

كلية التربية الاساسية | قسم العلوم | فيزياء
محاضرات الكهرباء الساكنة ودوائر التيار المستمر
ثاني فيزياء
اعداد : ا. سوسن عبد الزهرة

الوحدة الاولى

المقدمة : intrducton

تنشأ الكهرباء الساكنة (الاستاتيكية) static electricity نتيجة انتقال الشحنات من جسم الى جسم اخر وهناك ظواهر كثيرة في حياتنا اليومية تحدث سببها حدوث عملية التكهرب التي سنعرفها فيما بعد ، فمثلا عند تمشيط الشعر الجاف بمشط مصنوع من البلاستيك يصبح له القابلية على جذب قصاصات الورق وعندما تمشي فوق سجادة في يوم جاف فإنك تحس بشرارة كهربائية ، كذلك عندما يقترب إصبعك من يد الباب المعدنية وعند خلع الملابس المصنوعة من النايلون في الظلام تلاحظ شرارة كهربائية وغيرها وكل هذه الظواهر تعني حالة تكهرب الاجسام وانتقال الشحنات ، ان الكهرباء الساكنة تستقر على سطوح الأجسام دائما وذلك لأن الشحنات المتولدة على الجسم نتيجة التكهرب تكون من نوع واحد ونتيجة لذلك تنشأ قوى تنافر فيما بينها فتحاول أن تأخذ أقصى مسافة فيما بينها فتتجه إلى الخارج ، وعلى هذا الأساس لا يصاب ركاب الطائرة بالصاعقة عند مرورهم من خلال غيمة مكمهبة اذ تستقر الشحنات على سطح الطائرة ، ولكن تشكل ظاهرة الكهرباء الساكنة مشكلة كبيرة احيانا في الصناعة والمعامل خصوصا في الصناعة النفطية والغازية مثلا انتقال الشحنات ممكن ان يسبب بشرارة قد تكون كافية لإيقاد الغازات والأبخرة المتواجدة بالموقع ولتجاوز مشاكل هذه الظاهرة هو جعل كافة الأجسام متعادلة من حيث تجمع الشحنات عليها ، فيجب ان لا يكون هناك تجمع للشحنات على جسم ما يفوق ما هو متجمع على الجسم الآخر لذا من العادة ربط جميع الأجسام المعدنية في المعمل مع بعضها وربطها مع الأرض من خلال نظام للتأريض بهدف تفريغ كل الشحنات الكهربائية المتجمعة إلى الأرض حيث تنتقل الألكترونات من الجهد المرتفع إلى الجهد المنخفض ، وهناك ايضا مشكلة الشحنات المتكونة في الغيوم وتفريغها في ما بينها وبين الأرض التي تتكون نتيجة فصل الارض (المتعادلة) للشحنات السالبة والموجبة مما يؤدي إلى نشوء قوة تجاذب هائلة بين السحابة و الأرض والتي كثيرا ما تسبب في حرائق الغابات ، ان حماية الأسقف والأبنية المرتفعة يكون بواسطة نظم لممانعات الصواعق والتي تقوم بتسريب الشحنات الى الارض.

تشتمل دراسة الكهربية الساكنة على مجموعة من المفاهيم الأساسية مثل الشحنة الكهربائية وانواعها، قانون حفظ الشحنة، القانون الذي يحكم القوى الكهروستاتيكية بين الشحنات، المجال الكهروستاتيكي المحيط بالشحنة الكهربائية وكذلك الجهد الكهروستاتيكي.

١: الشحنة والمادة: Charge and Matter

ان القوى المتبادلة المسؤولة عن التركيب الذري أو الجزيئي للمادة هي مبدئياً قوى كهربائية بين الجسيمات المشحونة كهربائياً، وهذه الجسيمات هي البروتونات والإلكترونات، وكما نعلم إن الإلكترون يحمل شحنة سالبة وبالتالي فإنه يتجاذب مع مكونات النواة الموجبة وهذه القوى هي المسؤولة عن تكوين الذرة Atom كذلك فان القوى التي تربط الذرات مع بعضها البعض مكونة الجزيئات هي أيضاً قوى تجاذب كهربائية.

