقطة P تقع على مسافة r عن مركز ثنائي القطب

E_1 - المجال الناشئ عن الشحنة الموجبة:

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(r-a)^2}$$

E_2 - المجال الناشئ عن الشحنة السالبة:

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(r+a)^2}$$

$$E = E_1 - E_2 \Rightarrow E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q}{(r-a)^2} - \frac{q}{(r+a)^2} \right]$$

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{(r+a)^2 - (r-a)^2}{(r-a)^2(r+a)^2} \right]$$

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{4ar}{r^2 - 2a^2r^2 + a^4} \right]$$

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{4ar}{(r^2 - a^2)^2} \right] \dots \dots \dots *$$

إذا كانت ($r > a$) اي ان المسافة بين الشحنتين صغيرة جداً بالمقارنة مع (r) فيمكن اهمال (a) من المعادلة (*) اي ان:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{4ar}{r^4} \Rightarrow E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{4aq}{r^3} \dots P = 2aq \Rightarrow \therefore E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2(2aq)}{r^3}$$

العزم الكهربائي
لثنائي القطب

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2p}{r^3}$$

المجال الناشئ عند النقطة (P) الواقعة على العمود المنصف للمحور الثاني:

نفرض ان النقطة (P) تقع على البعد (r) عن المركز الثاني

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{x^2} ; \quad E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{x^2}$$

$$E_1 = E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{a^2 + r^2}$$

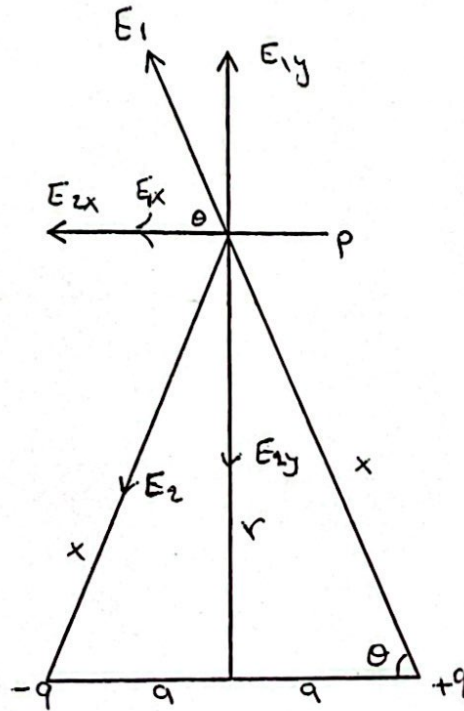
لغرض ايجاد المجال الكلي نحلل كل من E_1, E_2 :

$$E_{1x} = E_1 \cos \theta \quad E_{2x} = E_2 \cos \theta$$

$$E_{1y} = E_1 \sin \theta \quad E_{2y} = E_2 \sin \theta$$

لأنهما باتجاهين متعاكسين :

$$E_{1y} = E_{2y} \Rightarrow E_{1y} - E_{2y} = 0$$



أما المركبتان الموازيتان لمحور الثاني فهما بنفس الاتجاه وعليه فإن شدة المجال الكلي (E) يكون كما يلي:

$$E = E_{1x} + E_{2x}$$

$$E = E_1 \cos \theta + E_2 \cos \theta$$

$$E = 2E_1 \cos \theta$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q}{a^2 + r^2} \frac{a}{(a^2 + r^2)^{1/2}}$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2aq}{(r^2 + a^2)^{3/2}}$$

إذا كانت (a) صغيرة جداً بالمقارنة مع (r) $r \gg a$ فيمكن إهمال (a^2) من المقام:

$$r \gg a \quad a^2 \approx 0$$

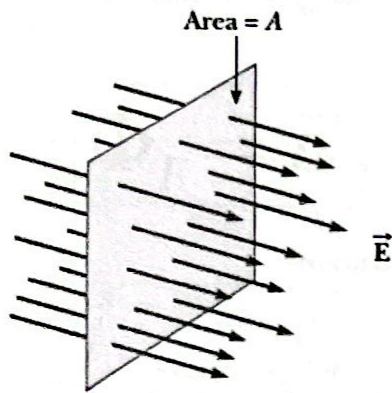
$$\therefore \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2aq}{r^3}$$

$$\dots p = 2aq$$

$$\therefore E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3}$$

الفيض الكهربائي هو مقياس عدد خطوط المجال التي تخترق السطح.

يربط قانون جاوس بين الفيض الكهربائي خلال سطح مغلق و الشحنة الكلية داخل السطح.



نفرض

مجال كهربائي E منتظم في المقدار و الاتجاه.

خطوط المجال تخترق سطح مساحته A عمودياً على المجال.

يتناسب عدد خطوط المجال بالنسبة للمساحة N/A مع

$$E \propto N/A \quad \text{المجال } E$$

$$N \propto EA$$

نتيجة

عدد خطوط المجال تتناسب مع حاصل الضرب (EA)

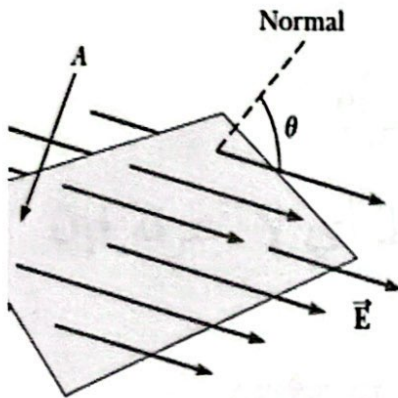
يسمى هذا المقدار
الفيض الكهربائي

الفيض الكهربائي ELECTRIC FLUX

إذا الفيض الكهربائي هو حاصل الضرب القياسي لمتجه المجال و المساحة التي تمر فيها خطوط المجال.

$$\Phi_E = E \cdot A$$

$$\Rightarrow \Phi_E = E A \cos \theta$$



الزاوية بين متجه المجال والعمودي على المساحة التي تمر فيها الخطوط

$$\Phi_E \rightarrow \frac{N.m^2}{C}$$

يقاس الفيض الكهربائي
بوحدة نيوتن.متر^٢/كولوم

الفيض الكهربائي ELECTRIC FLUX

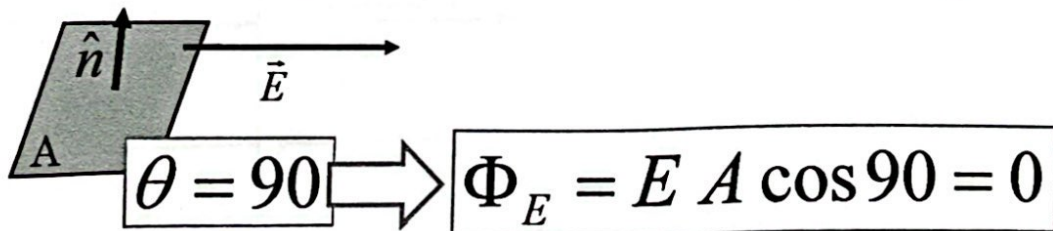
$$\Phi_E = E A \cos \theta$$

من المعادلة يمكن استنتاج الآتي:

تحدد قيمة الفيض الكهربائي من قيم: E, A, θ

متى تكون قيمة الفيض الكهربائي صفراً؟

إذا كانت خطوط المجال تمس السطح عند كل النقاط أي لا تخترقه فإن الفيض يساوي صفراً.



$$\Phi_E = E A \cos \theta$$

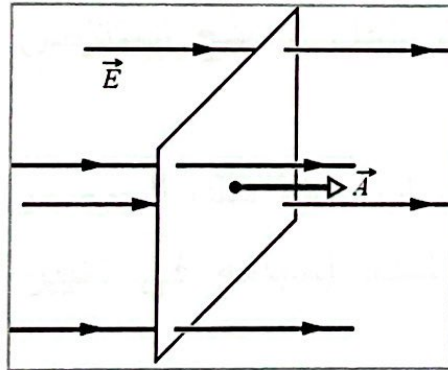
ما هي أكبر قيمة للفيض الكهربائي؟

$$\Phi_E = E A$$

متى تكون قيمة الفيض الكهربائي أكبر ما يمكن؟

$$\theta = 0$$

أي إذا كان المجال الكهربائي عمودي على المساحة



ينص قانون كاوس :-

"التكامل السطحي للمركبة العمودية لشدة المجال الكهربائي على سطح مفترض مغلق يساوي القيمة الإجمالية للشحنة الموجودة داخل السطح المغلق q_{tot} مقسوماً على سماحية الفضاء الحر أو الفراغ ϵ_0 ".

ويمكن تلخيص مضمون قانون كاوس على أنه إذا تعرض أي سطح مغلق لمجال كهربائي فإن عدد خطوط القوى التي تتفذ منه إلى الخارج تساوي المجموع الجبري للشحنات المحصورة داخل هذا السطح مضروباً في $1/\epsilon_0$.

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot \mathbf{dS} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

- الشروط التي يجب مراعاتها عند اختيار كاوس

- (1) أن يمر السطح المغلق بالنقطة المراد حساب شدة المجال عندها.
- (2) أن يكون السطح المغلق متلائماً مع توزيع الشحنات.
- (3) أن تسقط خطوط القوة عمودية أو موازية أو تصنع زاوية يسهل حسابها.
- (4) أن تكون شدة المجال ثابتة على أجزاء السطح المختلفة.

ومن نص قانون كاوس يمكن استنتاج النقاط الآتية:

- 1- الشحنة q_{tot} تمثل حصرياً الشحنة الموجودة داخل السطح المفترض المغلق (سطح كاوس) بنوعيتها سواء كانت موجبة أم سالبة.
- 2- إذا كانت الشحنة ذات توزيع متصل فينبغي أن يؤخذ ذلك الجزء من الشحنة الواقع داخل سطح كاوس فقط ويهمل الجزء الآخر لعدم إسهامه في تغيير الفيض المجال الكهربائي المخترق للسطح.
- 3- إذا كانت الشحنة الخالصة داخل السطح مزيجاً متكافئاً من الشحنات السالبة والموجبة فإن قيمة الفيض خلال السطح المغلق تكون صفراً.
- 4- في الحالة التي تكون فيها الشحنة الكلية داخل سطح كاوس المفترض تساوي صفراً، فإن قيمة الفيض الكهربائي خلال السطح تساوي صفراً أيضاً.

الاستنتاجات من قانون كاوس فيما يخص الشحنة داخل الموصل

الشكل يمثل جسما وصلا ممتلئا غير منتظم الشكل اعطية شحنة مقدارها q فان هذه الشحنة تتوزع كليا على السطح ، نرسم سطح منقط يسمى بـ سطح كاوس داخل الجسم وقريب من السطح الخارجي وبالرجوع الى قانون كاوس ان عدد الخطوط التي تعبر هذا السطح مساوية الى $\frac{1}{\epsilon_0}$ مضروبا في المقدار الصافي للشحنة ضمن السطح .

بما ان الشحنات ساكنة يكون المجال الكهربائي عند جميع سطح كاوس يساوي صفر ، وعلية العدد الكلية لخطوط القوى التي تعبر السطح الكاوس صفرا والشحنة الفائضة تستقر كلها على السطح الخارجي للموصل . شدة المجال داخل الجسم الموصل المشحون يساوي صفرا (لان الشحنات تستقر على السطح)

$$\phi = \frac{q}{\epsilon_0} = 0$$

اما اذا كان الجسم مجوف ايضا لاتوجد شحنة داخل هذا السطح وهذا يدل على عدم وجود شحنة ولا مجال في الفجوة نفسها .

الاستنتاجات من قانون كاوس فيما يخص المجال خارج الموصل المشحون

الشكل يبين شحنة مقدارها q موزعة بانتظام بشكل كرة نصف قطرها R ، نرسم سطح كاوس بشكل سطح كروي متحد المركز مع الشحنة وبنصف قطر r وبتطبيق قانون كاوس على هذا السطح .
 θ هي الزاوية المحصورة بين خطوط المجال والعمود على السطح

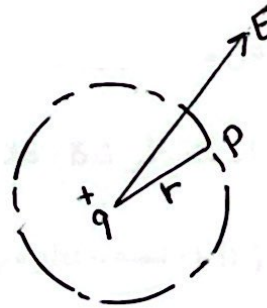
$$\oint_A E \cos \theta dA = \frac{q_{tot}}{\epsilon_0}$$

$$\theta = 0 : \cos 0 = 1$$

$$E.A = \frac{q_{tot}}{\epsilon_0}$$

$$E.4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0}$$

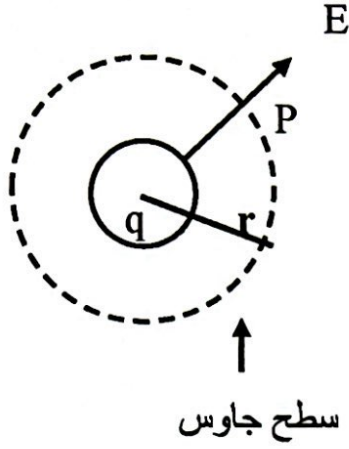
$$E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$



نستنتج ان شدة المجال خارج كرة مشحونة يظهر وكأنها هذه الشحنة متجمعة في مركزها وهي نفس النتيجة في حالة الشحنة النقطية

تطبيقات على قانون جاوس:

(أ) شدة المجال حول كرة مشحونة:



نفرض سطح جاوس هو كرة حول الكرة المشحونة

بحيث سطح جاوس يمر بالنقطة (P) ونصف قطرها (r)

وحيث أن خطوط المجال عمودية على سطح جاوس

فيمكن تطبيق قانون جاوس كما يلي:

قانون جاوس:

$$\oint \mathbf{E} \cdot \cos\theta \cdot dS = \frac{q}{\epsilon_0}$$

** وحيث أن اتجاه المجال عمودي على سطح جاوس الكروي ومذها يكون الزاوية بين اتجاه المجال والعمودي على السطح θ هي صفر وهذا يعنى أن ($\cos 0 = 1$)

فتكون معادلة جاوس:

$$E \int_0^{4\pi r^2} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$$

فتصبح $E \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0}$

ومنها يكون شدة المجال الكهربائي هي:

$$E = \frac{1}{4\pi r^2} \frac{q}{\epsilon_0} \quad \dots \text{أو هو} \dots \quad \boxed{E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r^2}}$$

(ب) شدة المجال الناشئ عن سلك طويل مشحون:

سنفرض سطح جاوس حول السلك على شكل غلاف

إسطواني حول السلك طوله (b) ونصف قطره (r)

وإذا كانت الشحنة لوحدة الأطوال هي (λ)

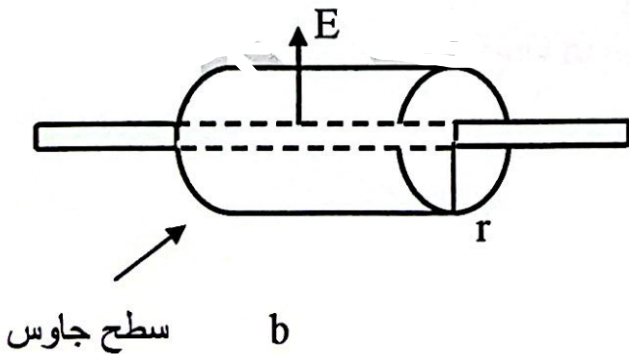
فتكون الشحنة الكلية للإسطوانة هي ($q = \lambda b$)

وحيث أن خطوط القوى الكهربائية عمودية على

سطح جاوس فيمكن تطبيق قانون جاوس كما يلي:

وحيث ($\theta = 0$) صفر)

$$\oint \mathbf{E} \cdot \cos\theta \cdot dS = \frac{q}{\epsilon_0}$$



بمعنى ان ($\cos 0 = 1$) ومساحة الإسطوانة ($2\pi r b$)

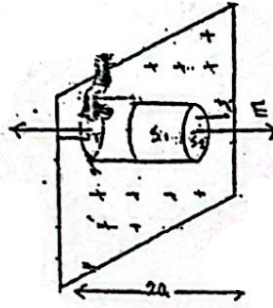
$$E \int_0^{2\pi r b} dS = \frac{\lambda b}{\epsilon_0} \quad \text{فتكون معادلة جاوس:}$$

$$E \cdot 2\pi r b = \frac{\lambda b}{\epsilon_0} \quad \text{وبعد إجراء التكامل تصبح المعادلة:}$$

$$E = \frac{1}{2\pi \epsilon_0} \frac{\lambda}{r} \quad \text{وتكون شدة المجال الكهربائي هي:}$$

المجال الناشئ عن شحنة موزعة بشكل صفيحة :-

نأخذ جزء من صفيحة رقيقة مستوية ولانهائية من الشحنت الموزعة بانتظام بكثافة سطحية مقدارها $(\sigma \text{ ق/m}^2)$ والمطلوب إيجاد شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد مسافة (a) عن مستوى الشحنة . نختار سطح كاوس على شكل اسطوانة مقطوعها (S) وارتفاعها (2a) وتوضع بالشكل الذي يكون محورهما عمودي على مستوى الشحنة ومن التناظر يتضح أن اتجاه المجال يكون عموديا على مستوى الشحنة ومبتعدا عنه



لحساب الفيض نقسم سطح كاوس إلى ثلاثه اقسام :

S_1 السطح الاسطوانى

S_2 القاعدة اليمنى

S_3 القاعدة اليسرى

$$\int_{S_1} E \cdot d\vec{S} = \int_{S_1} E \cdot dS \cos \theta = 0 \quad (\theta = 90^\circ)$$

$$\int_{S_2} E \cdot d\vec{S} = \int_{S_2} E \cdot dS \cos \theta = ES \quad (\theta = 0^\circ)$$

$$\int_{S_3} E \cdot d\vec{S} = \int_{S_3} E \cdot dS \cos \theta = ES \quad (\theta = 0^\circ)$$

$$\oint_S E \cdot d\vec{S} = \int_{S_1} E \cdot d\vec{S} + \int_{S_2} E \cdot d\vec{S} + \int_{S_3} E \cdot d\vec{S}$$

$$\oint_S E \cdot d\vec{S} = 0 + ES + ES = 2ES$$

بتطبيق قانون كاوس

$$\int E \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0} \Rightarrow 2ES = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$q = \frac{q}{s}$$

$$q = \sigma s$$

مثال:

سطح كروي موصل نصف قطره (R) يحمل شحنة موجبة كثافتها السطحية (σ). أوجد باستخدام قانون كاوس شدة المجال الكهربائي عند أية نقطة:

- خارج السطح الكروي
- داخل السطح الكروي
- ما مقدار المجال عند السطح.

a) نختار سطح كاوس بشكل كرة نصف قطرها (r) بحيث ($r > R$) ونطبق قانون كاوس:

$$\int E dS = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\int E dS \cos \theta = \frac{q}{\epsilon_0}$$

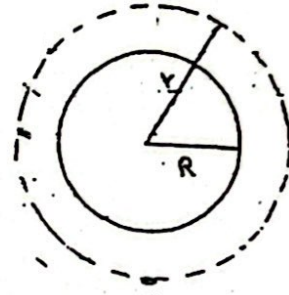
$$ES = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{\sigma \cdot 4\pi R^2}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma R^2}{\epsilon_0 r^2}$$

$$\sigma = \frac{q}{Area} = \frac{q}{4\pi R^2}$$

$$q = \sigma \cdot 4\pi R^2$$



b)

$$q = 0$$

$$E = 0$$

∴ الشحنة داخل السطح

داخل السطح الكروي
∴ السطح موصل

c)

$$R = r$$

عند السطح

$$E = \frac{\sigma R^2}{\epsilon_0 R^2}$$

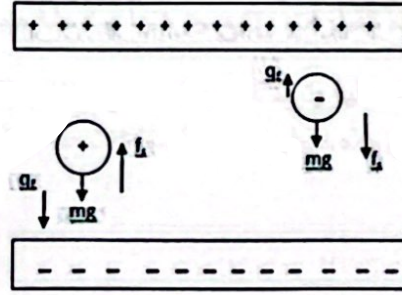
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

تجربة ميليكان (قطرة الزيت)

نظرية التجربة:

في عام 1909 م نجح العالم روبرت ميليكان في حساب الشحنة الأولية للألكترون وإثبات أن هذه الشحنة مكّمة في تجربته الشهيرة قطرة الزيت، حيث قام بتعريض قطرات من الزيت لمجال كهربى عمودي، وذلك بإدخال بعض قطرات من زيت قليل التطاير بواسطة مرذاذ بين لوحى مكثف تفصل بينهما مسافة معينة d ويملأ الهواء الحيز بينهما ويتصل هذان اللوحان بمصدر للمجال الكهربى فإذا وصل اللوح العلوى للمكثف بالقطب الموجب للمصدر، فإنه يشحن بشحنة موجبه ويشحن اللوح السفلى بشحنة سالبه، وبناءً على ذلك فإن القطرات المحصورة بين لوحى المكثف ستعرض لثلاث قوى كما فى الشكل (1):

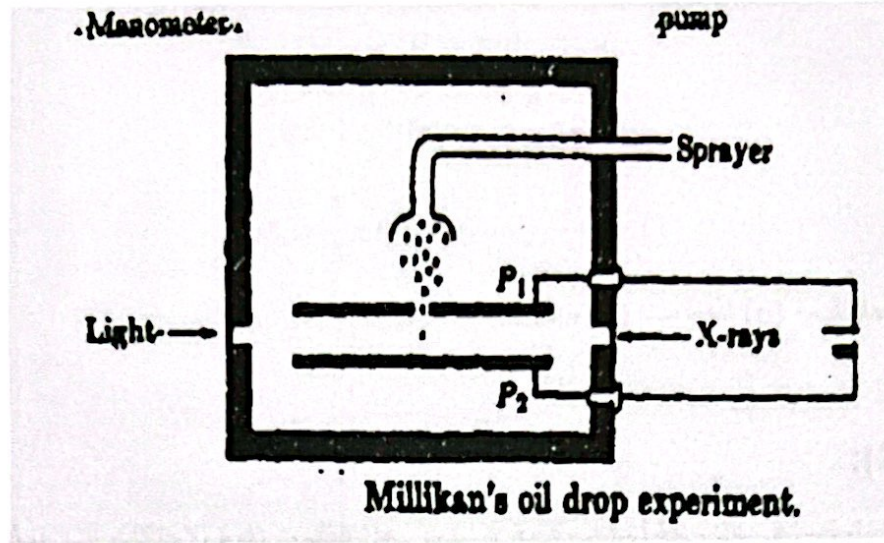
- 1- وزن القطرة ($F_1=mg$) وإتجاهها لأسفل.
- 2- قوة جذب كهروستاتيكية ($F_2=qE$) بين الشحنة الموجودة على القطرة وشحنة لوح المكثف العلوى الموجبه.
- 3- قوة الاحتكاك ($F_3=f_v$) مع الهواء الموجود بين لوحى المكثف ، وتكون فى عكس إتجاه حركة القطره.