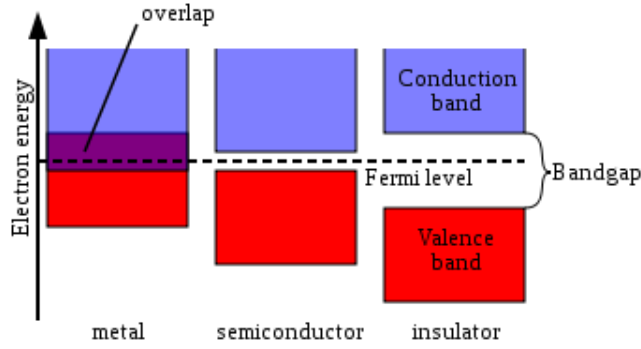
الجدول (١) يوضح خصائص المكونات الأساسية للذرة من حيث قيمة الشحنة والكتلة:

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

ويجب أن ننوه هنا أن هناك نوعاً آخر من القوى التي تربط مكونات النواة م ع بعضها البعض وهي القوى النووية ولولاها لتفقت النواة بواسطة قوى التجاذب بين الإلكترون والبروتون

٢:١ الموصلات والعوازل: Conductors and Insulators

استطاع العالم Gilbert في عام 1600 بشحن ساق من الزجاج بواسطة الحرير ولكنه لم يتمكن من شحن أي نوع من المعادن مثل النحاس أو الحديد، وأستنتج حينها أن شحن هذا النوع من الأجسام مستحيل ولكن بعد حوالي 100 ثبت أن استنتاجه كان خاطئاً وأن الحديد يمكن شحنه بواسطة الصوف أو الحرير ولكن بشرط أن يكون ممسوكاً بقطعة من البلاستيك، وبعد عدة تجارب وجد أن الشحنة المكتسبة يمكن أن تنتقل من الحديد إلى يد الإنسان ثم إلى الأرض وبالتالي فان تأثيرها سوف يختفي تماماً، إلا إذا عزل الحديد عن يد الإنسان بواسطة البلاستيك أثناء ذلك. وعلى هذا الأساس قسمت المواد حسب خواصها الكهربائية إلى ثلاثة أقسام وهي الموصلات Conductors والعوازل Insulators وأشباه الموصلات Semiconductors وكما موضح في الشكل (١).



شكل (١) تصنيف المواد حسب توصيلها للكهربائية

ويتضح من الشكل أنه في المواد الصلبة solid تكون طاقة الإلكترونات موزعة على مستويات طاقة محددة Energy level هذه المستويات مقسمة إلى حزم طاقة تسمى Energy Bands والمسافة بين حزم الطاقة لا يمكن أن يتواجد فيها أي إلكترون، هناك نوعان من حزم الطاقة أحدهما يعرف بحزمة التكافؤ Valence Band والأخرى حزمة التوصيل Conduction Band ويسمى الفراغ بين الحزمتين بفسحة الطاقة أو بـ Energy E_g Gap، تعتمد خاصية التوصيل الكهربائي على وجود شواغر في الأوربيتالات الخارجية لذرات المواد التي تشكل حزمة التكافؤ إذ يمكن للشحنات أن تنتقل من هذه الحزمة إلى حزمة التوصيل لتصبح هذه الشحنات حرة الحركة والمواد التي تكون بهذه الخاصية تكون موصلة للكهرباء وهذه المواد تكون مقاومتها النوعية الكهربائية منخفضة (موصليتها الكهربائية عالية) تتراوح تقريباً من 10^{-8} إلى 10^{-6} اوم / متر) في درجة حرارة الغرفة مثل الفضة والنحاس والألمنيوم والحديد وتتحرك الإلكترونات في الموصلات باتجاهات عشوائية كما في جزيئات الغاز ولكي يتولد تدفق صافٍ من الشحنات يجب أن تتحرك هذه الإلكترونات معاً بمعدل سرعة معينة وتعتبر الإلكترونات بمثابة العناصر الناقلة للشحنات الكهربائية في الموصلات حيث تسلك مساراً عشوائياً بانتقالها السريع من ذرة إلى أخرى ولكن عند تطبيق فرق جهد كهربائي من بطارية على طرفي موصل كهربائي ينشئ مجالاً كهربائياً على طرفي الموصل واتجاهه من الطرف الموجب إلى الطرف السالب بينما في المواد العازلة فتكون حزمة التكافؤ مملوءة تماماً ولكي ينتقل أي إلكترون من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل يحتاج إلى طاقة كبيرة حتى يتغلب على فسحة الطاقة E_g ولذلك سيكون عازلاً لعدم توفر هذه الطاقة له وهذه المواد تكون مقاومتها النوعية الكهربائية عالية جداً تتراوح بي $(10^{18} - 10^7$ اوم/ متر) في درجة حرارة الغرفة مثل الخشب والزجاج .

توجد حالة وسط بين الموصلات والعوازل تسمى semiconductor وفيها تكون حزمة التوصيل قريبة نوعاً ما من حزمة التكافؤ المملوءة تماماً ويستطيع الإلكترون من القفز عند اكتسابه طاقة حرارية Absorbing thermal energy مثلاً ليقفز إلى حزمة التوصيل وهذه المواد تكون مقاومتها النوعية الكهربائية متوسطة بين الموصلات والعوازل إذ تتراوح بين $(10^{-4} - 10^6$ اوم/ متر) في درجة حرارة الغرفة ومثال عليها السيلكون والجرمانيوم . بصورة عامة تكون الشحنة الكهربائية في الموصلات حرة الحركة لعدم امتلاء الأوربيتالات الخارجية في ذرات المادة بينما في العوازل فإن الشحنة مقيدة.

١:٣ الشحنة الكهربائية Electrical Charge

ان جميع الاجسام في الطبيعة عبارة عن مجموعة من الشحنات المتعادلة كهربائيا اي ان مجموع الشحنات الموجبة في الجسم يساوي مجموع الشحنات السالبة ، واذا حدث خلل في هذا التوازن كأن يفقد الجسم او يكتسب شحنات اضافية فان الجسم يسمى متكهرب **charged** وهذا يعني حدوث ظاهرة التكهرب **charging** وشرط حدوث هذه الظاهرة هو وجود جسمين احدهما يفقد عدد من الشحنات الشحنة والاخر يكتسب نفس العدد من الشحنات لذلك فان الجسمين معا متعادلان اي ان النظام محفوظ ، وهناك ثلاث طرق للحصول على الكهربائية الساكنة :-

١-الدلك **Friction**: لو اخذنا ساق من الالبونيت او المطاط وقطعة من قماش الفرو ودلكنا الساق بالفرو ثم اخذنا قطع صغيرة من الورق نلاحظ بان المطاط يجذب القطع الصغيرة لفترة زمنية وتفسير ذلك ان المطاط اكتسب شحنة سالبة نتيجة انتقال الالكترونات اليه من الفرو فاصبح عدد الشحنات السالبة فيه اكثر من الشحنات الموجبة وعند تلامسه مع القطع الصغيرة من الورق فانه ينقل هذه الشحنات التي اكتسبها بنفس عددها الى القطع الورقية ، اما قطعة الفرو فتصبح مشحونة بشحنة موجبة لفقدانها عدد من الشحنات.



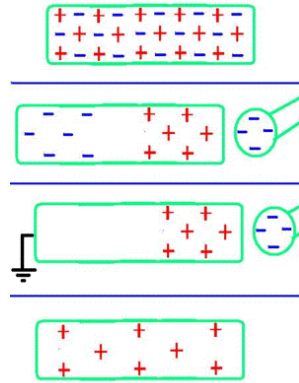
شكل (٢)