شكل (1): يوضح القوى الثلاث المؤثرة على قطرتي زيت تحمل احدهما شحنة سالبة والاخرى موجبة تتحركان فى مجال

ومحصلة هذه القوى الثلاث هي التى تؤثر على قطرة الزيت، ولكن بما أن تأثير قوة الجاذبية وقوى الاحتكاك يعد ضعيفاً ، مقارنة بتأثير قوة المجال الكهربى ، فإتينا سنلاحظ أن قطرات الزيت تتحرك فقط وفق القوى الكهروستاتيكية (الكهربية الساكنة) إما لأعلى أو لأسفل، وبأخذ هذه القوى الثلاث فى الإعتبار وقياس نصف قطر قطرة الزيت بطريقة العالم ستوك لقياس اللزوجة، تمكن العالم ميليكان من حساب الشحنة الكهربائية على قطرة الزيت الواحده ووجد أن هذه الشحنة تشكل مضاعفات صحيحة لكمية ثابتة من الشحنة، ألا وهي شحنة الألكترون 1.602×10^{-19} كولوم.

استخدم الجهاز المبين في الشكل التالي:



يتكون الجهاز من:

- 1- P_1, P_2 لوحان متوازيان موضوعان في صندوق معدني لتجنب التيارات الهوائية.
 - 2- فوق اللوح العلوي يتطاير رذاذ من الزيت من مرشة والذي يدخل بين اللوحين من خلال ثقب في اللوح العلوي.
 - 3- تسلط حزمة ضوئية لغرض مشاهدة هذه القطرات وتتبع حركتها بواسطة مجهر.
- عند ربط اللوحين الى بطارية ذات فولتية عالية يتولد مجال كهربائي منتظم (E) بين اللوحين فانها تكتسب شحنات سالبة نتيجة احتكاكها بالهواء, ولنفرض ان احدى هذه القطرات قد اكتسبت شحنة سالبة (q) وعندما تتحرك القطرة داخل المجال تكون تحت تأثير ثلاث قوى:

1- القوة الكهربائية نحو الاعلى

2- قوة دفع الهواء (B) نحو الاعلى

3- وزن القطرة ($W=mg$) نحو الاسفل

$$F = qE$$

وبتغيير شدة المجال الكهربائي يمكن موازنة القطرة حيث ان:

$$qE + B = mg$$

$$m = \text{density} \times \text{volume} \rightarrow m = \frac{4}{3}\pi R^3 Dg$$

$$w = mg \rightarrow \frac{4}{3}\pi R^3 Dg$$

D = كثافة القطرة , d = كثافة الهواء , R = نصف قطر القطرة

$$B = \text{كثافة الهواء} \times \text{حجم الهواء المزاح} = B$$

$$B = \frac{4}{3}\pi R^3 dg$$

$$B = mg$$

$$qE + \frac{4}{3}\pi R^3 dg = \frac{4}{3}\pi R^3 Dg$$

$$qE = \frac{4}{3}\pi R^3 g(D - d) \text{ --- (1)}$$

من المعادلة (1) يمكن ايجاد قيمة (q) اذا كانت (R) معلومة.

كيفية حساب قيمة (R):

لقد استخدم ملىكان قانون ستوكس في اللزوجة لحساب قيمة R ينص هذا القانون (قوة الاحتكاك التي تؤثر على كرة نصف قطرها R تسقط في مائع لزوجته η بسرعة v هي :

$$f = 6\pi\eta Rv$$

وعند ازالة تأثير المجال تسقط القطرة بفعل الجاذبية الى ان تصل سرعتها الى قيمة ثابتة وعندها يحصل التوازن ويصبح مجموع القوى المؤثرة عليها يساوي صفر.

1-وزن القطرة ($w=mg$) نحو الاسفل

2-قوة دفع الهواء نحو الاعلى (B)

3-قوة اللزوجة (f) نحو الاعلى

$$f + B = mg$$

$$6\pi R\eta v + \frac{4}{3}\pi R^3 dg = \frac{4}{3}\pi R^3 Dg$$

$$\frac{2}{3}R^3 g(D - d) = 3\eta Rv$$

$$2R^2 g(D - d) = 9\eta v \text{ --- (2)}$$

بقياس قيمة (v) يمكن حساب نصف قطر القطرة (R) في المعادلة (1) يمكن ايجاد مقدار الشحنة (q) والتي تمثل شحنة القطرة وعند قياس ملىكان قيمة (q) لعدد كبير من القطرات لاحظ بانها تساوي مضاعفات صحيحة لكمية ثابتة والتي هي ($1.6 \times 10^{-19} \text{ c}$) والتي تمثل شحنة الالكترون.

مثال:

في تجربة مليكان لوحظ ان قطرة زيت تسقط مسافة قدرها (2mm) في زمن قدره (54.3) في حالة غياب المجال الكهربائي بين اللوحين . مكا لوحظ أنه يمكن توازن القطرة نفسها في مجال شدته $(2.37 \times 10^4 \text{ N/c})$ بحيث تبقى ساكنة فيه فإذا علم ان معامل اللزوجة للهواء $(1.8 \times 10^{-4} \text{ N.s/m}^2)$ وكثافة الزيت (824 kg/m^3) وكثافة الهواء (1.3 kg/m^2) احسب قيمة الشحنة التي تحملها هذه القطرة .

$$v = \frac{x}{t} \Rightarrow v = \frac{2 \times 10^{-3}}{54.3} \Rightarrow v = 3.68 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

باستخدام المعادلة (2) نحسب قيمة (R) :

$$2R^2 g(D-d) = 9\eta v$$

$$2R^2 \times 9.8(824-1.3) = 9 \times 1.8 \times 10^{-4} \times 3.68 \times 10^{-5}$$

$$R = 6.08 \times 10^{-7} \text{ m}$$

نستخدم المعادلة (1) لإيجاد مقدار (q)

$$qE = \frac{4}{3} \pi R^3 g(D-d)$$

$$q \times 2.37 \times 10^4 = \frac{4}{3} \times 3.14 \times (6.08 \times 10^{-7})^3 \times 9.8 \times (824-1.3)$$

$$q = 3.2 \times 10^{-19} \text{ c}$$

مثال:

في تجربة مليكان توازنت قطرة زيت نصف قطرها $(5 \times 10^{-5} \text{ cm})$ بين لوحين عندما كانت شدة المجال بينهما (12800 N/c) اوجد مقدار الشحنة التي تحملها القطرة اذا علمت ان كثافة الزيت (0.8 g/cm^3) (اهمل قوة دفع الهواء)

$$mg = Eq + B$$

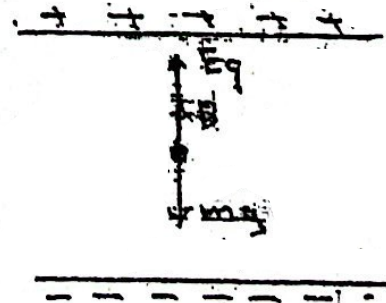
$$\therefore B = 0$$

$$\therefore mg = Eq$$

$$\frac{4}{3} \pi R^3 g \rho = Eq$$

$$\frac{4}{3} \times 3.14 \times (5 \times 10^{-7})^3 \times 9.8 \times 0.8 \times 10^3 = 12800 \times q$$

$$q = 3.2 \times 10^{-19} \text{ c}$$



الكهربائية

الفصل الثالث : الجهد الكهربائي

جامعة الحمدانية

م. بان عبد المسيح بدر

1.3 - الجهد الكهربائي (The Electric Potential)

من المعلوم انه لو وضعت شحنة كهربائية في مجال كهربائي لتأثرت بقوة. وهذا يعني ان تحريك هذه الشحنة من نقطة الى اخرى يتطلب انجاز شغل وبدلالة هذا الشغل سنعرف الجهد الكهربائي (ونرمز له بالحرف V) ليساعدنا في وصف ودراسة المجالات الكهربائية جنباً الى جنب مع شدة المجال الكهربائي E . والجهد هو كمية عددية وهذا يجعل التعامل معه رياضياً اسهل بكثير من التعامل مع الكمية الاتجاهية E . وبذلك يمكن لنا تمثيل فرق الجهد بين نقطتين (A & B) هو الشغل الخارجي (W_{AB}) المنجز لتحريك الشحنة الاختبارية q_0 بين تلك النقطتين.

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} \dots\dots\dots (10)$$

وقد اصطلح ان يكون الجهد عند نقطة بعيدة بعداً كبيراً (لانهاية) عن كل الشحنات صفراً. وعلى هذا الاساس لو اخترنا النقطة A في المالا نهاية لاصبح الجهد V_A صفراً. وبالتعويض في المعادلة (8) نحصل على الجهد الكهربائي عند نقطة B . وبصورة عامة نعرف الجهد عند اية نقطة واقعة في المجال الكهربائي حسب المعادلة التالية.

$$V(volt) = \frac{W(joule)}{q_0(coulomb)} \dots\dots\dots (11)$$

اي ان الجهد الكهربائي عند اي نقطة هو الشغل لوحدة الشحنة الواجب انجازة لنقل شحنة موجبة اختبارية صغيرة من المالا نهاية الى تلك النقطة.

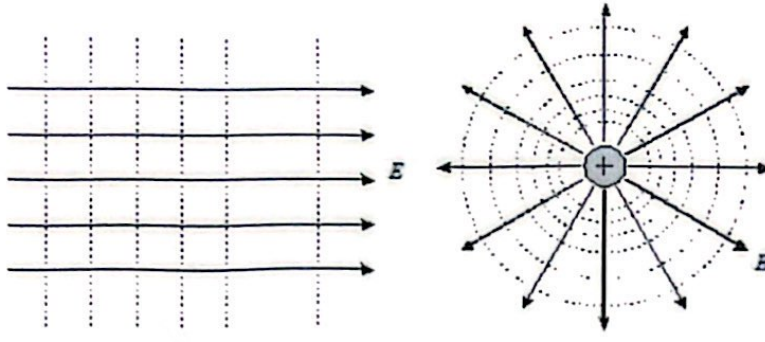
مع التاكيد على نقطتين

- اولاً: ان تكون الشحنة الاختبارية صغيرة بحيث يكون تحريكها من نقطة لاخرى لا يغير من المجال الكهربائي الاصل.

- ثانياً: هو اختيار نقطة مرجع (reference point) يتفق على قيمة الجهد عندها مسبقاً. وفي تعريفنا للجهد اخترنا النقطة المالا نهاية واعتبرنا الجهد عندها صفراً. ففي كثير من مسائل الدوائر الكهربائية يتخذ جهد الارض مرجعاً لقياس الجهد ويعتبر جهدها مساوياً للصفر.

سطح تساوي الجهد The equipotential surface

سطح تساوي الجهد هو الذي تكون فيه قيم الجهد متساوية في كل نقاطه حيث ان $V_B - V_A = \text{zero}$ اذا كانت النقطتان على سطح واحد. ولذلك فان الشغل المبذول لتحريك شحنة اختبارية بين نقطتين في سطح تساوي الجهد يساوي صفراً ، وتكون سطوح تساوي الجهد عمودية على خطوط القوة الكهربائية .



مجال منتظم

مجال غير منتظم

خطوط المجال (خط متصل)، سطح تساوي الجهد (خط مقطع)

الجهد الكهربائي والمجال الكهربائي Electric Potential and Electric Field

1-- (في حالة المجال المنتظم) Uniform electric field

نفترض q_0 تحركت بمؤثر خارجي من A إلى B في مجال كهربائي منتظم تتأثر الشحنة الاختبارية بقوة كهربائية $q_0 E$ نحو الأسفل. فيكون الشغل المنجز لتحريك الشحنة من النقطة A إلى النقطة b :

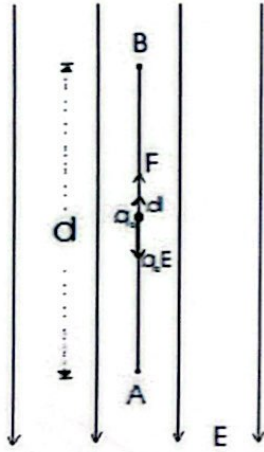


Figure 4

$$W_{AB} = Fd = q_0 Ed \quad (2)$$

The potential difference $V_B - V_A$ is

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} = Ed \quad (3)$$

تبين المعادلة العلاقة بين الجهد الكهربائي والمجال الكهربائي المنتظم .
لاحظ ان :

$$\frac{\text{نيوتن}}{\text{كولوم}} = \frac{\text{نيوتن} \cdot \text{متر}}{\text{كولوم} \cdot \text{متر}} = \frac{\text{جول}}{\text{كولوم} \cdot \text{متر}} = \frac{\text{فولت}}{\text{متر}}$$

2 - مجال كهربائي غير منتظم (حالة عامة)

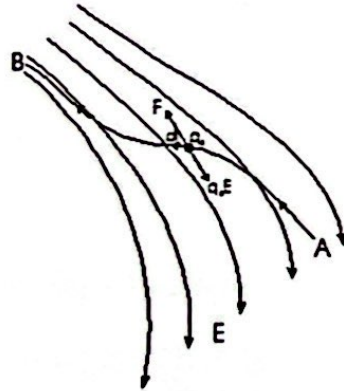
The relation in general case (not uniform electric field):

الشغل المنجز لتحريك شحنة اختبارية من A إلى B خلال مسافة dl ضمن مجال كهربائي غير منتظم :

$$W_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{l} = -q_0 \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (4)$$

The potential difference $V_B - V_A$ is,

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (5)$$



وإذا كانت A في المالا نهاية فإن $V_A = 0$ ويكون الجهد في النقطة B :

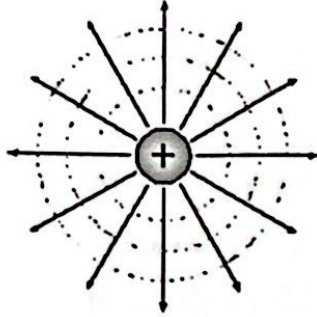
$$V_B = - \int_{\infty}^B \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (6)$$

وهي معادلة عامة تربط المجال والجهد

الجهد الناتج من شحنة نقطية The potential due to a point charge

إذا كانت $V_A = 0$ (i.e. $r_A \Rightarrow \infty$) فإن :

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \quad (16)$$



لاحظ أن المجال الكهربائي لشحنة يتناسب عكسياً مع مربع المسافة، بينما الجهد الكهربائي يتناسب عكسياً مع المسافة.

الجهد لمجموعة شحنات

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (17)$$

$$\therefore V = \sum_n V_n = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_n \frac{q_n}{r_n} \quad (18)$$

تأخذ الإشارة في الحساب، لأنك تجمع جمعاً q عند التعويض عن قيمة الشحنة كما كنا نفعل في المجال الكهربائي حيث تحدد الإشارة جبرياً هنا وليس جمعاً اتجاهياً. الرسم الاتجاه على

مثال

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 فإن $V = -12V$ ، لذا فإن الشغل المبذول في هذه الحالة هو:
 $W = \Delta Vq = (-12)(-1.6 \times 10^{-19}) = 1.9 \times 10^{-18} J$

مثال

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

الحل :

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$
$$V = 9 \times 10^9 \frac{500 \times 10^{-6}}{0.03} = 150000 V = 150KV$$

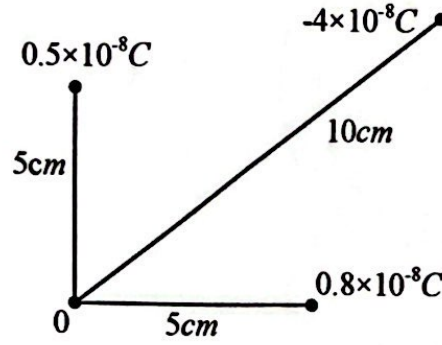
ثلاث شحنات نقطية $0.8 \times 10^{-8} C$ و $-4 \times 10^{-8} C$ و $0.5 \times 10^{-8} C$

جميعها واقعة في المستوي xy ومثبتة في المواقع المؤشرة في الشكل (4-9). جد مقدار

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

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

الحل :



الشكل (4-9).

1- الإسهامات المختلفة في الجهد عند النقطة 0 هي :

$$V_1 = 9 \times 10^9 \frac{0.5 \times 10^{-8}}{0.05} = 900 V$$

$$V_2 = 9 \times 10^9 \frac{-4 \times 10^{-8}}{0.1} = -3600 V$$

$$V_3 = 9 \times 10^9 \frac{0.8 \times 10^{-8}}{0.05} = 1440 V$$

والجهد الكلي عند 0 هو:

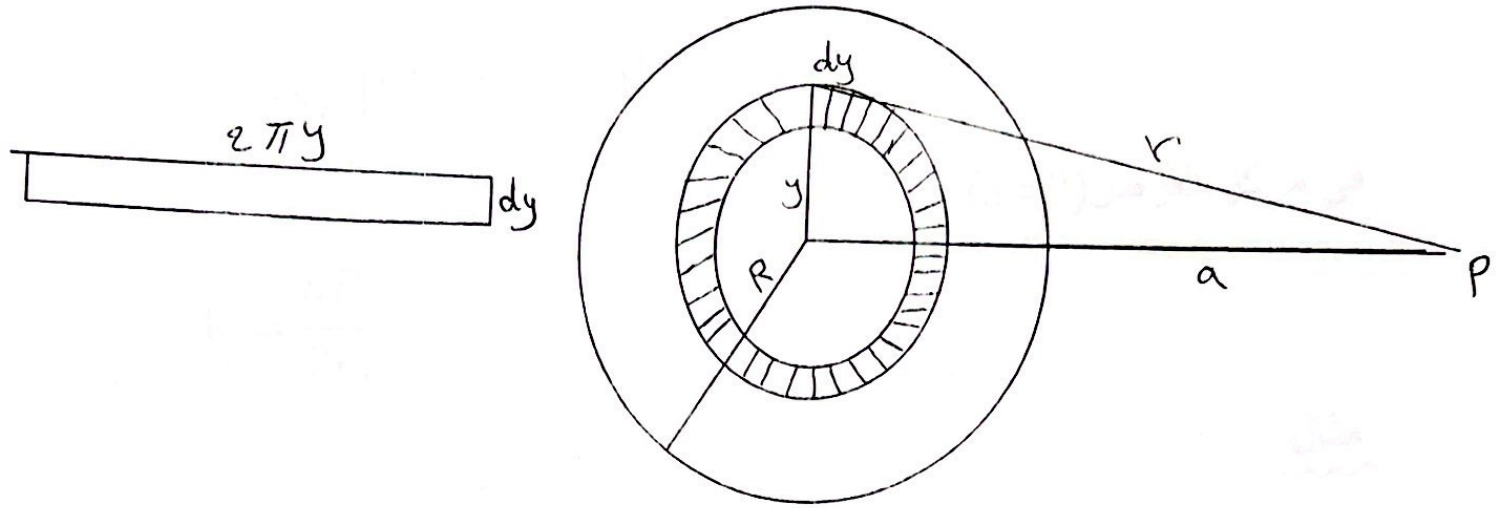
$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

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

2- الشغل المطلوب لإنجازه لإحضار إلكترون بعيد جداً هو :

$$W = qV = (-1.6 \times 10^{-19})(-1260) = 2 \times 10^{-16} J$$

الجهد الناشئ عن قرص مشحون:



الشكل يوضح قرص دائري نصف قطره (R) مشحون بشحنة منتظمة كثافتها السطحية (σ) والمطلوب إيجاد الجهد عند النقطة (P) الواقعة على محور هذا القرص والتي تبعد مسافة (a) عن المركز.

نأخذ عنصر تفاضلي بشكل حلقة نصف قطرها (y) و عرضها (dy) وتحمل شحنة مقدارها (dq).

$$dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r}$$

$$dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{\sqrt{y^2 + a^2}}$$

$$dq = \sigma \times 2\pi y dy$$

$$dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sigma(2\pi y)dy}{\sqrt{y^2 + a^2}}$$

$$V = \int dV = \frac{\sigma}{2\epsilon} \int_0^R \frac{y dy}{\sqrt{y^2 + a^2}}$$

$$V = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \int dx = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} (x)$$

$$V = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left[\sqrt{y^2 + a^2} \right]_0^R$$

$$V = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left[\sqrt{y^2 + a^2} - a \right]$$

$$\text{Let } x = \sqrt{y^2 + a^2}$$

$$dx = \frac{1}{2} (y^2 + a^2)^{-1/2} \cdot 2y dy$$

$$dx = \frac{y dy}{\sqrt{y^2 + a^2}}$$

في مركز القرص ($a=0$)

$$V = \frac{\sigma R}{2\epsilon_0}$$

مثال

شحنة موزعة بانتظام على قرص نصف قطره (3.5 cm). فإذا كان الجهد الكهربائي في مركز القرص ($V_0 = 550 \text{ V}$)

- 1- ما مقدار الشحنة الكلية (q) الموزعة على هذا القرص.
- 2- ما مقدار الجهد الكهربائي عند نقطة واقعة على محور هذا القرص وعلى بعد ($a = 5R$) عن مركزه.

$$V = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left[\sqrt{R^2 + a^2} - a \right]$$

1-at the center $a=0$

$$V_0 = \frac{\sigma R}{2\epsilon_0} \Rightarrow \sigma = \frac{2\epsilon_0 V_0}{R}$$

$$\sigma = \frac{2 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 550}{0.035}$$

$$\sigma = 2.78 \times 10^{-7} \text{ C/m}^2$$

$$q = \sigma(\pi R^2) = 2.78 \times 10^{-7} \times 3.14 \times (0.035)^2$$

$$q = 1 \times 10^{-9} \Rightarrow q = 1.0 \text{ nc}$$

2-when $a=5r$

$$V = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} [\sqrt{R^2 + 25R^2} - 5R] = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} [5.1R - 5R]$$

$$V = \frac{0.1 \times \sigma R}{2\epsilon_0} \Rightarrow V = 0.1 \times V_0$$

$$= 0.1 \times 550$$

$$\therefore V = 55V$$

جهد الجسم الكروي المشحون عندما يكون في حالة اتزان

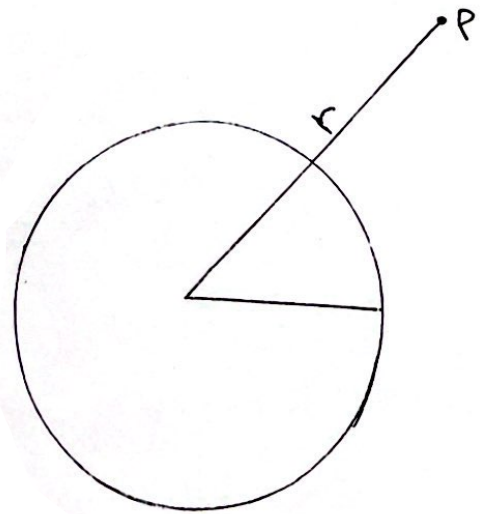
كهروستاتيكي:

ان شدة المجال الكهربائي خارج جسم موصل كروي يحمل شحنة مقدارها (q) هي:

$$V = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

وان الجهد عند اية نقطة خارج الموصل الكروي وعلى بعد (r) عن مركزه هو:

$$V = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r}$$



لإيجاد الجهد الكهربائي عند أية نقطة في داخل الكرة نأخذ نقطتين A, B احدهما داخل الموصل والأخرى على سطحه ثم نجد ان فرق الجهد بين هاتين النقطتين يصبح:

$$V_B - V_A = - \int_A^B E \cdot dl = 0$$

لان شدة المجال داخل الموصل يساوي صفر

$$\therefore V_B - V_A = 0 \Rightarrow V_B = V_A$$

اي ان الجهد عند النقطة A يساوي الجهد عند النقطة B . وبصورة عامة فان قيمة الجهد عند جميع النقاط الواقعة داخل الموصل تكون متساوية وتساوي الجهد على سطحه اي ان:

$$V = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{R}$$

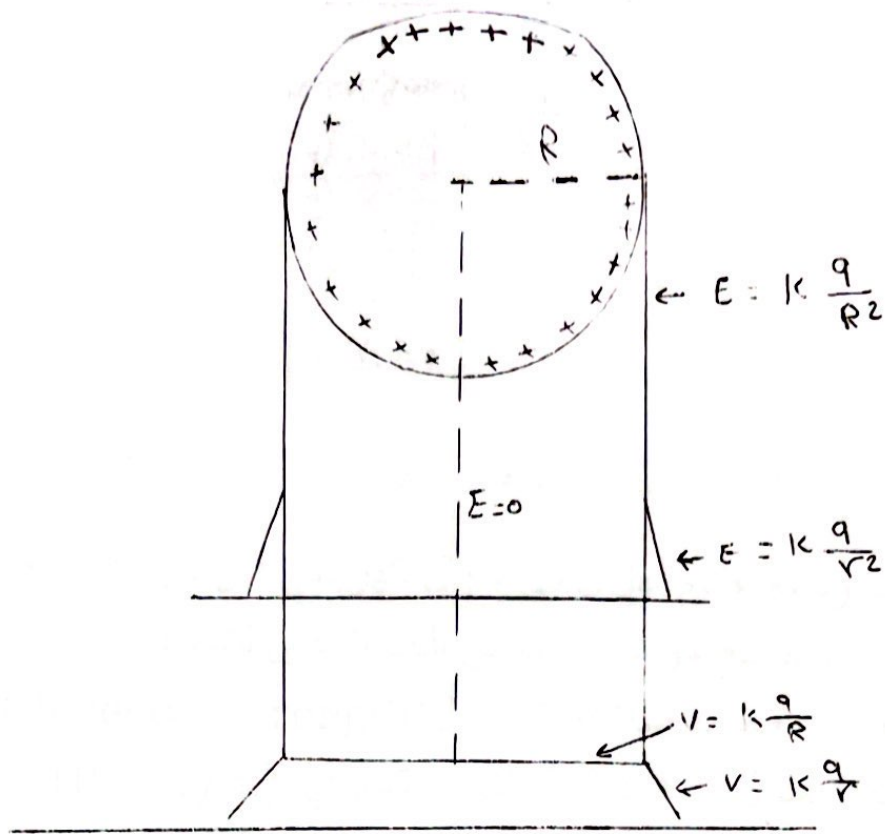
R - نصف قطر الموصل الكروي.

ملاحظة:

لو لم تكن جميع النقاط الداخلية متساوية الجهد لانقلت الشحنات من النقاط الاقل جهدا الى النقاط الاعلى جهدا في الموصل ولكن هذا لا يحدث نظرا لان الشحنات مستقرة على سطح الموصل الخارجي.

الشكل ادناه يبين كرة موصلة نصف قطرها (R) مشحونة بشحنة قدرها

(٩+) موضعا مقدار كل من شدة المجال والجهد داخل وخارج الكرة.



1- قيمة الجهد ثابتة لجميع النقاط داخل الكرة حسب العلاقة:

$$V = K \frac{q}{R}$$

2- قيمة الجهد تتناقص مع $1/r$ عند النقاط خارج الكرة حسب العلاقة:

$$V = K \frac{q}{r}$$

3- شدة المجال تساوي صفر داخل الكرة اما مقدارها على سطح الكرة:

$$E = K \frac{q}{R^2}$$

4- تتناقص شدة المجال خارج الكرة مع $1/r^2$ حسب العلاقة:

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

ملاحظة:

على سطح الكرة

$$E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{R^2}$$

$$E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{R} \times \frac{1}{R} \quad \therefore \frac{1}{4\pi \epsilon_0 R} \frac{q}{R} = V$$

$$\therefore E = V \times \frac{1}{R}$$

العلاقة بين V, E على سطح الكرة $V=ER \Rightarrow$

1- عند وضع جسم عازل في مجال كهربائي فان جزيئات العازل قد تتأين ويصبح موصلا ويسمى الحد الاعلى لشدة المجال الذي يصبح العازل بعده موصلا بقوة العزل (dielectric strength). فعلى سبيل المثال ان قوة عزل الهواء تساوي $(3 \times 10^6 \text{ v/m})$ فهذا يعني ان جزيئات الهواء تتأين وتفقد خاصية العزل اذ تجاوز المجال الذي يتأثر به الهواء هذه القيمة. وعلى هذا الاساس اذا كانت (E_m) هي شدة العزل للمادة الموضوعة فيها الكرة الموصلة فان اقصى جهد (V_m) للكرة الموصلة يكون:

$$V_m = RE_m$$

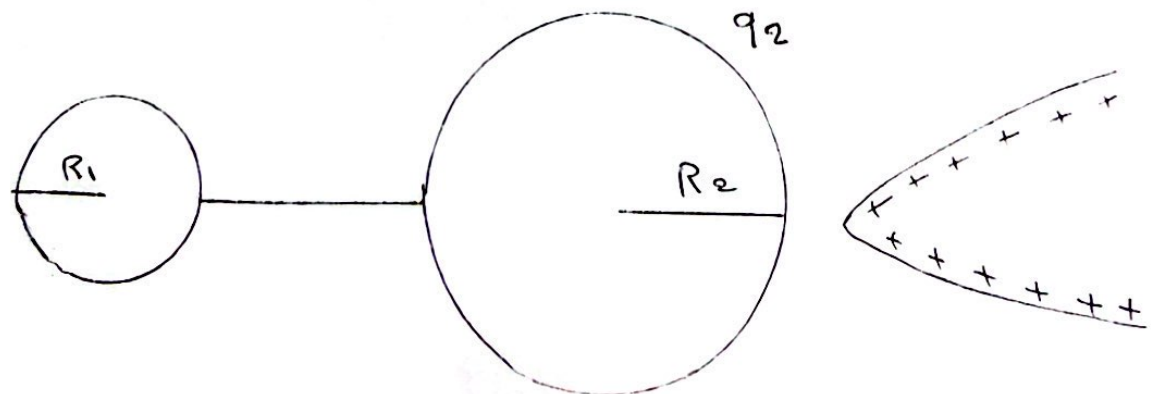
وبذلك ان اقصى جهد يمكن الحصول عليه لكرة نصف قطرها (10cm)

موضوعة في الهواء هو:

$$V_m = 0.1 \times 3 \times 10^6 \Rightarrow V_m = 3 \times 10^5 \text{ volt}$$

2- ان تأين الهواء وحدوث التفريغ الكهربائي يكون اكثر عند الرؤوس المدببة وذلك لكون المجال المحيط بالرأس المدبب اعلى بكثير من المناطق الاخرى للموصل.

ويمكن اثبات ذلك بان نعتبر الجسم الموضح في الشكل مكافئا لكرة صغيرة متصلة بسلك مع كرة اكبر حيث ان الكرة الصغيرة تقابل الرأس المدبب والاخرى تقابل الجزء الاخر من الجسم.



إذا كان نصف قطر الكرة الصغيرة R_1 وشحنتها q_1 فان جهدتها:

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{R_1}$$

إذا كان نصف قطر الكرة الكبيرة R_2 وشحنتها q_2 فان جهدتها:

$$V_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{R_2}$$

الكرتين متصلتان بسلك واحد فان : $V_1=V_2$

$$\frac{q_1}{R_1} = \frac{q_2}{R_2} \Rightarrow \frac{q_1}{q_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

شدة المجال تتناسب طرديا مع الكثافة السطحية للموصل,

$$E_1 \propto \sigma_1 \Rightarrow E_1 = K\sigma_1$$

$$E_2 \propto \sigma_2 \Rightarrow E_2 = K\sigma_2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$$

$$\sigma_1 = \frac{q_1}{4\pi R_1^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{q_2}{4\pi R_2^2}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{q_1}{q_2} \times \frac{R_2^2}{R_1^2}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1}{R_2} \times \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

اي ان مقدار شدة المجال بالقرب من سطح موصل تتناسب عكسيا مع نصف قطر التكور لذلك الجزء من سطح الموصل المشحون. لذلك تكون شدة المجال خارج الرأس المدبب مباشرة عالية جدا.

مثال

كرتان موصلتان نصف قطر الاول ($R_1=1cm$) ونصف قطر الثانية ($R_2=2 cm$) وضعت شحنة مقدارها ($0.3 \mu C$) على الكرة الصغيرة وتركت الكرة الكبيرة بدون شحنة فاذا وصلت الكرتان بسلك موصل رقيق وطويل احسب 1- شحنة كل من الكرتين 2- جهد كل شحنة 3- الكثافة السطحية لكل من الكرتين.

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{R_1}, \quad V_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{R_2}$$

بما ان الكرتين متصلتان بسلك فان:

$$V_1 = V_2 \quad \frac{q_1}{R_1} = \frac{q_2}{R_2} \Rightarrow \frac{q_1}{1 \times 10^{-2}} = \frac{q_2}{2 \times 10^{-2}}$$

$$q_2 = 2q_1$$

عند التوصيل ان شحنة الكرة الاولى تتوزع على الكرتين:

$$q_1 + q_2 = 0.3 \times 10^{-6}$$

$$q_1 + 2q_1 = 0.3 \times 10^{-6} \Rightarrow 3q_1 = 0.3 \times 10^{-6}$$

$$q_1 = 1 \times 10^{-7} \text{ c} \quad q_2 = 2 \times 10^{-7} \text{ c}$$

$$V_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-7}}{1 \times 10^{-1}} = 9 \times 10^4 \text{ v}$$

$$V_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-7}}{2 \times 10^{-2}} = 9 \times 10^4 \text{ v}$$

$$\sigma_1 = \frac{q_1}{4\pi R_1^2} \Rightarrow \sigma_1 = \frac{1 \times 10^{-7}}{4 \times 3.14 \times 10^{-4}} = 8 \times 10^{-5} \text{ c/m}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{q_2}{4\pi R_2^2} \Rightarrow \sigma_2 = \frac{2 \times 10^{-7}}{4 \times 3.14 \times 4 \times 10^{-4}} = 4 \times 10^{-5} \text{ c/m}^2$$

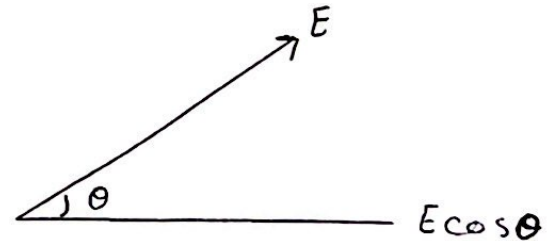
انحدار الجهد : potential gradient

ان العلاقة بين شدة المجال الكهربائي وفرق الجهد يعطى بالعلاقة:

$$V = V_B - V_A = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

وبأخذ مشتقة كل من طرفي المعادلة نجد:

$$dV = -E \cdot dl = -E \cos \theta \cdot dl$$



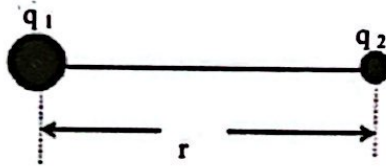
ملاحظة :-

يكون الجهد $V(x, y, z)$ عند اية نقطة دالة لاحداثيات النقطة (x, y, z) فإذا اخذنا أولا اتجاه dl موازيا للمحور x ثم موازيا للمحور y واخيرا موازيا للمحور z فان المركبات الثلاثة لشدة المجال تكون:

$$E_x = -\frac{dV}{dx} \quad E_y = -\frac{dV}{dy} \quad E_z = -\frac{dV}{dz}$$

طاقة الوضع الكهربائية *Electric potential energy*:

طاقة الوضع لنظام من الشحنات هي الشغل اللازم لجلب هذه الشحنات من المالانهاية الى ذلك النظام. نفترض ان الشحنة q_2 موجودة في المالانهاية بحالة سكون وتم تحريكها الى موقع يبعد مسافة r عن شحنة ثانية q_1 فيكون الشغل اللازم:



$$W = Vq_2$$

$$\therefore V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r}$$

نعوض عن الجهد في معادلة الشغل:

$$U = W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}} \quad (20)$$

$$U = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (21)$$

$$U = \sum \frac{q_i q_j}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} \quad (22)$$

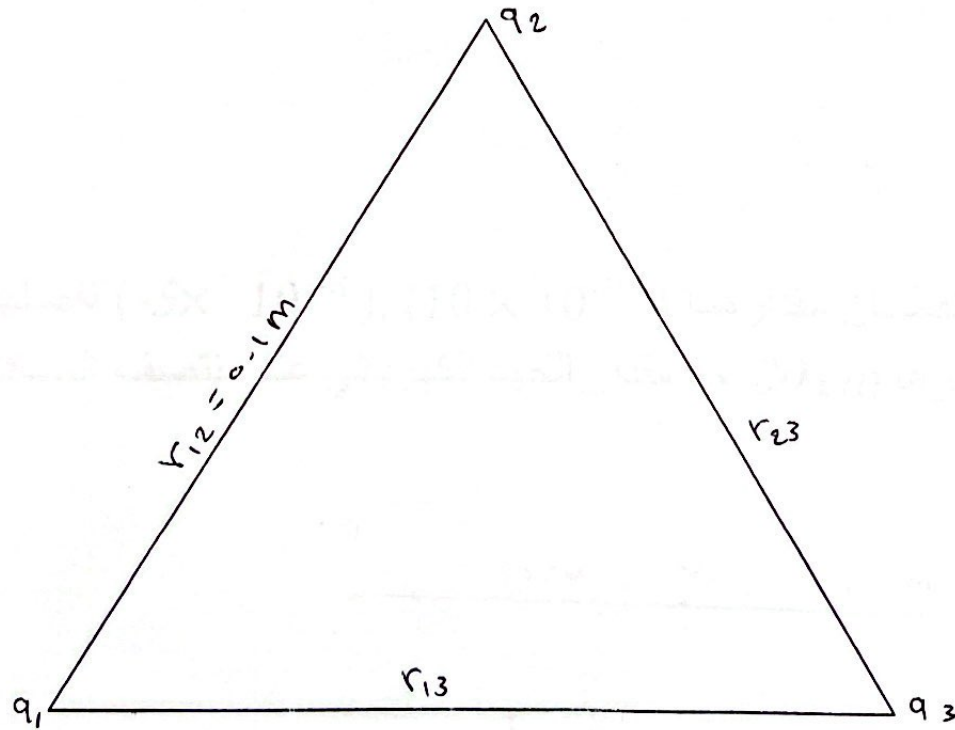
القانون الأول يطبق في حالة شحنتين فقط، ولكن إذا كانت المجموعة المراد إيجاد طاقة الوضع الكهربائي لها أكثر من شحنتين نستخدم القانون الثاني حيث نوجد الطاقة المختزنة بين كل شحنتين على حده ثم نجمع جمعا جبريا، أي نعوض عن قيمة الشحنة ونأخذ الإشارة بالحسبان في كل مرة.

* إذا كانت طاقة الوضع موجبة يعني قوة تنافر بين الشحنات ، وإذا كانت سالبة يعني تجاذب. (ما معنى ذلك على صعيد التركيب البلوري)

مثال

ثلاث شحنات نقطية مثبتة على رؤس مثلث متساوي الاضلاع طول ضلعه (10 cm) احسب الطاقة الكهربائية الكامنة لهذه المجموعة علما بان:

$$q_1 = +10\mu\text{C} , q_2 = +20\mu\text{C} , q_3 = -30\mu\text{C}$$



$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}} \right]$$

$$U = 9 \times 10^9 \left[\frac{10 \times 20 \times 10^{-12}}{0.1} + \frac{10 \times (-30) \times 10^{-12}}{0.1} + \frac{20 \times (-30) \times 10^{-12}}{0.1} \right]$$

$$U = 9 \times 10^9 \left[\frac{(200 - 300 - 600) \times 10^{-12}}{0.1} \right]$$

$$U = 9 \times 10^{10} (-700) \times 10^{-12}$$

$$U = -63 J$$

ان الإشارة السالبة تعني ان الشغل الواجب انجازه لتجميع هذه الشحنات يجب ان يكون سالبا فلو تركت هذه الشحنات طليقة لوجدناها تتحرك متجهة احدهما نحو الاخرى في هذه الحالة.

مثال

شحنتان نقطيتان مقدارهما (10×10^{-8}) , (-5×10^{-8}) تفصلهما مسافة قدرها 20 cm جد مقدار الجهد الكهربائي عند منتصف المسافة بينهما.



$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

$$V = 9 \times 10^9 \times \frac{10 \times 10^{-8}}{0.1}$$

$$V = 9 \times 10^3 \text{ v}$$

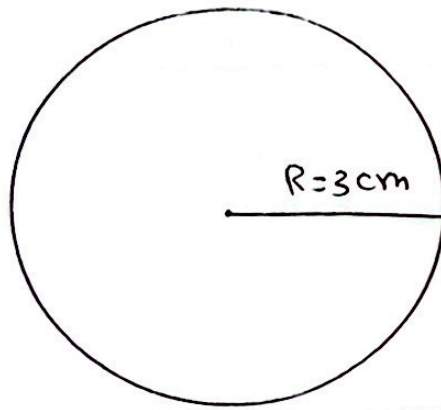
$$V_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{-5 \times 10^{-8}}{0.1} \Rightarrow V_2 = -4.5 \times 10^3 \text{ v}$$

$$V = V_1 + V_2 = 9 \times 10^3 - 4.5 \times 10^3$$

$$V = 4.5 \times 10^3 \text{ v}$$

مثال

كرة معدنية موصلة نصف قطرها (3cm) تحمل شحنة موجبة قدرها (1×10^{-9}) احسب الجهد عند النقاط التي تبعد مسافات قدرها (2cm, 3cm, 4cm) من المركز:



الجهد داخل الكرة وعلى سطحها

متساوي

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R}$$

$$V = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-9}}{3 \times 10^{-2}} = 3 \times 10^2 \text{ v}$$

الجهد على بعد (2cm) = الجهد على بعد (3cm) ويساوي :

$$V = 3 \times 10^2 \text{ v}$$

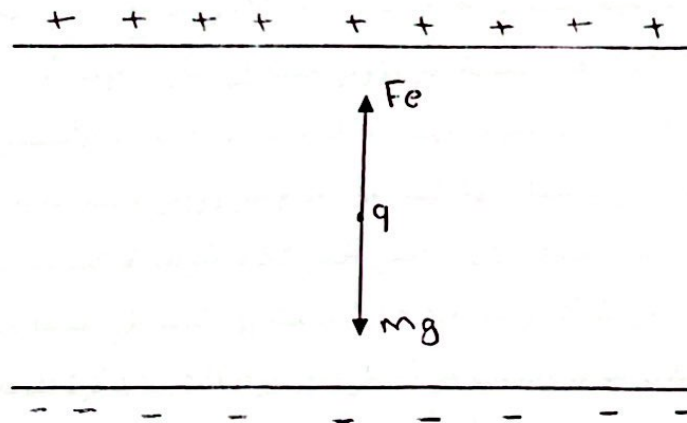
اما الجهد على بعد (r=4cm)

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

$$V = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-9}}{4 \times 10^{-2}} \Rightarrow V = 2.25 \times 10^3 \text{ v}$$

مثال

لوحان افقيان متوازيان تفصلهما مسافة (1.8cm) سلط عليهما فرق جهد قدره $2.4 \times 10^4 \text{ v}$ وبذلك نشأ مجال كهربائي متجه الى اسفل . اوجد الشحنة التي تحملها قطرة زيت كتلتها $2.2 \times 10^{-13} \text{ kg}$ بحيث تبقى معلقة في المجال ما نوع الشحنة.



$$E = \frac{V}{d} = \frac{2.4 \times 10^4}{1.8 \times 10 \times 10^{-2}}$$

$$E = 1.3 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$Fe = mg$$

$$Eq = mg$$

$$q = \frac{mg}{E} = \frac{2.2 \times 10^{-13} \times 9.8}{1.3 \times 10^6} \Rightarrow q = 1.6 \times 10^{-18} \text{ C}$$

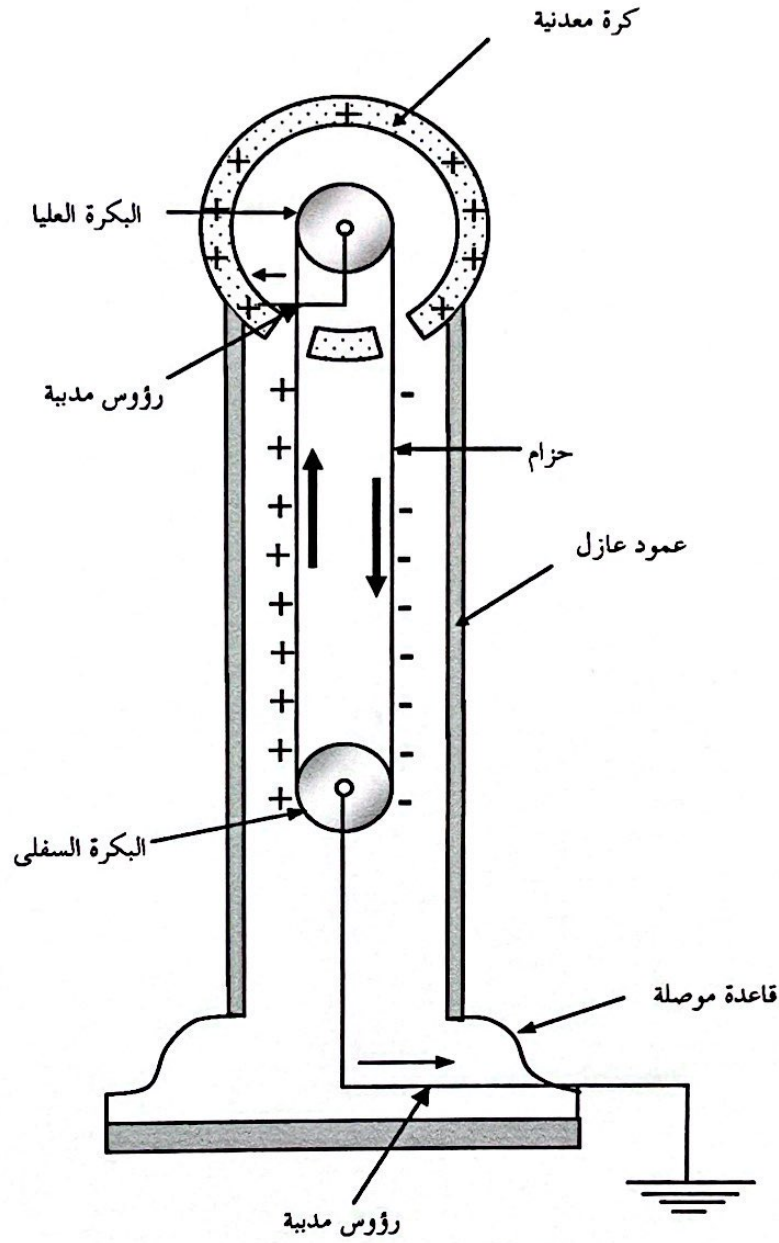
مولد فان دي كراف Van de Graff Generator

التمثيل البياني لمولد فان دي كراف موضح في الشكل (9-19) صممه العالم روبرت فان دي كراف Robert J. Van de Graff (1901-1967) عام 1929. وهو من التطبيقات المهمة لظاهرة توزيع الشحنة على السطح الخارجي للموصل. يستعمل هذا الجهاز في الحصول على حزمة من الالكترونات أو البروتونات ذات طاقة عالية جداً قد تصل إلى 10MeV ، يستفاد منها بشكل واسع في تجارب الفيزياء الذرية والنوية الحديثة حيث يستغل مقدار الجهد العالي لتعجيل الجسيمات المشحونة والايونات في ضرب هدفاً معيناً لتوليد أشعة اكس على سبيل المثال لا الحصر.