اذن فهناك جسم يفقد عدد من الالكترونات ويصبح موجب الشحنة وهناك جسم اخر يكتسب نفس العدد من الالكترونات ويصبح سالب الشحنة وهذا ما يعرف بقانون حفظ الشحنة **Conservation of charge** ولكن كلاً من المطاط والفرو معاً متعادل كهربائياً ، ونفس النتيجة نحصل عليها عند ذلك ساق من الزجاج بقطعة من الحرير حيث نلاحظ ان الزجاج يصبح موجبا وقطعة الحرير تصبح سالبة ، واذا تم تعليق ساق الزجاج المشحون بخيط عازل وتعليق ساق المطاط المشحون بخيط اخر وقربا من بعضهما فانهما يتجاذبان (يقتربان) من بعضهما لانهما يحملان شحنات مختلفة ، اذن بواسطة التجارب امكن إثبات أن هناك نوعين مختلفين من القوى بين الشحنات وهذا ادى الى وجود ظاهرتي ١-التجاذب بين الشحنات المختلفة، ٢-التنافر بين الشحنات المتشابهة .

٢-بالتلامس **BY Contact** (التوصيل): وذلك عند ملامسة جسم مشحون بأخر غير مشحون فتنقل الشحنات الكهربائية من الجسم المشحون و تكون نوع شحنة الجسم الذي شحن اخيرا نفس نوع شحنة الجسم الذي شحنه (الذي تلامس معه) فاذا لمس ساق الزجاج المشحون بشحنة موجبة كرة معدنية متعادلة معلقة بخيط عازل فان الالكترونات الحرة تنتقل من الكرة الى الزجاج وكننتيجة لهذا تكتسب الكرة المعدنية شحنة موجبة، وتعتبر الالكترونات هي مصدر للكهربائية.

٣-الشحن بالحث Charge by Induction : هو إعادة توزيع الشحنة الكهربائية في جسم بتأثير شحنات مجاورة، و تتلخص عملية الشحن بالحث بالخطوات التالية وكما موضح في الشكل(٣) :

- ا- تقويم كرة مشحونة بشحنة سالبة من سلك موصل متعادل فينأثر بالكرة ويؤدي ذلك الى إعادة توزيع الشحنات في السلك فالشحنات المتشابهة (السالبة) تبتعد إلى الطرف البعيد والمختلفة تتجذب (الموجبة) وتكون على الطرف القريب من الكرة.
- ب- ان الشحنة المختلفة تتجذب الى الكرة المشحونة وهي مقيدة(بسبب انجذابها للكرة) اما الشحنة المتنافرة فتكون بعيدة ، ومن هنا فعند توصيل السلك الموصل بسلك تأريض(يعني سلك موصل بالأرض) فإن الشحنات السالبة تنتقل إلى الأرض.
- ج- يتم إبعاد الكرة عن السلك الموصل فتتوزع الشحنات الموجبة على السلك بالكامل وعندها يكون السلك قد شحن بشحنة موجبة بطريقة الحث و يلاحظ ان الشحنة التي شحن بها السلك الموصل كانت مخالفة للشحنة الموجودة على الكرة المشحونة، لذا نستنتج انه لشحن جسم موصل بشحنة موجبة فإننا نقرب منه جسم سالب الشحنة والعكس صحيح.



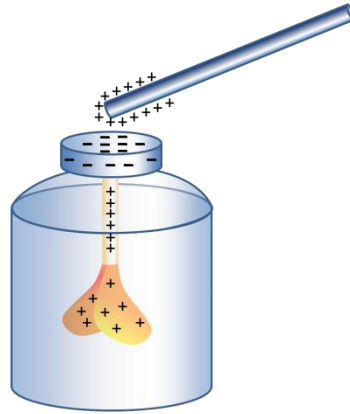
شكل ٣

ان أهم ما يميز هذا النوع من طرق الشحن انها تستخدم لشحن المواد الموصلة مثل النحاس والحديد.