إن الفكرة الأساسية التي بني عليها عمل مولد فان دي كراف هي عند وضع موصل مشحون في تماس مع السطح الداخلي لكرة مجوفة موصلة فان جميع الشحنة التي يحملها الموصل المشحون تنتقل إلى الكرة المجوفة. إن الشحنة المتجمعة على الكرة المجوفة وبالتالي الجهد الكهربائي المتكون بسببها يمكن أن تزايد بدون حدود بتكرار العملية.

في مولد فان دي كراف يستعمل حزام دوار لانتقال الشحنة إلى الكرة المعدنية المجوفة. وهو حزام مصنوع من مادة عازلة يمر فوق بكرتين عازلتين. تطلّي البكرة السفلى بطلاء من مادة معينة بحيث أن الحزام المتحرك نحو الأعلى عندما يلامس البكرة يكتسب شحنة موجبة، تنتقل هذه الشحنة عبر رؤوس مدببة إلى الكرة المجوفة. أما البكرة العلوية فأما تطلّي بطلاء من مادة أخرى بحيث أن الحزام عند تركه لها نحو الأسفل يكتسب شحنة سالبة، تنتقل بواسطة الجهة اليمنى من الحزام عبر رؤوس مدببة سفلية إلى قاعدة موصلة يرتكز عليها عمود عازل يستعمل لحمل الكرة المجوفة، ثم تسرب الشحنة إلى الأرض. عملياً من الممكن زيادة جهد الكرة الموصلة إلى القيمة التي عندها يحصل التفريغ الكهربائي خلال الهواء، والسبب هو أن جزيئات الهواء الملامسة للكرة المجوفة والمتأثرة بمجال شحنتها الموجبة سوف تتأين وتفقد خاصية العزل الكهربائي بمجرد تجاوز شدة المجال الكهربائي القيمة $3 \times 10^6 \text{V/m}$. وهذا يعني أن أقصى جهد يمكن الحصول عليه لكرة نصف قطرها 1m هو $3 \times 10^6 \text{V}$ ، ولكرة نصف قطرها 2m هو $6 \times 10^6 \text{V}$ ، أي كلما كانت الكرة المعدنية كبيرة مولد أمكن الحصول على جهد كهربائي أكبر.

مما تقدم يتضح انه لولا وجود صعوبات في عزل الكرة المعدنية كهربائياً لأمكن زيادة الشحنة عليها وبالتالي زيادة جهده الكهربائي إلى أي مقدار نشاء. وبهذا فان أعلى جهد يحصل عليه يتحدد بالقيمة التي عندها يحدث اتزان بين معدل تسرب الشحنات من الكرة خلال العمود العازل و الهواء المحيط بها وبين معدل الشحنات التي تكتسبها الكرة.



الشكل (9-19) : مخطط لنموذج فان دي كراف.

الكهربائية

الفصل الرابع: المتسعات والمواد العازلة

جامعة الحمدانية

م. بان عبد المسيح بدر

الفصل الرابع / المتسعات والمواد
العازلة

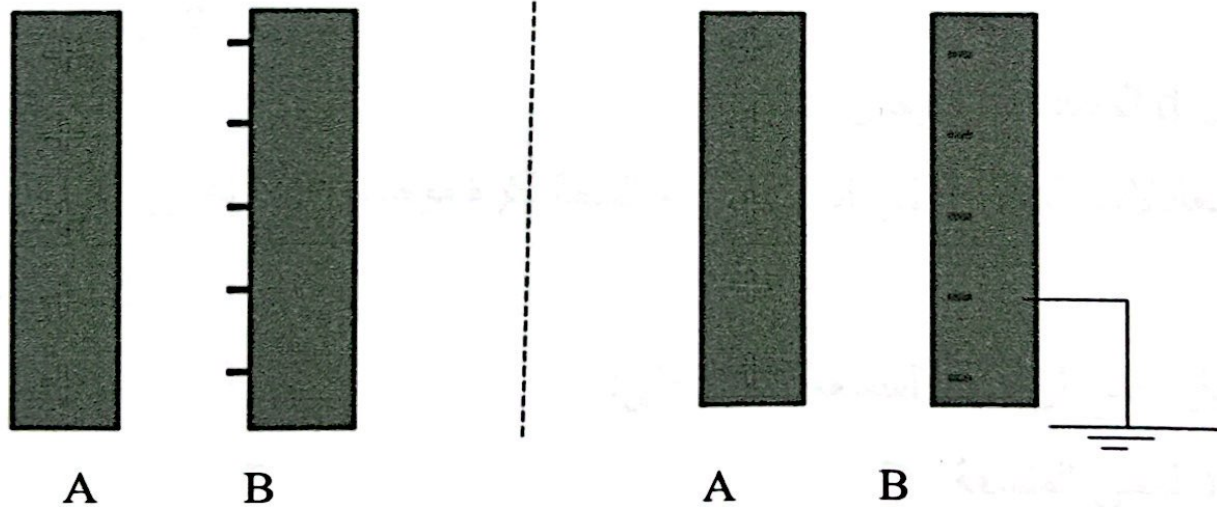
1- مقدمة:

في هذا الفصل سوف نناقش المتسعات، وهي اجهزة تستخدم في تخزين الشحنات الكهربائية. وهناك استخدامات واسعة للمتسعات مثلاً تستخدم في:

- 1- ضبط تردد اجهزة الاستقبال الاذاعي، عمليات التوليف والرنين.
- 2- كمرشحات في مصادر الإمدادات الكهربائية، في نظم احداث شرارة الاشتعال في نظام السيارة.

3- كمصدر تخزين للطاقة في الأجهزة للتحكم في الوحدات الإلكترونية.

تتكون المتسعة من موصلين يفصل بينهما مادة عازلة Insulator. وكل متسعة لها سعة معينة تعتمد على الشكل الهندسي للمتسعة وعلى المادة العازلة التي تفصل بين الموصلين. كما في الشكل (1-4).



الشكل (1-4)

الموصل A مشحون بشحنة موجبة ثم اقترب منه موصل B غير مشحون فاكسب شحنة سالبة مقيدة على الوجه المقابل للموصل A وشحنة موجبة للموصل B مطلقة على الوجه الآخر.

عند توصيل الموصل B بالأرض تنتقل الإلكترونات من الأرض لتعادل الشحنات الموجبة على B وتكون النتيجة أن الموصل B يكتسب شحنة سالبة فقط.

2- المتسعات

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

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

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

وشدة المجال الكهربائي بين اللوحين هي:

$$E = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

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

$$\therefore V = E \cdot d$$

$$= \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{q}{d}$$

إذ تمثل d المسافة بين لوحين المتسعة.

من المعادلات السابقة يمكن استنتاج قيمة السعة لكرة موصلة معزولة في الفراغ هي:

$$C = 4\pi\epsilon_0 d$$

وما سبق يعني ان سعة المتسعة تعتمد على:

1. أبعاد لوحى المتسعة

2. الوسط العازل بين اللوحين

وحدة قياس سعة المتسعة هي:

$$\text{Farad (F)} = C / \text{volt}$$

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

1-2 أنواع المتسعات:

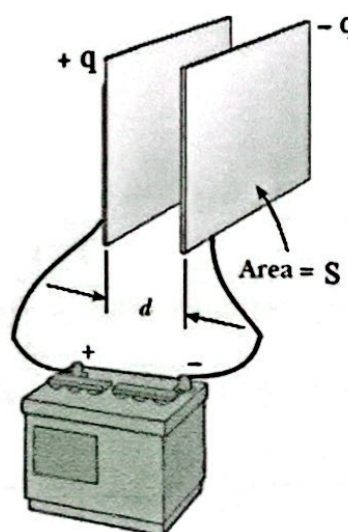
1. المتسعة ذو اللوحين المتوازيين

2. المتسعة الكروية

3. المتسعة الأسطوانية

أولاً: المتسعة ذو اللوحين المتوازيين

يتكون من لوحين موصلين متوازيان تفصلهما مسافة صغيرة d ومساحة سطح أي من اللوحين S وشحنة أحد اللوحين q واللوح الآخر $-q$ ، في الشكل (2-4).



الشكل (2-4)

الشحنة السطحية تعطى من العلاقة:

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

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0 S}$$

$$V = E d$$

$$\therefore V = \frac{q}{\epsilon_0 S} d$$

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

من هذه المعادلة كلما كانت المسافة بين اللوحين صغيرة فإن الجهد صغيراً بينما تزداد سعة المتسعة. وأيضاً تزداد السعة بزيادة مساحة اللوحين للمتسعة.

3- العوامل المؤثرة على سعة المتسعة:

- يوجد ثلاثة عوامل أساسية تؤثر على سعة المتسعة بصورة مباشرة وهذه العوامل هي:
- a- المساحة السطحية للألواح المتسعة (s): إن سعة المتسعة تتناسب طردياً مع المساحة السطحية للألواح، فإذا زادت مساحة سطح اللوح زادت سعة المتسعة وذلك لزيادة استيعابه للشحنات الكهربائية، وبالعكس تقل سعة المتسعة كلما قلت هذه المساحة.
 - b- المسافة بين الألواح (d): تقل السعة عندما تزداد المسافة بين الألواح وتزداد كلما قلت تلك المسافة أي أنه يوجد تناسب عكسي بين سعة المتسعة والمسافة بين الواحه.
 - c- الوسط العازل (المادة العازلة) ϵ و (الهواء والفراغ) ϵ_0 : تتغير سعة المتسعة بتغير المادة العازلة بين الألواح ويعتبر الهواء الوحدة الأساسية لمقارنة قابلية عزل المواد الأخرى المستعملة في صناعة المتسعات. يوجد لكل مادة ثابت عزل يطلق عليه ايسلون ϵ .

مما سبق نجد أن سعة المتسعة بدلالة المساحة السطحية للألواح (s) والمسافة بين الألواح d وثابت العزل للمادة العازلة k يكون:

$$C = \epsilon \frac{s}{d}$$

وعندما يكون الوسط العازل فراغ فان سعة المتسعة تكون:

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

والجدول (1-4) يبين قيمة ثابت العزل k لبعض المواد المستعملة في صناعة المتسعات.

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.

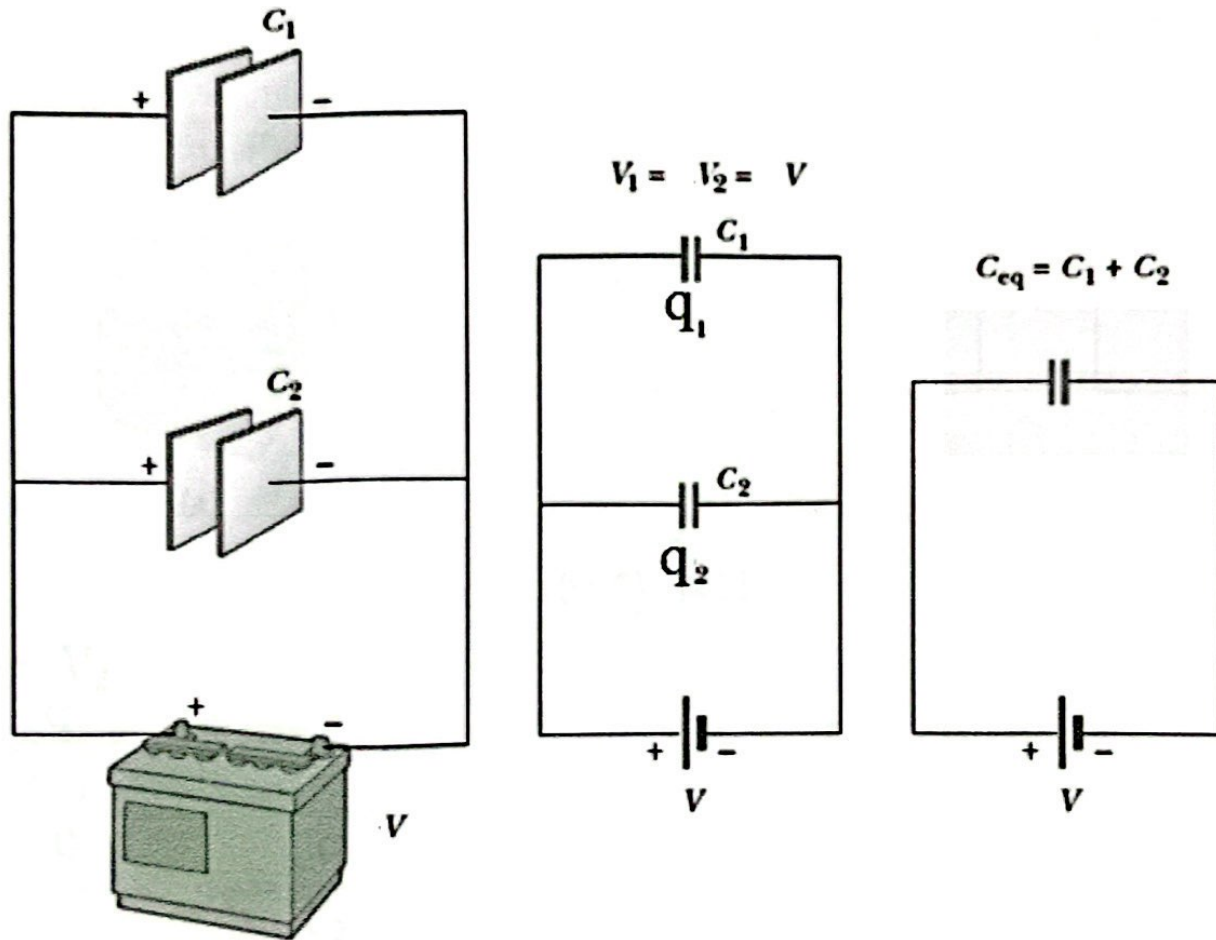
4- توصيل المتسعات

- على التوازي:

يمثل الشكل (4-5) هذا النوع من التوصيل، ويتميز بـ:

1. فرق الجهد لا يتجزأ على المتسعات.

2. الشحنة تتجزأ.



الشكل (4-5)

$$q = q_1 + q_2$$

$$q_1 = C_1 V, \quad q_2 = C_2 V$$

$$q = C_{eq} V$$

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

$$V = V_1 = V_2$$

$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

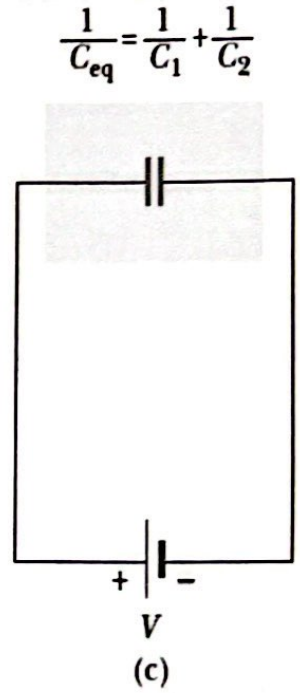
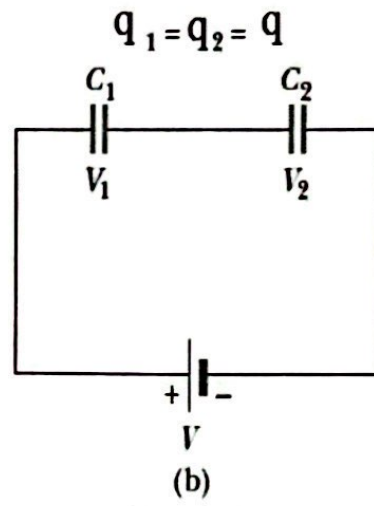
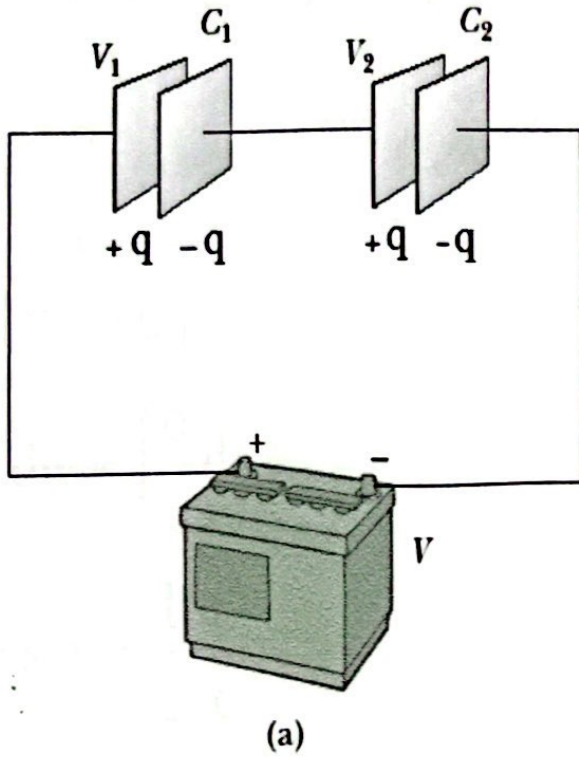
$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \quad (\text{parallel combination})$$

- على التوالي:

يمثل الشكل (4-6) هذا النوع من التوصيل، ويتميز بما يأتي:

1. فرق الجهد يتجزأ على المتسعات

2. الشحنة لا تتجزأ



الشكل (4-6)

$$V = V_1 + V_2$$

$$V = \frac{q}{C_{eq}}$$

$$V_1 = \frac{q}{C_1}, \quad V_2 = \frac{q}{C_2}$$

$$q = q_1 = q_2$$

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

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

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

5- الطاقة الكهربائية المخزنة في متسعة مشحونة

إن مقدار الشحنة الكهربائية (q) في المتسعة يتناسب مع فرق الجهد (v) بين طرفي المتسعة الكهربائي، ومن المعلوم أن الجهد الكهربائي بين طرفي المتسعة يبدأ من القيمة ($v=0$) وعندما تكون الشحنة الكهربائية ($q=0$) ثم يزداد تدريجياً إلى القيمة ($v=v$) عندما تكتمل شحن المتسعة وتصل الشحنة الكهربائية إلى المقدار (q)، أي أن القيمة المتوسطة للجهد بين طرفي المتسعة هي:

$$v = \frac{q}{c}$$

$$dw = v dq$$

$$\int dw = \int_0^q \frac{q}{c} dq$$

$$\Rightarrow w = \frac{1}{2} \frac{q^2}{c}$$

إذ إن (v) هو فرق الجهد بين طرفي البطارية.

أما الشغل اللازم لإنجازه لنقل الشحنة الكلية (q) عبر متوسط الجهد (v) فهو:

$$w = \frac{1}{2} qv$$

ويتم بعد ذلك تخزين هذا الشغل كطاقة كهربائية كامنة في المجال الكهربائي بين لوحَي

المتسعة، ويمكن حسابه على النحو الآتي :

$$w = U$$

$$U = \frac{1}{2} \frac{c^2}{c} v^2$$

$$U = \frac{1}{2} \frac{q^2}{c} = \frac{1}{2} c v^2 = \frac{1}{2} qv$$

ويلاحظ بان للمعادلة لها ثلاث صيغ رياضية يمكن استخدامها حسب المعلومات المتوفرة عن الدائرة الكهربائية.

7- تأثير العوازل على السعة:

دلت التجارب على ان ادخال مادة عازلة بين لوحين متسعة يسبب تناقص فرق الجهد بالرغم من بقاء الشحنة على سطحي المتسعة ثابتة، وهذه التفسيرات تتفق مع التفسيرات النظرية، إذ ان ضعف المجال داخل العازل يؤدي إلى تناقص فرق الجهد بين لوحين المتسعة المشحونة بالاعتماد على المعادلة $(V=Ed)$. فلو فرضنا ان فرق الجهد بين اللوحين عندما يفصلهما الفراغ (V_0) فان فرق الجهد بعد وضع اللوحين سيصبح V بحيث ان:

$$\frac{V_0}{V} = \frac{E_0}{E} = K$$

إذ ان K صفة مميزة للوسط العازل ويدعى ثابت العزل Dielectric constant ومقداره للفراغ يساوي واحد بينما للمواد العازلة يكون اكبر من واحد، مثلاً للهواء $K=1.0006$ ومن ذلك نستنتج ان V اصغر من V_0 بمقدار K من المرات. ومن المعادلة $(C=q/V)$ يتضح زيادة قيمة السعة الكهربائية عند وضع العازل بين لوحين المتسعة على قيمة المتسعة، إذ تزداد K مرات طالما ان شحنة المتسعة لا تتغير بإدخال العازل. فاذا فرضنا ان مقدار المتسعة عندما يكون اللوحان في الفراغ C_0 فان مقدارها سيكون بعد وضع العازل بين لوحين المتسعة:

$$C=KC_0$$

وقد دلت التجارب على ان هذه النتيجة تنطبق على كافة انواع المتسعات وليس فقط على المتسعة ذات اللوحين المتوازيين.

ولإيجاد سعة المتسعة ذات اللوحين المتوازيين بعد وضع العازل بين لوحها نعوض في الأخيرة المعادلة عن C_0 من المعادلة $C = \frac{q}{V} = \epsilon_0 \frac{S}{d}$ نحصل على سعة المتسعة بوجود

العازل:

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

أو:

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

إذ ان $\epsilon = K\epsilon_0$. وتمثل ϵ صفة مميزة اخرى للعازل وتدعى بسماحية Permittivity العزل، وفي حال الفراغ (إذ ان $K=1$) تكون $\epsilon_0 = \epsilon$ ، لذا تدعى ϵ_0 بسماحية الفراغ Vacuum Permittivity.

7-1 أهمية استخدام المادة العازلة

يتحدد نوع المتسعة حسب المادة العازلة المستخدمة في صناعتها، فإذا كانت المادة العازلة الموجودة بين لوحى المتسعة هي الهواء فيطلق على المتسعة بـ"متسعة هوائية"، وإذا كانت المادة العازلة مصنوعة من بلاستيك فتسمى متسعة بلاستيكية، ويسمى متسعة مايكا إذا كانت المادة العازلة مصنوعة من المايكا، ونفس الحال بالنسبة لمتسعة السيراميك، وإذا كانت من مادة كيميائية فتسمى بالمتسعة الكيميائية أو الالكتروليتيّة. وتكمن أهمية استخدام المادة العازلة في المتسعة إلى:

- 1- تكتسب الألواح متانة وتصبح اقل عرضه للتلف.
- 2- تكون المتسعة اقل عرضه للانقيار الكهربائي لان شدة العزل الكهربائي للعوازل Dielectric Strength تكون اكبر من الهواء مما يزيد من قابلية تحمل الفولتية مثلاً: شدة العزل للهواء 800V/m وللورق 1400V/m وللمايكا 1600V/m.
- 3- تزداد قيمة السعة الكهربائية بمقدار ثابت العزل للمادة العازلة.

المتسعات المستخدمة في الاغراض العملية

1- المتسعات الورقية : وهي من المتسعات الثابتة وان قيمة السعة تبلغ ضعف مما عليه في حالة المتسعة ذات اللوحين المتوازيين لان الشحنة تستقر على وجهي كل لوح معدني .

فان سعة المتسعة الورقية $C = \frac{2KA\epsilon_0}{d}$

2- متسعة المايكا : تعتبر هذه المتسعة بمثابة n من المتسعات المتصلة على التوازي فان سعتها

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

اما الواح المايكا العازلة سيبلغ عددها اقل من عدد الصفائح المعدنية بواحد اي ان (n-1) .

3- المتسعة الالكترونية : تستعمل في اجهزة التلفاز والراديو (وتتميز في قدرتها على اصلاح العطب بنفسها عند حدوث انهيار كهربائي للعازل .

4- المتسعة المتغيرة : اذا فرضنا ان العدد الكلي للالواح المعدنية (n) فان المتسعة مكونة من (n-1) من

المتسعات المتصلة على التوازي فان السعة القصوى $C = (n - 1) \frac{A\epsilon_0}{d}$

مثال : متسعة ورقية سعتها 2μF وعرض شريطها المعدني 10cm وسمك عازلها الورقي 0.03mm احسب طول كل من الشريطين الذين تتكون منهما المتسعة اذا علمت ان السماحية النسبية للورق 2.5 . (٤٠.٧٧)

مثال (1):

إذا علم أن سعة متسعة ذات لوحين متوازيين هي (10 F) فمقدار مساحة اللوحين عندما تكون المسافة بينهما (0.1 mm).

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

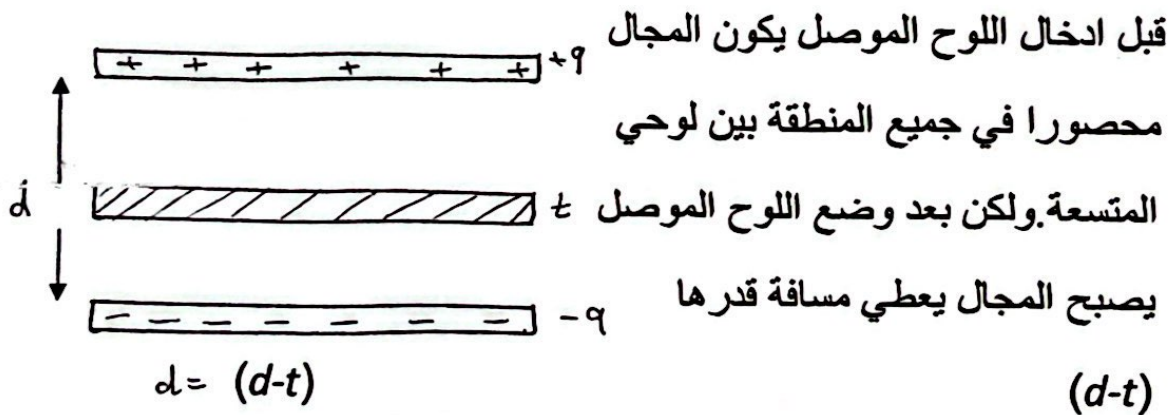
$$A = \frac{Cd}{\epsilon_0} = \frac{10 \times 1 \times 10^{-4}}{8.85 \times 10^{-12}}$$

$$A = 1.13 \times 10^8 \text{ m}^2$$

أن هذه المساحة تساوي مساحة لوح مربع طول ضلعه أكثر من عشرة كيلومترات. وهذا يفسر سبب الاستعاضة عن الفاراد بوحدة المايكروفاراد أو البيكوفاراد في الأغراض العملية.

مثال (2):

متسعة ذات لوحين متوازيين مساحة لوحها (A) والمسافة بينهما (d) ادخل بين لوحها لوح موصل معزول وغير مشحون سمكه (t) فكم تصبح سعة المتسعة بعد ادخال هذا اللوح؟



$$E = \frac{q}{\epsilon_0 A}$$

$$\therefore V = Ed \Rightarrow V = \frac{q}{\epsilon_0 A} (d - t)$$

$$\therefore C = \frac{q}{V} \Rightarrow C = \frac{q}{\frac{q}{\epsilon_0 A} (d - t)}$$

$$\therefore C = \frac{\epsilon_0 A}{d - t}$$

مثال (3):

متسعة مكونة من لوحين متوازيين مساحة كل منهما (80 cm) تفصلهما طبقة من شمع البارافين سمكها (5 mm) أ- احسب سعة المتسعة اذا كان ثابت عزل البارافين $K=2$ ب- احسب شحنة المتسعة عند تسليط فرق جهد 200 V.

a- $A = 80 \times 10^{-4} m^2$, $d = 5 \times 10^{-3} m$

$$C = \frac{K\epsilon_0 A}{d} \quad C = \frac{2 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 80 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-3}}$$

$$C = 28.3 \times 10^{-12} F \Rightarrow C = 28.3 Pf$$

b- $Q = CV$

$$= 28.3 \times 10^{-12} \times 200 \quad Q = 56.6 \times 10^{-10} C$$

مثال (4):

متسعتان مربوطتان على التوازي سعة كل منها (C) شحنتا بفرق جهد قدره (V) تم عزلتا عن مصدر الشحنة وأدخل لوح عازل في إحدى المتسعتين ثابت عزله (K). 1- احسب فرق الجهد الجديد (V) بعد وضع العازل 2- برهن على ان مقدار الشحنة التي تنتقل من متسعة الى اخرى نتيجة وضع العازل.

$$\Delta q = \frac{2CV(K-1)}{K+1}$$

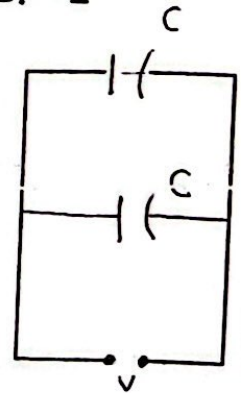
1- قبل وضع العازل

$$C = C_1 + C_2 = 2C$$

عند تسليط فرق جهد مقداره (V) سوف تكسب المتسعتان شحنة

مقدارها:

$$q = C \times V = 2CV$$

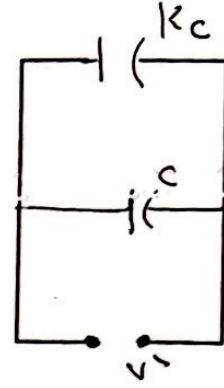


بعد وضع العازل

$$C = KC + C = C(K + 1)$$

عند عزل المتسعتين عن مصدر الشحن فان الشحنة الكلية تبقى ثابتة بينما الجهد يصبح V حيث ان:

$$\bar{V} = \frac{q}{c} = \frac{q}{c(K + 1)} \Rightarrow \bar{V} = \frac{2CV}{C(K + 1)}$$



$$\bar{V} = \frac{2V}{K + 1}$$

2- بعد وضع العازل تتوزع الشحنة على المتسعتين فتصبح:

$$q_1 = C_1 \bar{V} = KCV, \quad q_2 = C_2 \bar{V} = CV$$

$$\Delta q = KCV - CV = CV(K - 1)$$

$$\Delta q = C(K - 1) \times \frac{2V}{K + 1} \Rightarrow \Delta q = \frac{2CV(K - 1)}{K + 1}$$

مثال (5):

أ- متسعة ذات لوحين متوازيين المسافة بين لوحيهما (5 mm) ومساحة كل من لوحيهما (1 m²) فإذا وضع اللوحان في الفراغ وشحننا حتى أصبح فرق الجهد بينهما (2 × 10⁴ V) احسب 1- سعة المتسعة 2- شحنة كل من اللوحين 3- شدة المجال الكهربائي بينهما.

$$\bar{C}_0 = \frac{\epsilon \cdot A}{d} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 1}{5 \times 10^{-3}} \Rightarrow C_0 = 1.77 \times 10^{-9} \text{ F}$$

$$q = C_0 V_0 = 1.77 \times 10^{-9} \times 2 \times 10^4$$

$$q = 3.54 \times 10^{-5} \text{ C}$$

ب- إذا عزلت المتسعة عن المصدر الشاحن ووضع لوح عازل بين اللوحين ثابت عزله (K=5) احسب 1- سعة المتسعة 2- فرق الجهد 3- شدة المجال داخل العازل.

$$\bar{C} = K \bar{C}_0 = 5 \times 1.77 \times 10^{-9} \Rightarrow C = 8.85 \times 10^{-9} \text{ F}$$

$$V = \frac{q}{C} = \frac{3.54 \times 10^{-5}}{8.85 \times 10^{-9}} \Rightarrow V = 4 \times 10^3 \text{ V}$$

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

$$E = \frac{4 \times 10^3}{5 \times 10^{-2}} \Rightarrow E = 8 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_i = E_0 - E = 4 \times 10^6 - 8 \times 10^5$$

مثال (6):

1- متسعة ذات لوحين متوازيين مساحة لوحيهما (2 m²) وضع بين اللوحين ثلاث عوازل (K1=2: K2=3: K3=6) وسمكها (d1=0.4mm: d2=0.6mm: d3=0.8mm) على الترتيب فإذا سلط فرق جهد مقداره

(1000V) بين لوحها احسب: 1- سعة المتسعة. 2- شدة المجال الكهربائي داخل كل عازل. 3- فرق الجهد عبر كل عازل .

ولا

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{\frac{d_1}{K_1} + \frac{d_2}{K_2} + \frac{d_3}{K_3}}$$

$$C = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 2}{\frac{0.4 \times 10^{-3}}{2} + \frac{0.6 \times 10^{-3}}{3} + \frac{1.2 \times 10^{-3}}{4}}$$

$$C = 2.95 \times 10^{-8} F$$

ولا

$$E_1 = \frac{q}{\epsilon_0 A K_1} = \frac{2.95 \times 10^{-5}}{8.85 \times 10^{-12} \times 2 \times 2}$$

$$E_1 = 8.33 \times 10^5 V/m$$

$$q = CV$$

$$= 2.95 \times 10^{-8} \times 10^3$$

$$q = 2.95 \times 10^{-5} C$$

$$E_2 = \frac{q}{\epsilon_0 A K_2} = \frac{2.95 \times 10^{-5}}{8.85 \times 10^{-12} \times 2 \times 3}$$

$$E_2 = 5.55 \times 10^5 V/m$$

$$E_3 = \frac{q}{\epsilon_0 A K_3} = \frac{2.95 \times 10^{-5}}{8.85 \times 10^{-12} \times 2 \times 6}$$

$$E_3 = 2.78 \times 10^5 V/m.$$

مثال (7):

وعرضه (20cm)

متسعة ورقية مكونة من شريطين معدنيين طول كل منهما (30m) أو شريط عازل سمكه (0.1mm) وسماحيته النسبية (2.2) احسب 1- سعة المتسعة. 2- ما أقصى فرق جهد يمكن تسليطه على هذه المتسعة اذا علم ان شدة العزل يساوي $150 \times 10^6 \text{ v/m}$.

حلا

$$C = \frac{2\epsilon_0 AK}{d}$$

$$C = \frac{2 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 30 \times 2 \times 10^{-2} \times 2.2}{1 \times 10^{-4}}$$

$$C = 234 \times 10^{-9} \Rightarrow 0.23 \mu f$$

ملاحظة: $d = 0.1 \text{ mm} = 1 \times 10^{-4} \text{ m}$

حلا

$$V_m = E_m \times d$$

$$= 50 \times 10^6 \times 1 \times 10^{-4} \quad \therefore V_m = 5000 \text{ V}$$

مثال (8):

تحتوي متسعة مايكا على ثلاثين لوحا متساوية السمك من المايكا فاذا علم ان سعة المتسعة (0.05 nF) ومساحة لوحها المعدني (10 cm²) والساخية النسبية لعازلها (K=6.5) احسب سمك كل لوح من المايكا.

$$C = \frac{nK\epsilon_0 A}{d}$$

$$d = \frac{nK\epsilon_0 A}{C} \Rightarrow d = \frac{30 \times 6.5 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 10 \times 10^{-4}}{0.05 \times 10^{-6}}$$

$$d = 35 \times 10^{-6} \text{ m} = 0.035 \times 10^{-7} \text{ m} = 0.035 \text{ mm}$$

مثال (9): متسعة متغيرة تتكون من احدى وعشرون لوحا معدنيا مساحة كل لوح (15 m^2) احسب
 مسعة التقصى لهذه المتسعة اذا علمت ان المسافة الفاصلة بين كل لوحين متجاورين تساوي
 (1 mm).

بالتعويض عن:

$$n = 21, A = 15 \times 10^{-4} \text{ m}^2, d = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$$

في المعادلة:

$$C = \frac{(n - 1) \epsilon_0 A}{d}$$

$$C = \frac{20 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 15 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-3}} = 266 \times 10^{-12} \text{ F} = 266 \text{ PF}$$

الكهربائية

الفصل الخامس: التيار والمقاومة

جامعة الحمدانية

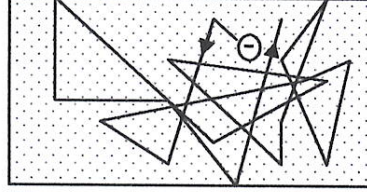
م. بان عبد المسيح بدر

التيار الكهربائي

حتى الآن اقتصرنا على خواص الشحنات الكهربائية الساكنة وان كنا نعرف أن معظم التطبيقات العملية للكهرباء تنطوي على شحنات تتحرك. فدوائر الأجراس العادية والأجراس المنغمة والمنبه الكهربائي ما هي إلا وسائل للتنبيه تعمل بسبب مرور الشحنات الكهربائية في ملفاتها. والمصابيح الكهربائية تشع الضوء بسبب مرور الشحنات في فتيلاتها. وهذا يعني أننا في هذا الفصل نتعامل مع المواد الموصلة للكهربائية ذلك إن الموصل فيه ناقلات الشحنة تمتلك حرية الحركة في الوسط الموصل وتستجيب إلى أبسط المجالات الكهربائية. وعلى الرغم من أن معظم الأجهزة الكهربائية خاصة المستخدمة منها في المنازل تدار بالتيار المتناوب A.C. حيث تسري الشحنات خلال الموصلات بشكل جيئة و رواح، إلا أننا سنصب اهتمامنا الرئيسي على التيار المستمر D.C. حيث تسري الشحنات خلال الموصلات بشكل دائم في نفس الاتجاه، والسيارة التي تدار بالكهرباء مثلاً على استخدام دوائر التيار المستمر.

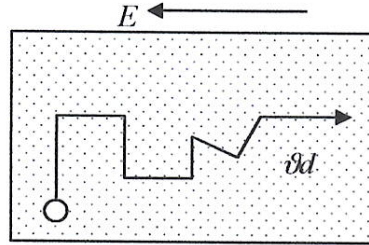
وقد اشرنا إلى أن الموصلات الكهربائية التي تحتوي على شحنات حرة الحركة خلال المواد تسمى الالكترونات، وتأتي المعادن مثل الفضة والنحاس في مقدمة المواد التي تحتوي على هذه الالكترونات الطليقة التي تتميز بحركتها العشوائية في جميع الاتجاهات. ويجب أن لا يغيب عن الأذهان أن الاصطدامات الالكترونية المتكررة مع ذرات المادة والناجمة عن الطاقة الحرارية بغياب المجال الكهربائي أو أي عامل مؤثر خارجي هي السبب في الحركة العشوائية للالكترونات. إن محصلة المسافة التي يقطعها كل إلكترون لفترة طويلة ستكون صفراً وهذا يعني إن معدل السرعة الحرارية للإلكترون هي الأخرى تساوي صفراً كما يوضحها الشكل (10-1).

من المعروف أن الالكترونات الطليقة هي المسؤولة عن تكوين التيارات الكهربائية في الموصلات المعدنية. ويجب أن نكون قد أدركنا أن هذه التيارات لا تنتج بغياب



الشكل (1-10) : الحركة العشوائية للإلكترون بغياب المجال الكهربائي.

المؤثرات الخارجية لذا فان انسياق الالكترونات المكونة للتيارات الكهربائية داخل الموصل تحدث إذا فرضنا أن مجالاً كهربائياً انشأ داخل الموصل وهذا المجال يرتبط بفرق جهد مسلط على طرفي الموصل المعدني. وبذا أصبح كل إلكترون تحت تأثير قوة المجال الكهربائي (eE) وهذه القوة تكسبه تعجلاً بنفس اتجاه القوة المؤثرة. وبسبب اصطداماتها المتكررة مع ذرات المادة تتباطأ حركتها لكنها لا تلبث أن تتعجل مرة أخرى عند تأثير قوة المجال، وهكذا تكون حركة الالكترونات تباطؤ وتسارع تكسبها في النهاية سرعة وسطية بطيئة تكون بعكس اتجاه المجال الكهربائي تسمى سرعة الانحراف أو الانسياق $Drift\ Velocity$. إن سرعة الانحراف هذه تعد بطيئة جداً مقارنةً بسرعته الحرارية (العشوائية) بغياب المجال الكهربائي، والمرتم في الشكل (2-10) يمثل حركة الإلكترون تحت تأثير المجال الكهربائي.



الشكل (2-10) : انسياق إلكترون تحت تأثير المجال الكهربائي.

صار مناسباً الآن التكلّم عن كمية يطلق عليها التيار الكهربائي*. لنفترض أن محصلة الشحنة الكهربائية q تتحرك عبر مساحة مقطع مستعرض من سلك موصل فيه

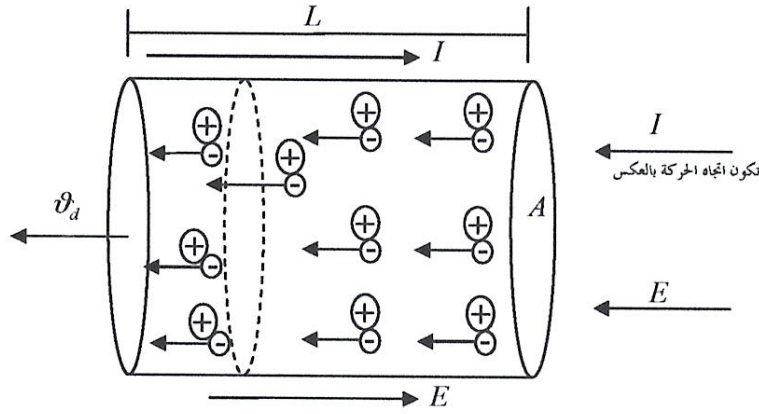
مجال كهربائي ناتج عن وجوده بين قطبي مصدر طاقة كهربائية (شكل 10-3) خلال زمن قدره t ، فان التيار الكهربائي خلال السلك هو:

$$I = \frac{q}{t} \quad \dots\dots\dots(10-1)$$

إن وحدة q هو الكولوم و t هي الثانية. وعليه فان وحدة التيار الكهربائي I حسب النظام الدولي للوحدات SI هي الأمبير ، أي أن:

$$1 \text{ Ampere} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ second}}$$

وهناك أجزاء لهذه الوحدة تستعمل لقياس التيارات الكهربائية الضعيفة كالمللي أمبير mA ويعادل واحد من ألف من الأمبير والميكرو أمبير μA ويعادل واحد من مليون من الأمبير.



الشكل (10-3): رسم تخطيطي لحركة الإلكترونات التوصيل في سلك معدني موصل تظهر فيه الايونات الموجبة الثقيلة مثبتة في مواضع منتظمة في التركيب البلوري.

المعادلة (10-1) تصح في حالة التيار منتظم التوزيع أي أن انسياب الشحنات منتظم خلال مقطع السلك. إلا أن الحال لا يكون هكذا دائماً، فإذا كان التيار غير منتظم التوزيع أي أن انسياب الشحنات غير منتظم ففي هذه الحالة يجب اعتبار الشحنة

الكلية dq التي تعبر المقطع في فترة زمنية صغيرة dt ، عندئذ يكون الكلام عن التيار الآتي ويعبر عنه رياضياً بالشكل الآتي :

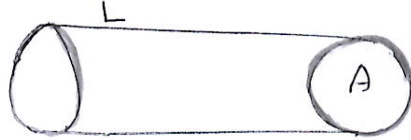
$$i = \frac{dq}{dt} \quad \dots\dots\dots (2-10)$$

يُعرّف التيار في الموصلات بدلالة تدفق الشحنة السالبة، على أنه من الناحية التاريخية وقبل أن تُعرف إشارة ناقلات الشحنة كان يُعرف بدلالة حركة الشحنات الموجبة. وبمجرد أن عرفت طبيعة ناقلات الشحنة لم يكن هناك إلزام بتغيير التعريف وذلك لأن التكافؤ بين الشحنة الموجبة والشحنة السالبة بسيط للغاية. بيّنا سابقاً أن التيارات الكهربائية في الموصلات المعدنية مسؤولة عنها الإلكترونات طليقة. ولكنه يجب أن نتذكر أن التيارات قد تنتج أيضاً عن حركة الأيونات الموجبة أو السالبة أو كليهما معاً كما في حالة المحاليل الإلكتروليتية والموصلات الغازية.

كيفية إيجاد مقدار سرعة الانجراف V_d :

يمكن حساب سرعة الانجراف للإلكترونات V_d من معرفة التيار المار في السلك فلو فرضنا أن طول السلك الموصل في الشكل أدناه هو (L) ومساحة مقطعه (A) فإن مجموع الإلكترونات الطليقة التي يجتذبها السلك ستكون (nAL) حيث أن (n) عدد الإلكترونات الطليقة لوحدة الحجم من السلك (n) و

AL - حجم السلك الشحنة الكلية في السلك خلال فترة زمنية معينة =



$$q = \text{number of electrons} \times \text{charge of electrons}(e)$$

$$q = Ne \quad \text{حيث } n \text{ إلكترونات في وحدة الحجم}$$

$$q = (nAL) \times e$$

$$I = \frac{q}{t} \Rightarrow \therefore I = \frac{nALe}{t}$$

$$\frac{I}{t} = V_d \Rightarrow \therefore I = nAeV_d \quad \therefore V_d = \frac{I}{nAe}$$

وعند الاستعانة بمفهوم كثافة التيار $(J = \frac{I}{A})$ فإن سرعة الانجراف تساوي :

$$V_d = \frac{J}{ne}$$

مثال : يسلط تيار من الالكترونات شدته ($5\mu A$) على شاشة جهاز تلفزيون لمدة ساعة واحدة . اوجد
 1- الشحنة التي انتقلت بواسطة هذا التيار . 2- عدد الالكترونات التي انتقلت خلال هذه المدة 3-
 كتلة الالكترونات المنقولة جميعا خلال هذه المدة .

$$1- \quad q = It$$

$$q = 5 \times 10^{-6} \times 3600 \Rightarrow q = 1.8 \times 10^{-2} C$$

$$2- \quad N = \frac{q}{e} = \frac{1.8 \times 10^{-2}}{1.6 \times 10^{-19}} \Rightarrow N = 1.13 \times 10^{17}$$

$$3- \quad M = m_e n = 9.1 \times 10^{-31} \times 1.13 \times 10^{17}$$

$$M = 1.03 \times 10^{-13} Kg$$

مثال : اذا علم ان الشحنة (q) المارة في سلك معدني تتغير مع الزمن وفق المعادلة :

$$q = 3t^2 + 2$$

حيث ان (q) بالكولوم و (t) بالثواني فما شدة التيار اللحظي المار خلال السلك عندما (t=2 s) ؟

$$q = 3t^2 + 2$$

$$I = \frac{dq}{dt} = 6t \Rightarrow I = 6 \times 2 \quad , \quad I = 12A$$

مثال :

سلط مجال كهربائي منتظم على جسم موصل يحتوي على 10^{24} الكترون طليق لكل متر مربع
 فبلغت سرعة انجراف الالكترونات فيه ($1.5 \times 10^{-2} m/s$) احسب قيمة التيار المتكون اذا علم ان
 مساحة مقطع الجسم الموصل تساوي $1 cm^2$.

$$n = 10^{24} ; \quad A = 1 cm^2 = 1 \times 10^{-4} m^2$$

$$V_d = \frac{I}{nAe}$$

$$I = V_d \times nAe$$

$$= 1.5 \times 10^{-2} \times 10^{24} \times 10^{-4} \times 1.6 \times 10^{-19} \quad \therefore I = 0.24A$$

المقاومة والمقاومة النوعية Resistance and Resistivity

لنعود إلى البند السابق ونتفحص الدائرة الكهربائية (a) من الشكل (10-4). طالما أسلاك النحاس ذات توصيلية عالية جداً فإن طاقة الشحنات الكهربائية عندما تنتقل خلالها سوف لن تتغير، بعبارة أخرى أن جميع نقاط سلك النحاس المتصل بالطرف الموجب للبطارية متساوية الجهد. وبالمثل جميع نقاط سلك النحاس المتصل بالطرف السالب للبطارية متساوية الجهد. إن ذلك يقودنا إلى حقيقة وهي أن فرق الجهد عبر سلك الحديد (المقاوم) هو نفس فرق الجهد عبر البطارية V .

يتم تمييز المقاوم عادة بمقاومته R . وإذا تسبب فرق جهد مقداره V عبر المقاوم في مرور تيار I خلاله فإن المقاومة تعرف بالعلاقة:

$$R = \frac{V}{I} \quad \dots\dots\dots(10-7)$$

وهي خاصية كهربائية وتمثل فيزيائياً مقدار الصعوبة التي تلاقيها الشحنات (الالكترونات) المارة خلال الموصل عند تسليط فرق جهد بين طرفيه.

إن وحدة المقاومة في نظام SI هي فولت لكل أمبير وتسمى اوم (Ω). وعرفت هذه الوحدة على إنها مقاومة الموصل الذي يمر خلاله تيار شدته واحد أمبير إذا كان فرق الجهد بين طرفيه واحد فولت، أي أن :

$$1\Omega = \frac{1\text{Volt}}{1\text{Ampere}}$$

وهناك مضاعفات لتلك الوحدة تستخدم لقياس المقاومات العالية مثل الكيلو اوم ($K\Omega$) ويساوي ألف اوم، والميكاوم ($M\Omega$) الذي يساوي مليون اوم*.

وجد بالتجارب العملية أن للأسلاك ذات الحجم والشكل الواحد المصنوعة من مواد مختلفة مقاومات مختلفة. فسلوك النحاس مثلاً مقاومته أقل من مقاومة سلك حديدي له نفس الحجم. وتعليل ذلك إن انسياب الشحنات بين ذرات وجزيئات المادة يلاقي مقاومة ناتجة عن تصادمها بذرات والكترونات المادة ومن ذلك يتضح إن إعاقه انسياب الشحنات في المادة يرتبط بطبيعة المادة وتركيبها الذري والبلوري، فكلما ازدادت الإعاقه لمرور الشحنات خلال المادة كلما ازدادت مقاومتها للتيار الكهربائي المار فيها. كما وجد بالتجارب العملية انه كلما زاد طول السلك كلما ازدادت قيمة مقاومته، أي أن

مقاومة السلك تتناسب طردياً مع طوله وهذا مرتبط بزيادة مسافة الإعاقة لمرور الشحنات خلال السلك. ووجد بالتجارب العملية أيضاً أن مقاومة السلك تزداد كلما قلت مساحة مقطعه العرضي أي أن مقاومة السلك تتناسب عكسياً مع مساحة مقطعه، ولذلك فإننا بحاجة إلى وسيلة من شأنها تمييز خصائص المقاومة الذاتية.

لنعتبر سلكاً طوله L ومساحة مقطعه العرضي A (شكل 10-3)، وكما ذكرنا فقد أوضحت التجارب بالفعل أن :

$$R \propto \frac{L}{A}$$

ومنها

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \dots\dots\dots (8-10)$$

حيث ρ مقدار ثابت يسمى المقاومة وهو خاصية مميزة للمادة المصنوع منها السلك. وعندما تكون L بوحدة المتر و A بالمتر المربع و R بالآوم فإن وحدات ρ تكون أوم.متر ($\Omega.m$). والجدول (10-1) يبين اختلاف قيمة المقاومة النوعية لبعض الموصلات والعوازل في درجة حرارة الغرفة.

جدول (10-1) : المقاومة النوعية عند درجة حرارة الغرفة			
$\rho(\Omega.m)$	المادة	$\rho(\Omega.m)$	المادة
25	الدهون	1.629×10^{-8}	الفضة
$10^8 - 10^{12}$	الخشب	1.724×10^{-8}	النحاس
$10^{10} - 10^{14}$	الزجاج	1.47×10^{-8}	الذهب
$10^{11} - 10^{15}$	الميكاف	2.86×10^{-8}	الألمنيوم
10^{15}	الكبريت	5.6×10^{-8}	النتجستن
$10^{15} - 10^{19}$	البولي ستايرين	10×10^{-8}	الحديد
75×10^{16}	الكوارتز	44×10^{-8}	منغانيين
		3.5×10^{-8}	الجرافيت
		1.5	الدم

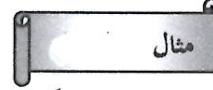
قد نحتاج في بعض الأحيان التعامل مع كميات فيزيائية أخرى مثل التوصيلية G conductance وهي مقلوب المقاومة R ، أي :

$$G = \frac{1}{R} \quad \dots\dots\dots(9-10)$$

وكذلك الموصلية الكهربائية أو ما تعرف بقابلية التوصيل الكهربائي σ (conductivity) وهي مقلوب المقاومة النوعية ρ ، أي:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad \dots\dots\dots(10-10)$$

وبلاحظ من المعادلتين إن وحدة التوصيلية Ω^{-1} ووحدة الموصلية الكهربائية $\Omega^{-1}m^{-1}$.



مصدر الإلكترونات في دائرة تلفزيون يطلق حزمة إلكترونية شدة تيارها $1 \times 10^{-5} A$ -1 ما عدد الإلكترونات التي ترتطم بشاشة التلفزيون كل ثانية ، -2 ما هي كمية الشحنة التي ترتطم بالشاشة كل دقيقة.

$$\text{الحل: } I = \frac{q}{t} - 1$$

$$q = ne$$

$$\therefore I = \frac{ne}{t}$$

ومنها نجد عدد الإلكترونات التي ترتطم بالشاشة كل ثانية (n) وهي:

$$n = \frac{It}{e} = \frac{1 \times 10^{-5} \times 1}{1.6 \times 10^{-19}} = 6.25 \times 10^3$$

-2 كمية الشحنة التي ترتطم بالشاشة كل دقيقة هي:

$$q = It = 1 \times 10^{-5} \times 60$$

$$= 6 \times 10^{-4} C$$



احسب فرق الجهد بين طرفي سلك مقاومته 5Ω إذا كانت الشحنة التي تمر

خلاله كل دقيقة هي $720 C$.

الحل :

$$I = \frac{q}{t} = \frac{720}{60} = 12 A$$

$$\therefore V = RI = 5 \times 12 = 60 V$$

مثال

إذا كانت مقاومة موصل نحاسي معزول طوله 1 km هي 11.9Ω . احسب

مقطع الموصل.

الحل :

بتطبيق المعادلة:

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

وبالتعويض عن المعطيات واستعمال قيمة المقاومة النوعية لمادة النحاس في الجدول

(1-10) نجد:

$$A = \rho \frac{L}{R} = 1.724 \times 10^{-8} \times \frac{1 \times 10^3}{11.9} = 0.1448 \times 10^{-5} \text{ m}^2 = 1.448 \text{ mm}^2$$

مثال

تضخ مضخة مياه كهربائية الماء إلى منزل يبعد عنها مسافة 11 m . فإذا كانت

قيمة مقاومة الدائرة الكهربائية التي تُؤمّن عمل المضخة 0.56Ω . جد مساحة مقطع

الموصل النحاسي المغذي علماً أن الدائرة تتألف من سلكين.

الحل :

بتطبيق المعادلة:

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

وبالتعويض عن المعطيات واستعمال قيمة المقاومة النوعية لمادة السلك في المثال السابق مع

مراعاة أن الدائرة تتألف من سلكين نجد:

$$\begin{aligned} A &= \rho \frac{L}{R} = 1.724 \times 10^{-8} \frac{2 \times 11}{0.56} \\ &= 6.772 \times 10^{-7} \text{ m}^2 = 0.6772 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

سلك مقاومته 5Ω تم تمريره خلال جهاز تشكيل ليحعله سلكاً جديداً أطول ثلاث مرات من طوله الأصلي. ماهي المقاومة الجديدة.
الحل :

نستعمل المعادلة $R = \rho \frac{L}{A}$ لإيجاد مقاومة السلك الجديدة:

$$\rho = \frac{A_o}{L_o} R$$

حيث L_o و A_o أبعاد السلك الأصلية

$$\therefore \rho = \frac{A_o}{L_o} \times 5$$

ومن معطيات المسألة فان $L = 3L_o$ ، حيث L طول السلك الجديد، ولإيجاد A بدلالة A_o (A تمثل مساحة السلك الجديد) نقول أن حجم السلك لم يتغير، ويكون :

$$V_o = LA \quad \text{و} \quad V_o = L_o A_o$$

ومن هنا نجد أن:

$$LA = L_o A_o$$

أو

$$A = \frac{L_o}{L} A_o = \frac{L_o A_o}{3L_o} = \frac{A_o}{3}$$

$$\therefore R = \rho \frac{L}{A} = \frac{\left(\frac{A_o}{L_o} \times 5 \right) \cdot 3L_o}{A_o/3} = 45\Omega$$

Resistances Uses

استعمال المقاومات

إن المقاومات من أعظم المكونات الكهربائية شيوعاً، فهي من الأدوات الكهربائية التي يجب أن يكون لها قسم محدد في مستودعات قطع غيار الأجهزة

الالكترونية، لأنها أصبحت ضرورية لصانعي الأجهزة الالكترونية المتنقلة مثل أقفال الأبواب الكهربائية ودوائر التوقيت وأجهزة التحكم عن بعد وحتى في تفريغ شحنات المكثفات. وفيما يأتي نستعرض بعض استعمالاتها المهمة :

أولاً:- تحديد شدة التيار : Finite of Current Density

تعمل المقاومات على إعاقة مرور التيار الكهربائي وذلك من خلال امتصاص جزء من الطاقة الكهربائية وتبديدها على شكل حرارة، أي أنها تعمل على التحكم بمرور التيار. فمن المعلوم إن التوصيل مباشرةً إلى بعض مكونات الجهاز الإلكتروني دون وجود أجهزة تحد من شدته قد يؤدي إلى تلفها. فعلى سبيل المثال لو كان لدينا مصباح قدرة 60 واط يغذى مباشرة بتيار شدته 1 أمبير فانه سيتلف في الحال. ولكن عند إضافة أداة لتحديد التيار الواصل إليه مثل المقاومة فأنها ستحد من التيار الكهربائي الواصل إليه وبالتالي سيعمل بطريقة سليمة.

ثانياً:- تجزئة الجهد : Potential Discrimination

في بعض الأحيان تتطلب الحاجة إلى السيطرة على فرق الجهد قبل أن يسلط على طرفي دائرة كهربائية. فعلى سبيل المثال إذا كان لدينا مقاومتان في دائرة كهربائية متصلتان على التوالي، فإن فرق الجهد عند نقطة ملتقى المقاومتين يكون جزءاً من فرق الجهد الكلي للمصدر الكهربائي المغذي للدائرة، وبالتالي فإن إعطاء قيم مختلفة للمقاومتين يؤدي إلى تغيير فرق الجهد بينهما، وهذا يؤدي إلى الحصول على الجهد اللازم لعمل ذلك الجزء من الجهاز. ومن الجدير بالذكر إن الريوستات (سنأتي إلى شرحها لاحقاً) يمكن استعمالها أيضاً لهذا الغرض.

The Criteria For

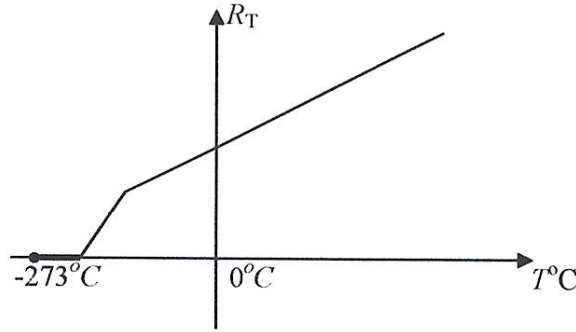
معايير تقييم المقاومات

هناك العديد من المعايير والمواصفات التي يمكن بواسطتها تحديد قدرة المقاومة على تأدية مهامها بشكل مناسب، وتحديد دقتها عند الاستخدام، ومن أهم تلك المعايير: المعامل الحراري للمقاومة ونسبة سماح المقاومة والاستجابة للتردد ومعامل الجهد والثرثباتية والموثوقية. وسنتكلم في هذا البند عن واحدة من أهم هذه المعايير وهي المعامل الحراري للمقاومة Temperature Coefficient of Resistance.

وجد بالتجربة إن مقاومة سلك من مادة موصلة كالنحاس مثلاً، تزداد بزيادة درجة حرارته. ويعزى هذا إلى إن ارتفاع درجة حرارة السلك يتسبب في تحرير بعض الإلكترونات المدارات الخارجية لمادة السلك وازدياد حركتها مما يتسبب في مقاومة التيار الكهربائي المار خلالها. فإذا كانت مقاومة السلك عند درجة حرارة الغرفة T_o هي R_o فإن مقاومته R_T عند درجة حرارة T هي:

$$R_T = R_o + \alpha R_o (T - T_o) \quad \dots\dots\dots (11-10)$$

حيث α تمثل مقداراً ثابتاً يدعى المعامل الحراري للمقاومة لمادة السلك وهي تتغير عادةً مع درجة الحرارة. المعادلة (11-10) تعد صحيحة فقط لمدى محدود من درجات الحرارة قد ينحصر بين $0^\circ C$ إلى $100^\circ C$ أو بالكثير $200^\circ C$ ، حيث تكون العلاقة المرسومة بين R_T و T خطاً مستقيماً، على أنها تبقى صحيحة حتى في حالة انخفاض درجة الحرارة عن الصفر المئوي وإلى حدود لا تتعدى درجة حرارة $-260^\circ C$. بعدها ولعدد غير قليل من المواد تصبح المقاومة صفراً وتدخل المادة في الحالة فائقة التوصيل Superconductivity كما مبين في الشكل (5-10).



الشكل (5-10) : تغير المقاومة مع درجة الحرارة.

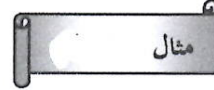
توجد علاقة مماثلة لتغير المقاومة مع درجة الحرارة. فإذا كانت ρ_o و ρ_T هي قيمة المقاومة عند T_o و T على التوالي فإن :

$$\rho_T = \rho_o + \alpha \rho_o (T - T_o) \quad \dots\dots\dots (12-10)$$

القيم النموذجية لمعامل تغير المقاومة مع درجة الحرارة الواردة في الجدول (2-10) تكون صحيحة فقط لدرجات حرارة قريبة من درجة حرارة الغرفة ($20^\circ C$).

جدول (10-2) معامل تغير المقاومة مع درجة الحرارة عند 20°C			
المادة	$\alpha^{\circ}\text{C}^{-1}$	المادة	$\alpha^{\circ}\text{C}^{-1}$
الحديد	0.005	الزئبق	0.00088
التنكستن	0.0045	الكونستنتان	0.000002
الرصاص	0.0043	المنغاني	0.0000
النحاس	0.0039	الجرافيت	-0.0005
الفضة	0.0038	الجرمانيوم	-0.05
الألمنيوم	0.0034	السليكون	-0.07
البرص	0.002		

وعلى الرغم من أن مقاومة معظم الموصلات (كالمعادن مثلاً) تزداد بزيادة درجة الحرارة، إلا أن هناك مواد موصلة أخرى مثل الجرافيت ومعظم أشباه الموصلات وجميع السوائل الالكتروليتيّة تشذ عن تلك القاعدة. حيث تقل مقاومتها النوعية بزيادة درجة الحرارة (لاحظ الإشارة السالبة في الجدول 10-2). كما توجد عدد من السبائك التي تمتاز بضلالة التغير الحاصل في مقاومتها النوعية لمدى غير قليل من درجات الحرارة ومثال ذلك سبيكة المنغاني $4\%\text{Ni}$, $12\%\text{mn}$, $84\%\text{Cu}$ وسبيكة الكونستنتان $40\%\text{Ni}$ و $10\%\text{Cu}$ لذلك يستعمل المنغاني مثلاً في صناعة المقاومات القياسية.



سلك ملف من الألمنيوم مقاومته 3.6Ω عند درجة حرارة الغرفة 20°C . احسب الهبوط في قيمة المقاومة إذا برّد إلى درجة حرارة 0°C . علماً أن معامل المقاومة الحراري للألمنيوم (α) تساوي $3.4 \times 10^{-3}^{\circ}\text{C}^{-1}$.

الحل :

$$R = R_o + \alpha R_o (T - T_o)$$

$$R = 3.6 + 3.4 \times 10^{-3} \times 3.6(0 - 20)$$

$$R = 3.6 - 0.2448 = 3.355 \Omega$$

ويكون مقدار الهبوط في المقاومة بعد أن بُرِّدَتْ إلى درجة حرارة 0°C هو 0.265Ω .

في دائرة كهربائية استعمل مقاوم ألنيوم مقاومته 3.4Ω عند $0^\circ C$ على التوالي مع مقاوم كربون مقاومته 27Ω عند $0^\circ C$ أيضاً، فإذا علمت أن $\alpha_{AL} = 3.4 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ C^{-1}$ (للألنيوم) و $\alpha_c = 0.5 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ C^{-1}$ (للكربون). جد مقاومة المجموعة عند درجة حرارة الغرفة ($20^\circ C$).

الحل:

$$R = [R_{AL} + \alpha_{AL} R_{AL} (T - T_o)] + [R_c + \alpha_c R_c (T - T_o)]$$

$$R = [3.4 + 3.4 \times 10^{-3} \times 3.4 (20 - 0)] + [27 + 0.5 \times 10^{-3} \times 27 (20 - 0)] \\ = 30.9 \Omega$$

سلكان أحدهما من النحاس والآخر من النيكل، مقاومتها 12.7Ω و 11.6Ω على الترتيب في درجة حرارة $20^\circ C$ ، فعند أية درجة تتساوى مقاومتها؟ علماً أن $\alpha_{Cu} = 0.0039 \text{ } ^\circ C^{-1}$ (للكبريت) و $\alpha_{Ni} = 0.006 \text{ } ^\circ C^{-1}$ (للكبريت).

الحل:

$$R_{Cu} = 12.7 + 0.0039 \times 12.7 (T - 20)$$

$$R_{Ni} = 11.6 + 0.006 \times 11.6 (T - 20)$$

وعند $R_{Ni} = R_{Cu}$ نجد:

$$12.7 + 0.0039 \times 12.7 (T - 20) = 11.6 + 0.006 \times 11.6 (T - 20)$$

$$\therefore T = 75^\circ C$$

Types of Resistances

أنواع المقاومات

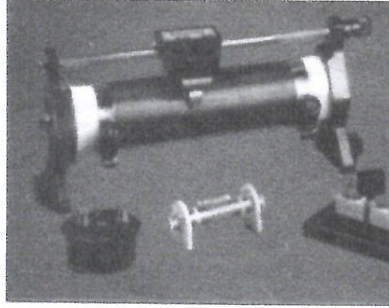
للمقاومات استعمالات كثيرة وعلى سبيل المثال لا الحصر تستعمل المقاومات في معظم الأجهزة الكهربائية تقريباً وخاصة في الأجهزة اللاسلكية وأجهزة الراديو والتلفزيون وفي تشغيل الصمامات الإلكترونية، وكذلك تستعمل المقاومات ذات القدرة

العالية في التحكم بتشغيل المحركات الكهربائية، وفي حماية المحركات الكهربائية عند بدء التشغيل عند مرور تيار البدء العالي، وتقسم المقاومات إلى قسمين رئيسيين، هما :

أولاً:- المقاومات المتغيرة Rheostat

المقاومة المتغيرة عبارة عن أداة تزيد أو تقلل المقاومة في الدائرة الكهربائية، ويتم التحكم بكمية التيار المار في الدائرة عن طريق تغيير قيمة المقاومة. تتكون أبسط أنواع المقاومات المتغيرة من سلك معدني مقاوم ملفوف حول اسطوانة من مادة عازلة، و ذراع معدني يتزلق على طول لفات السلك بحيث يلمس كل لفة أثناء الحركة (شكل 6-10). يمر التيار في لفات السلك ومن ثم ينتقل إلى الذراع المتحرك، وكلما كان عدد لفات السلك كبيراً كانت المقاومة أكبر وقلت قيمة التيار المار خلالها.

تعد المقاومة المتغيرة مفيدة حينما تكون قيمة المقاومة المطلوبة في الدائرة الكهربائية غير معروفة مسبقاً، لإمكانية التحكم بها مباشرة لكي تتلاءم مع القيمة المطلوبة، بعكس المقاومة الثابتة التي تم تحديدها من قبل المصنع.



الشكل (6-10) : أحد أنواع المقاومات المتغيرة

ثانياً:- المقاومات الثابتة Fixed Resistances

تحدد قيمة المقاومة الثابتة في المصنع عند تصنيعها، ولا يمكن تغيير قيمتها من قبل المستخدم، ولكل منها غرض محدد، ولهذا يوجد العديد من المقاومات الثابتة منها :

1- مقاومات السلك الملفوف Precision Wire Wound Resistances

وهي مقاومة عالية الدقة، إذ لا تزيد درجة الانحراف فيها عن $\pm 0.005\%$ وذات معامل حراري منخفض يصل إلى ثلاثة أجزاء من المليون

لكل درجة مقوية. ونظراً لأن تصنيعها مكلف جداً فأنها لا تستعمل إلا في أغراض خاصة.

2-مقاومات السلك الملفوف الفعالة Power Wire Woun Resistances

وتُصنع بلف أسلاك معدنية على أنابيب أو قضبان من الخزف، أو على قضبان مكسوة بالألومنيوم، أو أعمدة من الألياف الزجاجية، ويمكن أن يصنع منها الألياف الزجاجية، كما يمكن أن يصنع منها أنواع دقيقة جداً لاستخدامها في راسم الإشارات وأجهزة القياس الأخرى.

يستعمل هذا النوع من المقاومات حينما يكون هناك حاجة لتخزين كمية كبيرة من الطاقة، حيث يمكنها أن تحتزن طاقة لكل وحدة حجوم أكبر من أي مقاومة أخرى، وقد تتكون هذه المقاومات من سلك ملفوف فقط يشبه عنصر التسخين، لذلك فأنها عادة تحتاج إلى بعض أشكال التبريد لكي تصبح قادرة على أداء مهامها بشكل جيد. ومن أشكال التبريد المروحة أو الغمر في أنواع مختلفة من السوائل تتراوح ما بين الزيوت المعدنية إلى سوائل السليكون عالية الكثافة.

3-المقاومات المنصهرة Fuse Resistances

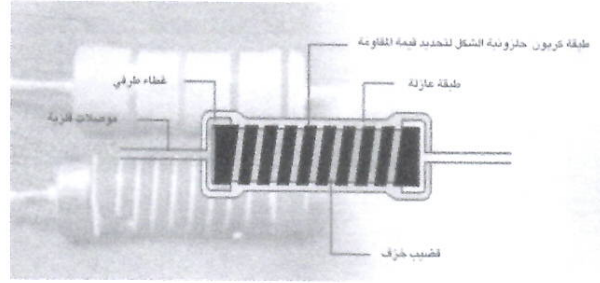
وتستعمل في أغراض مزدوجة حيث تعمل كمقاومة ومنصهر وهي مصممة بحيث تفتح مع التدفق الكبير للتيار. يمكن حساب تيار الانصهار لهذا النوع من المقاومات بناءً على كمية الطاقة اللازمة لصهر المادة المقاومة، وتمثل درجة انصهار المادة مضافاً إليها كمية الطاقة اللازمة لتبخير المواد المقاومة.

4-مقاومات مكونات الكربون Composition Carbon Resistances

وتعد من أكثر المقاومات انتشاراً في السوق. فهي لا زالت تتمتع بتسويق جيد وأسعار منافسة. وتصنع من قضبان كربونية تقسم إلى أطوال مناسبة ثم تشكل مع الرصاص حيث يمكن تغيير نسبة الكربون في الخليط للحصول على القيمة المطلوبة للمقاومة.

5-مقاومات شريحة الكربون Carbon Film Resistances

وتُصنع من طلاء قضبان الخزف بخلط من المواد الكربونية، ويتم الطلاء بطرق مختلفة، ومن أكثرها شيوعاً غطس أو درجة أو طباعة أو رش قضيب الكربون في المحلول المناسب. ويمكن التحكم في سماكة الطلاء من لزوجة وكثافة المحلول. يعد هذا النوع من المقاومات من أفضل الأنواع من حيث الاستجابة الترددية، يشترك في كثير من المميزات مع مقاومة مركبات الكربون مثل الضجيج، ومعامل فرق الجهد، إلا أن معامل مقاومته الحرارية تكون أقل. يتم تصنيع مقاومة شريحة الكربون بترسيب طبقة رقيقة من الكربون على قضيب صغير من الخزف، ثم يعمل في تلك الطبقة شقاً حلزونياً بواسطة آلة حفر آلية يبدأ من أحد الأطراف وينتهي بالآخر كما في الشكل (10-7). ثم تثبت فيه موصلات معدنية وغطاء في كل طرف، وتغطية كامل المقاومة بطبقة عازلة، ومن ثم وضع الملفات الملونة التي تدل على قيمتها، ويعد هذا النوع من المقاومات غير مكلف، ومتاح بدرجة انحراف تتراوح ما بين $\pm 5\%$ إلى $\pm 10\%$ من القيمة المسجلة عليها.



شكل (10-7) : مقاومة شريحة الكربون.

6- مقاومات شريحة المعدن Metal Film Resistances

وتعد من أفضل المقاومات من حيث اشتراكها في كثير من خصائص المقاومات الأخرى ومع أنها ليست دقيقة ولا تتمتع بمعامل حراري عالي أو ثباتية كمقاومات السلك الملفوف الدقيقة، إلا أنها تتميز بمعامل حراري منخفض أكثر من مقاومات شريحة الكربون. وإلى تميزها بمستوى منخفض من

الضحيج واستجابة ترددية ممتازة، ويتم تصنيعها عن طريق التبخير والترسيب، إذ ييخر الفلز الأساس في الفراغ ثم يرسم على قضبان أو شرائح من الخزف.

7- مقاومات رقائق القصدير Foil Resistances

وهي تشبه في خواصها مقاومات الشريحة المعدنية، وتتفوق عليها في الثباتية، وتقل عنها في معامل المقاومة الحراري، وتتميز باستجابة ترددية ممتازة.

Ohm's Law

قانون اوم

في عام 1825 توصل عالم ألماني يدعى جورج سيمون اوم G.S.Ohm (1789-1854) بعد عدة تجارب عملية إلى علاقة تربط بين شدة التيار المار في موصل وفرق الجهد على طرفي هذا الموصل، وقد سمي هذا القانون باسمه تخليداً له. وينص القانون على أن: شدة التيار المار في موصل يتناسب تناسباً طردياً مع فرق الجهد الواقع على طرفيه وذلك عند ثبوت درجة الحرارة. والتعبير الرياضي لهذا القانون هو:

$$V \propto I$$

أو

$$V = \text{const} \cdot I$$

وقد اعتبر هذا المقدار الثابت مقياساً لمقاومة الموصل لمرور التيار الكهربائي خلاله أي عرف الثابت بمقاومة الموصل R وعليه:

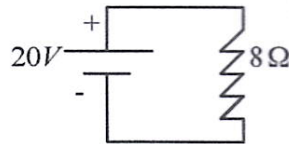
$$V = RI \quad \dots\dots\dots(10-13)$$

أطلق على وحدة قياس قيمة المقاومة الاوم كما مر ذكره في بنود سابقة. وتحدد الإشارة هنا إلى أن قانون اوم ينطبق فقط على المقاومات الثابتة والتي لا تتغير قيمتها مهما تغير مقدار فرق الجهد المسلط عليها والتيار المار فيها، وعموماً تعد الموصلات المعدنية مقاومات خطية إذا كانت تحت درجة حرارة ثابتة.



في الدائرة المبينة في الشكل (10-10) احسب التيار المار في المقاومة.

الحل :



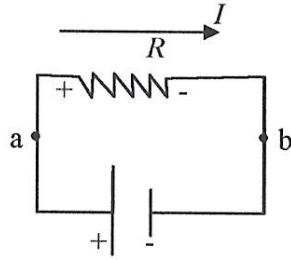
الشكل (10-10).

بتطبيق قانون اوم نجد:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{20}{8} = 2.5A$$

معدل الطاقة الحرارية المتولدة في مقاوم Heat Energy Generated In Resistor.

عندما تبعث بطارية بتيار كهربائي خلال مقاومة فان هذا التيار لا بد وان يبذل مقدراً من الشغل لكي يتغلب على مقدار المقاومة. وبالفعل فان نقل وحدة الشحنات الموجبة خلال المقاومة من الموضع **a** باتجاه **b** كما موضح في الشكل (10-11) يتسبب في زيادة طاقتها الحركية لتأثرها بالمجال الكهربائي، إلا أنها تفقد في نفس الوقت قسماً من طاقتها الكهربائية الكامنة بحيث تبقى طاقتها الكلية ثابتة. إن التغير الحاصل في الطاقة الكهربائية الكامنة بين الموضعين **a** و **b** يساوي الشغل الذي يبذله التيار الكهربائي ليستمر سريان الشحنات في المقاومة، ومقداره يعتمد على اختلاف نوع المقاومة وشدة التيار الكهربائي المار فيها إضافة إلى زمن مرور هذا التيار في المقاومة.



الشكل (10-11): دائرة كهربائية بسيطة.

إن مقدار فقد الطاقة الكامنة في المقاومة يظهر على شكل حرارة يستفاد منها لأغراض صناعية مهمة كثيرة، منها صناعة السخان الكهربائي والمكواة الكهربائية والمشواة الكهربائية والمدفأة الكهربائية والمصابيح وغيرها. وعلى الرغم من هذه الاستخدامات المفيدة إلا أن تولد هذه الحرارة تسبب أضراراً بالغة في عدد من الصناعات الأخرى كما في حالة الأجهزة الكهربائية الكبيرة كالمحركات الكهربائية.

ولحساب الطاقة الحرارية المتولدة في المقاومة R نكتب مقدار الشغل الذي يبذل على كمية من الشحنة مقدارها Δq لإمرارها خلال فرق جهد V بين طرفي المقاومة الذي يساوي الزيادة في طاقة الوضع الكهربائي للشحنة، أي:

$$W = \Delta E_{p.e.} = V\Delta q \quad \dots\dots\dots(10-14)$$

فإذا تحركت الشحنة Δq خلال المقاومة R في زمن قدره Δt فإن الشغل المبذول خلال هذا الزمن يعطي القدرة التي تسلمها البطارية وتكون حسب المعادلة :

$$P = \frac{W}{\Delta t} = V \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

وحيث أن الكمية $\frac{\Delta q}{\Delta t}$ تعبر عن التيار المار في الدائرة. إذن :

$$P = VI \quad \dots\dots\dots(15-10)$$

المعادلة (15-10) تستعمل لحساب القدرة المستهلكة بواسطة عدد من الأجهزة الكهربائية وذلك لتحديد مقدار التيار الكهربائي اللازم لتشغيلها كي يتم اختيار أسلاك التوصيل المناسبة عند قيامنا بهذا العمل، وذلك لأن في حالة استعمال أسلاك كهربائية لاحتتمل مقدار التيار المار بها، سيؤدي ذلك إلى احتراق السلك وبالتالي يمكن أن يؤدي إلى مخاطر عدة، لذلك يكون تفهمنا لهذه العلاقة أمراً ضرورياً للغاية.

إن وحدة القدرة هي الجول/الثانية أو ألواط ($Watt$) نسبة إلى اسم العلامة جيمس واط. ومضاعفات هذه الوحدة هي الكيلو واط ($Watt K$) وتساوي ألف واط، والميكروواط ($\mu Watt$) وتساوي مليون واط.

وفي الحالة الخاصة التي تكون فيها R مقاومة اومية أي تخضع لقانون اوم المتمثل بالمعادلة $V=IR$ كما مر ذكره في البند السابق، عندئذ يمكن كتابة المعادلة (15-10) بالشكل الآتي :

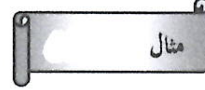
$$P = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad \dots\dots\dots(16-10)$$

وهذا يعني أن المعدل الزمني لتوليد الحرارة (أو القدرة الحرارية) في مقاومة ثابتة يتناسب تناسباً طردياً مع مربع التيار، وتسمى هذه النتيجة بقانون جول نسبة إلى مكتشفها العالم جيمس جول (1818-1889).

قد يكون من المفيد أن نذكر أن الطاقة التي تمكن التيار الكهربائي من بذل مقدار من الشغل كما أسلفنا تعرف بالطاقة الكهربائية وهي تستمد من المصدر الكهربائي للتيار، مقدرة بوحدات الكيلو واط-ساعة وهي تكافئ بالجول 3.6×10^6 . إن مقدار الطاقة المستهلكة من المصدر الكهربائي يتوقف على نفس العوامل التي يتوقف عليها مقدار

الشغل المبذول، وهي شدة التيار الكهربائي، وقيمة المقاومة وزمن مرور التيار في هذه المقاومة.

يتم قياس القدرة بواسطة جهاز ألواط ميتر، لكن بالنسبة للوحدة التجارية للطاقة المستهلكة وهي الكيلو واط-ساعة فإنه يستعمل لذلك جهاز الكيلو واط-ساعة وهو ما يعرف باللغة الدارجة بالعداد الكهربائي الذي لا يخلو منه أي منزل.



احسب قيمة التيار الكهربائي الأعظم والجهد المسلط على مقاومة قدرها $16\text{ k}\Omega$ وقدرة 3 Watt دون أن تزداد سخونتها فوق الحدود الطبيعية.

الحل :

من المعادلة (6-10) لدينا :

$$V^2 = PR \Rightarrow V = \sqrt{PR} = \sqrt{3 \times 16 \times 10^3} = 219\text{V}$$

ولدينا من المعادلة ذاتها :

$$P = I^2 R \Rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{3}{16 \times 10^3}} = 1.369 \times 10^{-2} \text{A} = 13.69 \text{mA}$$



احسب مقدار التيار الكهربائي والطاقة الكهربائية المستهلكة بالكيلو واط-ساعة نتيجة إضاءة ثمانية مصابيح قدرة 100Watt لمدة خمس ساعات من مصدر للتيار المتناوب 220 V .

الحل :

$$P_{\text{tot}} = 8 \times 100 = 800\text{W} \quad (\text{القدرة الكلية للمصابيح})$$

$$P = VI \Rightarrow \therefore I = \frac{P}{V} = \frac{800}{220} = 3.63 \text{ A}$$

و إن

$$W = VIt = Pt = \frac{800}{100} \times 5 = 40 \text{ kWatt} - \text{hr}$$

سخان كهربائي قدرته $500Watt$. احسب مقدار التيار الكهربائي المستهلك نتيجة لتشغيل هذا السخان ومقدار الطاقة الكهربائية المستهلكة، إذا كانت فترة تشغيل السخان ساعتين من مصدر للتيار المتردد $220V$.

الحل :

$$P = VI \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{500}{220} = 2.27 A$$

$$W = pt = 500 \times 2 = 1000 Watt - hr = 1kWatt - hr$$

غسالة كهربائية قدرة الموتور الكهربائي المستعمل بها $\frac{1}{3}$ حصان. احسب مقدار الطاقة الكهربائية المستهلكة بالكيلو واط-ساعة نتيجة لتشغيل الغسالة لمدة خمس ساعات من مصدر للتيار المتردد $220V$.

الحل :

$$\frac{746}{3} = 248 W \quad (\text{قدرة الغسالة بالواط})$$

$$W = pt = \frac{248}{1000} \times 5 = 1.240 kWatt - hr$$

المكافئ الميكانيكي Mechanical Equivalent

انطلاقاً من المبدأ العام لقانون حفظ الطاقة، فإن الطاقة المستهلكة بواسطة عدد من المكونات الكهربائية (مثل المقاومات) والحرارة المتولدة بسببها كميتان متكافئتان دائماً. ولقد عبرنا في جميع مناقشاتنا السابقة عن الطاقة بوحدة الجول، وهذه الوحدة هي في الأساس ميكانيكية، ولكن في الغالب يعبر عن الطاقة على شكل حرارة بوحدة السعرة. لقد أجريت تجارب كثيرة على دوائر كهربائية لاستنباط الصياغة المثالية بين الجول والسعرة أو كما اشرنا بين وحدة الطاقة الميكانيكية والحرارية، فإذا مرَّ تيار كهربائي شدته I من الامبيرات لفترة زمنية t من الثواني خلال مقاومة فرق الجهد بين

طرفيها V من الفولتات، فان الطاقة الكهربائية المستهلكة (W) في المقاومة مقدرة بالجولات تساوي:

$$W = VIt \quad \dots\dots\dots(17-10)$$

حيث تتحول هذه إلى طاقة حرارية مقدارها H من السرعات ويطلق على مقدار الطاقة اللازم بذلها لتوليد وحدة حرارية واحدة بالمكافئ الميكانيكي للحرارة ويرمز له بالرمز J . حيث :

$$J = \frac{W}{H} \quad \dots\dots\dots(18-10)$$

وهذه العلاقة الكمية بين W و H يعطيها قانون جول وهي تمثل صيغة مثالية خاصة للقانون الأول في الثرموديناميك ويذكر أن قيمة J تتوقف على نوع الوحدات المستعملة في قياس الطاقة المستهلكة W وكمية الحرارة H وهي تساوي 4.18 جول لكل سعره.

الكهربائية

الفصل السادس: دوائر التيار المستمر

جامعة الحمدانية

م. بان عبد المسيح بدر

الفصل السادس

دوائر التيار المستمر

القوة الدافعة الكهربائية (e.m.f.)

فهي مصدر للقوة الدافعة الكهربائية (e.m.f.) التي تمثلها الشحنات الموجودة على طرفي البطارية. وان الاصطلاح المتبع لسريان التيار الكهربائي هو أن الشحنات الموجبة تتدفق في الجزء الخارجي من الدائرة الكهربائية من الطرف الموجب ذي الجهد العالي إلى الطرف السالب ذي الجهد الواطئ. أما في داخل البطارية فان التفاعلات الكيميائية هي المسؤولة عن نقل الشحنات الموجبة من الطرف السالب إلى الطرف الموجب. ويتم حالياً تطوير أنواع أخرى من البطاريات غير الكيميائية الغرض منها توفير الطاقة الكهربائية. ومن المصادر الكهربائية الأخرى هي المولد Generator وهو جهاز يقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية المنتجة بواسطة المحرك عن طريق دوران المروحة إلى طاقة كهربائية، والمزدوج الحراري Thermocouple الذي يعمل على مبدأ الانحدار الحراري في توفير الطاقة الكهربائية، والخلية الشمسية Solar Cell التي استعملت بصورة واسعة لتغذية الأجهزة الالكترونية المحمولة في مختلف مركبات الفضاء والتوابع الأرضية بالطاقة الكهربائية اللازمة لها، كما تستعمل لتوفير الطاقة للساعات وآلات الحاسبة اليدوية وذلك بتحويل الطاقة الضوئية والحرارية بصورة مباشرة إلى طاقة كهربائية.

2- مقدار القوة الدافعة الكهربائية

يعرف مقدار القوة الدافعة الكهربائية $\mathcal{E}$ لأي مصدر بمقدار الشغل المنجز من قبل المصدر لوحدة الشحنة. فإذا فرضنا أن شحنة كهربائية مقدارها dq مرت في دائرة كهربائية مغلقة في زمن dt ، يكون الشغل المنجز حسب تعريف القوة الدافعة الكهربائية هو:

$$dW = \mathcal{E} dq$$

أو:

$$\mathcal{E} = \frac{W}{dq} \quad \dots(1-6)$$

أما وحدة $\mathcal{E}$ فهي (volt=Joule/coul) وهي نفس وحدة فرق الجهد.

3- القدرة Power:

هي مقدار الطاقة المستهلكة في وحدة الزمن أو المعدل الزمني لانجاز الشغل.

$$P = \frac{W}{t}$$

$$\text{watt} = \frac{\text{Joule}}{\text{sec}}$$

ويمكن قياسها أو تحديدها طبقا لأحد هذه المعادلات:

$$P = i\varepsilon \quad (1) \text{ مقدار القدرة الكهربائية التي يزودها المصدر للدائرة:}$$

$$P = i * V \quad (2) \text{ مقدار القدرة الكهربائية لاي جزء محصور بين نقطتين في دائرة:}$$

$$(3) \text{ مقدار القدرة الكهربائية التي تبذل في المقاومات:}$$

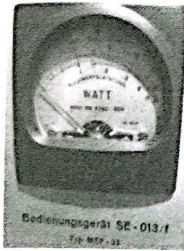
$$P = R * i * i$$

$$P = (V * V) / R$$

إذ: P القدرة الفعالة ووحدتها watt، V فرق الجهد المبذول، i التيار المار، R المقاومة الخطية.

ويتم قياس الفولتية بوضع الفولتمتر على التوازي مع المصدر المراد قياس جهده وقياس التيار يوضع جهاز الاميتر بالتوالي في الدائرة.

3-1 مقياس قدرة



مقياس القدرة أو مقياس الطاقة أو مقياس الواطميتر (Wattmeter) هو جهاز لقياس القدرة الكهربائية، في الدوائر الكهربائية ذات التيار المستمر تكون قراءة الجهاز متناسبة مع حاصل ضرب قيمة التيار (أمبير) في الجهد (فولت)، أما في الدوائر الكهربائية ذات التيار المتردد فيؤخذ بنظر الاعتبار عامل القدرة Power Factor لأن التيار والجهد قد لا يكونان متحدي الطور.

القدرة الكهربائية "P المستهلكة" من طرف جهاز كهربائي هي حاصل ضرب الفولتية v (بالفولت) وشدة التيار i الكهربائي المار فيه (بالأمبير):

$$P = V \cdot i$$

الوحدة العالمية للقدرة هي الواط، ورمزه W .

الطاقة الكهربائية "E المستهلكة" من طرف جهاز كهربائي هي حاصل ضرب القدرة P والمدة t لاشتغاله:

$$E = P \cdot t$$

الوحدة العالمية للطاقة هي الجول، ورمزه J ، وتستعمل غالباً الوحدة العملية الواط-ساعة، ورمزها $w.hr$ ، إذ أن: $1 w.hr = 3600 J$.

2-3 الفرق بين القدرة الكهربائية والطاقة الكهربائية

- القدرة الكهربائية: مقدار فيزيائي قابل للقياس وحدة قياسها هي الواط وجهاز قياسها الواطميتر. وتمثل القدرة الكهربائية قدرة الجهاز على أداء عمله.

- الطاقة الكهربائية: مقدار فيزيائي تعبر عن كمية الاستهلاك الكهربائي لجهاز كهربائي

يكتسب قدرة خلال مدة اشتغاله.

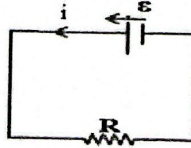
4- معادلة الدائرة الكهربائية The Circuit Equation:

إن معادلة الدائرة الكهربائية هي أساس لحساب التيار الكهربائي الذي يمر في دائرة كهربائية. أما المفهوم الفيزيائي الذي بُنيت عليه المعادلة فهو ذات المفهوم الذي يركز عليه قانونا كيرتشف الأول والثاني. إن أحد أشكال المعادلة هو:

$$i = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R}$$

إذ أن $\sum \varepsilon$ مجموع القوة الدافعة الكهربائية، و $\sum R$ مجموع المقاومات.

من الشكل (1-6) نلاحظ أن معدل الطاقة الكهربائية التي يمددها المصدر للدائرة تساوي معدل تبديد الطاقة في المقاومة الكلية R للدائرة.



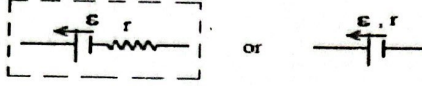
الشكل (1-6)

وحسب قانون حفظ الطاقة:

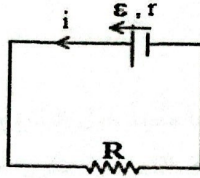
$$\varepsilon I = Ri^2$$

$$\left[i = \frac{\varepsilon}{R} \right] \quad \text{عند اهمال المقاومة الداخلية}$$

ملاحظة: الشكل يمثل مصدر القوة الدافعة ε والذي يحتوي على المقاومة الداخلية (r) ويرسم حسب ما موجود في المصادر كالآتي:



وعند وجود مقاومة داخلية في المصدر، كما في الشكل (2-6):



الشكل (2-6)

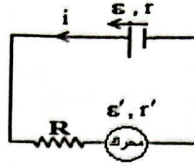
فان معادلة الدائرة تكتب حسب قانون حفظ الطاقة:

$$\varepsilon i = Ri^2 + r i^2$$

$$\left[i = \frac{\varepsilon}{R + r} \right]$$

وتسمى هذه المعادلة بمعادلة الدائرة الكهربائية، والتي من خلالها يمكن حساب التيار في الدائرة المغلقة.

المقاومة الداخلية: هي إعاقة المصدر نفسه لسريان الكهربائية فيه وتقاس بوحدة الاوم. نفرض هناك مصدر اخر للقوة الدافعة الكهربائية قد ربط على التوالي في الدائرة السابقة، وكما في الشكل (3-6).



الشكل (3-6)

$$\varepsilon i = r i^2 + R i^2 + r' i^2 + \varepsilon' i^2$$

$$(\varepsilon - \varepsilon') i = (r + R + r') i^2$$

$$\therefore \left[i = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{R + r + r'} \right]$$

لذلك نستنتج وبصورة عامة معادلة الدائرة الكهربائية:

$$\left[i = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R} \right]$$

عند تطبيق هذه المعادلة نختار اتجاهاً معيناً حول الدائرة ونعتبره موجباً:

1- اتجاهات التيارات والقوة الدافعة الكهربائية تكون موجبة إذا كانت بنفس الاتجاه المفروض، وسالبة إذا كانت عكس الاتجاه.

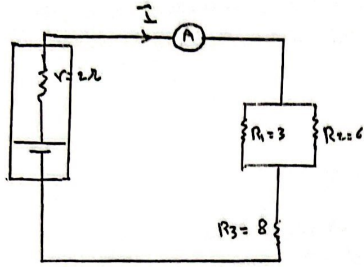
2- أما المقاومات تكون اشارتها دائماً موجبة.

3- إذا كان اتجاه التيار باتجاه القوة الدافعة الكهربائية فان العمود يقوم بتغذية الدائرة

بالطاقة الكهربائية (عملية تفريغ) . 

4- إذا كان اتجاه التيار عكس اتجاه القوة الدافعة الكهربائية فان العمود يقوم بتحويل

الطاقة الكهربائية الى نوع اخر من الطاقة . 



مثال :
في الدائرة الكهربائية أدناه:
 $R_1 = 3 \Omega$, $r = 2 \Omega$, $E = 24V$
 $R_2 = 6 \Omega$, $R_3 = 8 \Omega$

- 1- ما مقدار قراءة الأميتر؟
- 2- القدرة المبذولة في الحمل؟
- 3- القدرة المبذولة في المصدر؟

$$R_{12} = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6}} \Rightarrow R_{1,2} = 2 \Omega$$

$$R = 2 + 8 = 10 \Omega$$

$$I = \frac{E}{r+R} = \frac{24}{2+10} \Rightarrow I = 2A \text{ قرودة الأميتر}$$

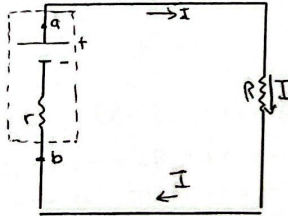
$$P_R = I^2 R = 4 \times 10 = 40 \text{ watt}$$

$$P_r = I^2 r = 4 \times 2 = 8 \text{ watt}$$

$$P = EI = 24 \times 2 = 48 \text{ watt}$$

حساب فرق الجهد في الدوائر الكهربائية:

يبين الشكل أدناه دائرة كهربائية مكونة من مصدر قوته الدافعة الكهربائية ($\mathcal{E}$) ومقاومته الداخلية (r) يتصل مع المقاومة (R) والتيار يسري باتجاه عقرب الساعة .



لإيجاد فرق الجهد بين أي نقطتين في الدائرة الكهربائية يجب مراعاة ما يلي:

- 1- عند اجتياز المقاومة باتجاه التيار فإنه يحدث هبوط في الجهد قدره $(-IR)$. أما إذا كان الاجتياز بعكس اتجاه التيار فإنه يحدث ارتفاع في الجهد قدره $(+IR)$.

- 2- عند اجتياز القوة الدافعة من قطبها السالب الى قطبها الموجب (اي بنفس اتجاه القوة الدافعة الكهربائية) فإنه يحدث ارتفاع في الجهد قدره $(+\mathcal{E})$ ام اذا كان الاجتياز بالعكس اي من القطب الموجب الى القطب السالب فإنه يحدث هبوط في الجهد قدره $(-\mathcal{E})$.
- لإيجاد فرق الجهد بين النقطتين a, b (V_{ab}):

$$V_b - \mathcal{E} - \mathcal{I}r = V_a$$

$$V_{ab} = V_a - V_b = \mathcal{E} - \mathcal{I}r$$

- والآن لو بدأنا من نقطة (a) وانتهينا الى نفس النقطة عبر مسار الدائرة المغلقة وجمعنا جبريا التغيرات الحاصلة في الجهد لحصلنا على نفس الجهد عند نقطة البداية اي ان:

$$V_a - \mathcal{I}R - \mathcal{I}r + \mathcal{E} = V_a$$

$$-\mathcal{I}R - \mathcal{I}r + \mathcal{E} = 0$$

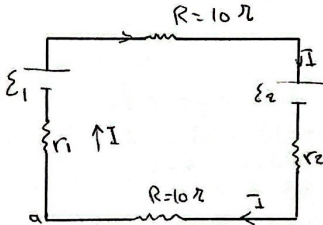
اي ان : المجموع الجبري للتغيرات الحاصلة في الجهد عبر اي دائرة كهربائية مغلقة يجب ان يساوي صفر.

مثال :

في الدائرة الكهربائية ادناه اذا كان :

$$\mathcal{E}_1 = 60V , \mathcal{E}_2 = 12V$$

$$R = 10\Omega , r_1 = 3\Omega , r_2 = 1\Omega$$



احسب مقدار التيار في الدائرة؟

لنبدأ من النقطة (a) وننتهي بنفس النقطة:

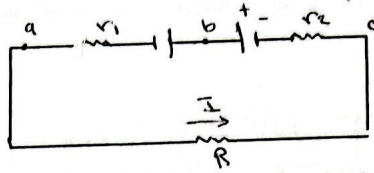
$$-\mathcal{I}r_1 + \mathcal{E}_1 - \mathcal{I}R - \mathcal{E}_2 - \mathcal{I}r_2 + \mathcal{I}R = 0$$

$$\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = 2\mathcal{I}R + \mathcal{I}r_1 + \mathcal{I}r_2$$

$$60 - 12 = 20\mathcal{I} + 3\mathcal{I} + 1\mathcal{I}$$

$$48 = 24\mathcal{I} \Rightarrow \mathcal{I} = 2A$$

مثال :
في الدائرة المبينة في الشكل ادناه :



$$\begin{aligned} E_1 &= 6V, & E_2 &= 12V \\ r_1 &= 1\Omega, & r_2 &= 2\Omega, & R &= 9\Omega \end{aligned}$$

احسب :

- 1- قيمة التيار في الدائرة.
 - 2- فرق الجهد بين النقطتين (a,b).
 - 3- فرق الجهد بين النقطتين (c,b).
- اولاً: نبدأ من النقطة (c) :

$$-Ir_2 + E_2 - E_1 - Ir_1 - IR = 0$$

$$E_2 - E_1 = I(r_2 + r_1 + R)$$

$$12 - 6 = I(2 + 1 + 9)$$

$$6 = 12I \Rightarrow I = 0.5 A$$

ثانياً: لحساب فرق الجهد بين النقطتين (b,a) نتبع المسار من النقطة (a) الى النقطة (b) بعكس التيار فنحصل على :

$$V_a + Ir_1 + E_1 = V_b$$

$$V_{ab} = V_a - V_b = -Ir_1 - E_1$$

$$V_{ab} = -0.5 \times 1 - 6 \Rightarrow V_{ab} = -6.5 V$$

ثالثاً: لحساب فرق الجهد بين النقطتين (c,b) يتبع المسار من (c) الى (b).

$$V_b - E_2 + Ir_2 = V_c$$

$$V_b - V_c = E_2 - Ir_2$$

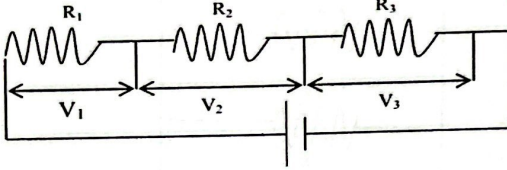
$$V_{bc} = 12 - 0.5 \times 2 \Rightarrow V_{bc} = 11V$$

ملاحظة: ان القوة الدافعة الاكبر هي التي تحدد اتجاه التيار وعليه فان اتجاه التيار سيكون بعكس دوران عقارب الساعة.

ربط المقاومات:

يتم ربط المقاومات بطريقتين تعتمد على استخدامات الدائرة اللازمة ومقدار المقاومة المكافئة المطلوبة في هذه الدائرة وهاتان الطريقتان هما: الربط على التوالي والربط على التوازي.

1. الربط على التوالي.



- خصائصها:

1. توصل المقاومات بحيث لا يكون هناك تفرع بالأسلاك.
 2. يكون للتيار الكهربائي نفس القيمة عند جميع نقاط الدائرة الكهربائية:
- $$i = i_1 = i_2 = i_3$$
3. يتجزء فرق الجهد على المقاومات طرديا مع مقدار كل مقاومة:

$$v = v_1 + v_2 + v_3$$

4. تستخدم هذه الطريقة للحصول على مقاومة مكافئة ذات قيمة اكبر من اكبر مقاومة موجودة في الدائرة.

وبالاشتقاق نحصل على:

$$v = v_1 + v_2 + v_3, \quad v = R \cdot i$$

$$(R \cdot i)_{\text{tot}} = (R \cdot i)_1 + (R \cdot i)_2 + (R \cdot i)_3$$

$$i = i_1 = i_2 = i_3 \quad \text{لكن:}$$

$$R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + R_3 \quad \dots (2-6)$$

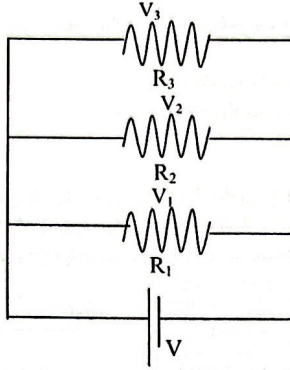
حالة خاصة:

إذا وصلت مجموعة من المقاومات المتساوية المقدار على التوالي تكون المقاومة المكافئة: المقاومة المكافئة = (عدد المقاومات) × (مقاومة احدى المقاومات)

$$R_{\text{tot}} = NR$$

ملاحظة: إذا حدث اي خلل في جميع الدوائر الكهربائية الموصولة على التوالي فان هذا الخلل يؤدي إلى فتح الدائرة الكهربائية وبالتالي تتوقف جميع الاجهزة الموصولة بالدائرة.

2- التوصيل على التوازي.



خصائصها:

1. يكون في الدائرة الكهربائية تفرع بالاسلاك الكهربائية.
 2. يتجزء التيار الكهربائي عكسيا مع مقدار كل مقاومة $(I_{tot} = i_1 + i_2 + i_3)$.
 3. يكون للجهد الكهربائي نفس المقدار عند جميع اجزاء الدائرة $(v = v_1 = v_2 = v_3)$.
 4. تستخدم هذه الطريقة للحصول على مقاومة مكافئة ذات قيمة أصغر من أقل مقاومة موجودة في الدائرة.
- وبالاشتقاق نحصل على:

$$i_{tot} = i_1 + i_2 + i_3$$

$$V = R.i, \quad i = \frac{V}{R} \quad \text{لكن:}$$

$$\frac{V}{R_{tot}} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$$

$$\therefore V = V_1 = V_2 = V_3$$

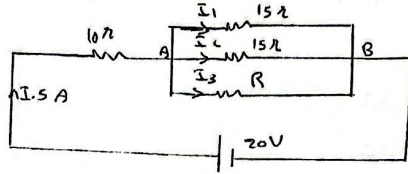
فان:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \dots (3-6)$$

أي إن مقلوب المقاومة المكافئة يساوي مجموع مقلوب المقاومات المربوطة.
ملاحظة:

- عند ربط المقاومات على التوالي نحصل على مقاومة كبيرة .
- عند ربط المقاومات على التوازي نحصل على مقاومة صغيرة .

مثال : مقاومة مقدارها (10 Ω) مربوطة على التوالي مع مقاومتان مقدار كل منهما (15 Ω) والمربوطتان على التوازي . ما مقدار المقاومة الواجب ربطها مع مجموعة التوازي لكي يصبح تيار الدائرة (1.5 A) . علما بأن المجموعة مربوطة لفرق جهد مقداره (20 V) .



فرق الجهد عبر المقاومة (10 Ω)

$$V_{10} = I \times 10 = 1.5 \times 10$$

$$V_{10} = 15V$$

فرق الجهد عبر مجموعة التوازي:

$$V = 20 - 15 \Rightarrow V_{AB} = 5V$$

$$I_1 = \frac{5}{15} \Rightarrow I_1 = \frac{1}{3}A \quad , \quad I_2 = \frac{5}{15} \Rightarrow I_2 = \frac{1}{3}A$$

$$I_3 = I - (I_1 + I_2) \Rightarrow I_3 = 1.5 - \frac{2}{3} = \frac{3}{2} - \frac{2}{3} = \frac{5}{6}$$

$$I_3 = \frac{5}{6}$$

كتابة حساب التيار لمقاومتين مربوطين على التوالي:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} ; \quad I_2 = \frac{V}{R_2}$$

$$I = I_1 + I_2 \quad I_2 = I - I_1$$

$$\frac{I_1}{I - I_1} = \frac{R_2}{R_1}$$

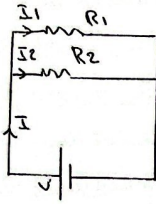
$$I_1 R_1 = I R_2 - I_1 R_2$$

$$I_1 R_1 + I_1 R_2 = I R_2$$

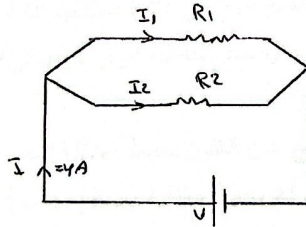
$$I_1 (R_1 + R_2) = I R_2$$

$$\therefore I_1 = I \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} ; \quad I_2 = I \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$



مثال : في الشكل ادناه $R_1 = 6\Omega$ و $R_2 = 12\Omega$ و (4A - I) م مقدار (I_1, I_2, V).



$$I_1 = I \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_1 = 4 \times \frac{12}{6 + 12} \Rightarrow I_1 = \frac{8}{3} A$$

$$I_2 = I \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = 4 \times \frac{6}{6 + 12} \Rightarrow I_2 = \frac{4}{3} A$$

قانون كيرشوف Kirchhoff's Law



كثير من الشبكات الكهربائية التي لا تحتوي على مقاومات متصلة في مجموعات بسيطة على التوالي أو التوازي، لا يمكن اختزالها إلى تراكيب أبسط باستخدام الطريقة الاعتيادية المتبعة مع المقاومات في حالة ربط التوالي أو التوازي أي طريقة المقاومات المكافئة حسب ما جاء في الفقرات السابقة. أضف إلى ذلك قد تحتوي هذه الشبكات على خلايا للقوة

الدافعة الكهربائية في أكثر من مسار واحد من مسارات الشبكة. ولمعالجة مسائل من هذا النوع والتمكن من حساب قيم التيارات المختلفة المارة في كل من المسارات الممكنة بالشبكة سنتعرض إلى مبدئين أساسيين اقترحا من قبل العالم الألماني كيرشوف (1824-1887) يعرفان بقانوني كيرشوف والذان يطبقان على الحالات المستقرة فقط. ينص قانون كيرشوف الأول (وهو نابع عن مبدأ حفظ الشحنة الكهربائية) على إن: المجموع الجبري لجميع التيارات المتفرعة من أية نقطة تفرع في دائرة مغلقة يساوي صفراً، أي أن:

$$\sum i = 0 \quad \dots(9-6)$$

ولغرض تطبيق هذه القاعدة على أية نقطة تفرع في دائرة سنكتب التيارات الداخلة إلى نقطة تفرع (نقطة ملتقى لثلاثة أطراف توصيل حاملة لتيار كهربائي) بإشارة موجبة والخارجة بإشارة سالبة.

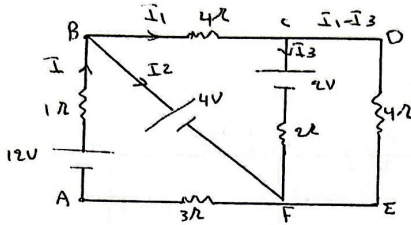
ينص قانون كيرشوف الثاني (وهو نابع عن قانون حفظ الطاقة) على أن: المجموع الجبري لتغيرات الجهد حول أي دائرة كهربائية مغلقة يساوي صفراً. وبعبارة أخرى المجموع الجبري للقوة الدافعة الكهربائية للمصادر الموجودة في أية دائرة مغلقة في شبكة كهربائية زائداً المجموع الجبري لفروق الجهد في تلك الدائرة يساوي صفراً، أي:

$$\sum \varepsilon + \sum iR = 0 \quad \dots(10-6)$$

$$\sum \varepsilon = \sum iR \quad \dots(11-6)$$

أخذين بنظر الاعتبار قواعد الإشارات الموجبة والسالبة للتغيرات في الجهد.

مثال :
في الشبكة الكهربائية المبينة في الشكل



احسب :

- 1- التيار (I).
- 2- التيار خلال المقاومة (4) في الفرع DE.

From the circuit (ABFA):

$$12 - 1 \times I_1 - 4 - 3I_2 = 0$$

$$4I_1 = 8 \Rightarrow I_1 = 2A$$

From the circuit (BCFA):

$$-4I_1 - 2 - 2I_3 - 3I_2 + 12 - 1I_1 = 0$$

$$-4I_1 - 2I_3 - 6 - 2 - 2 + 2 = 0$$

$$4I_1 + 2I_3 = 2 \quad \text{--- (1)}$$

From the circuit (BDEA):

$$-4I_1 - 4(I_1 - I_3) - 3I_2 + 12 - I_1 = 0$$

$$-4I_1 - 4I_1 + 4I_3 - 6 + 12 - 2 = 0$$

$$-8I_1 + 4I_3 = -4 \quad \text{بالنسبة لـ (2)}$$

$$-4I_1 + 2I_3 = -2$$

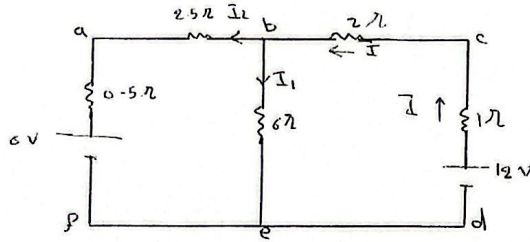
$$4I_1 + 2I_3 = 2$$

$$4I_3 = 0 \quad , \quad I_3 = 0$$

$$-4I_1 + 0 = 2 \Rightarrow I_1 = 0.5A$$

$$I_1 - I_3 = 0.5 - 0 \Rightarrow 0.5A = \text{التيار خلال الفرع (DE)}$$

مثال :
في الشبكة الكهربائية أدناه احسب I



$$I = I_1 + I_2$$

From the circuit (dcbe):

$$\begin{aligned} 12 - 1 \times I - 2I - 6I_1 &= 0 \\ 12 &= 3I_1 + 3I_2 + 6I_1 \\ 12 &= 9I_1 + 3I_2 \Rightarrow 4 = 3I_1 + I_2 \quad \dots (1) \end{aligned}$$

From the circuit (dcbafe):

$$\begin{aligned} 12 - 3I - 2.5I_2 - 0.5I_2 - 6 &= 0 \\ 6 &= 3I_1 + 3I_2 + 3I_1 \\ 6 &= 3I_1 + 6I_2 \quad \dots (2) \\ 4 &= 3I_1 + I_2 \end{aligned}$$

بالطرح

$$2 = 5I_2 \Rightarrow I_2 = 0.4 \text{ A}$$

$$4 = 3I_1 + I_2 \Rightarrow 4 = 3I_1 + 0.4 \Rightarrow 3I_1 = 3.6$$

$$I_1 = 1.2 \text{ A}$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$= 1.2 + 0.4 \Rightarrow I = 1.6 \text{ A}$$