٤:١ الكشاف الورقي (الالكتروسكوب) The Electroscope

يمكن الكشف عن الشحنات باستخدام الكشاف الورقي الذي يتكون من ورقتين رقيقتين من الالمنيوم او الذهب متصلة بانبوبة معدنية شكل (٤) وهذا التركيب مغلف من الخارج بالفجاج وذلك لملاحظة اقتراب او ابتعاد هاتين الورقتين من بعضهما وكذلك كي لاتتأثر الورقتين بالتيار الهوائي ، فعند اتصال او تلامس الانبوب المعدني بجسم مشحون فسرعان ما تكتسب الورقتين نفس الشحنة ثم تبتعدان عن بعضهما او يقال بان الورقتين بدأت بالتنافر

ومعدل الانفراج يدل على قيمة قوة التنافر وهذه تعتمد على قيمة الشحنة المكتسبة ، ويمكن استخدام هذا الكشف ايضاً لمعرفة المواد التي تستخدم في نقل الشحنات الكهربائية ، نفرض ان احدى نهايتي سلك نحاسي قد ربطت الى الانبوب المعدني للكشاف والنهية الاخرى توصل الى ساق معلق من المطاط المشحون سابقاً بشحنة سالبة مثلاً نلاحظ بان الشحنات تنتقل عبر السلك النحاسي الى الورقتين الذهبيتين في حين لو استخدمنا خيط من قماش بدلاً من السلك النحاسي نلاحظ ان الشحنة لا تنتقل ، اذن فهناك مواد تنقل الشحنات الكهربية مثل الموصلات واخرى لا تنقل الشحنات الكهربائية مثل العوازل .



شكل (٤)

من كل ماتقدم يمكن تعريف الشحنة الكهربائية بانها خاصية تحملها الجسيمات الدون ذرية (الالكترونات والبروتونات)، وهي مصدر القوة الكهرومغناطيسية في الطبيعة .

الشحنة مكممة : Charge is Quantized

كان الاعتقاد السائد في عهد العالم Franklin's بأن الشحنة الكهربائية شيء متصل كالسوائل مثلاً ولكن بعد اكتشاف النظرية الذرية للمواد تغيرت هذه النظرة تماماً حيث تبين أن الشحنة الكهربائية على أي جسم مشحون تساوي شحنة الالكترون او مضاعفات صحيحة لها من الإلكترونات السالبة وهذا يعني ان الشحنة مكممة quantized ، وبالتالي فإن أصغر شحنة يمكن الحصول عليها هي شحنة إلكترون مفرد وقيمتها $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ وعملية ذلك لشحن ساق من الزجاج (او المطاط) هي عبارة عن انتقال لعدد صحيح من الشحنات إلى الساق ، اذن الشحنة الكلية التي يحملها الجسم المشحون فهي $q = Ne$ حيث N هو عدد صحيح.

٥:١ قانون كولوم Coloumbes Law

ينص قانون كولوم بما يلي "تناسب قوة التجاذب أو التنافر بين شحنتين نقطيتين في الفراغ تناسباً تناسباً طردياً مع القيمة المطلقة لحاصل ضرب شحنتيهما وعكسياً مع مربع البعد بينهما." اي ان :

١. قوة كولوم تناسباً طردياً مع مقدار الشحنتين

$$F \propto q_1 q_2$$

٢. وتتناسب عكسياً مع مربع البعد بين الشحنتين

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

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

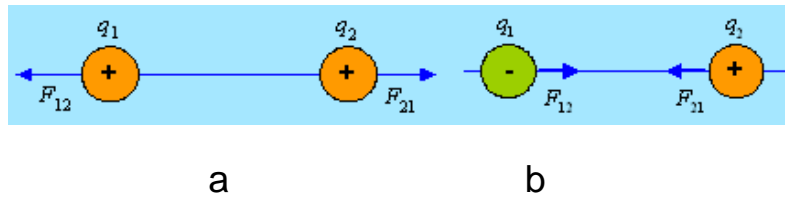
حيث k هو ثابت كولوم وقيمته

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = \frac{1}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12}} = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$$

و ϵ_0 نفاذية الفراغ وقيمتها $8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$

حساب القوى الكهروستاتيكية: Calculation of Electrostatic Force:

ان القوى الكهروستاتيكية بين الشحنتان تكون ناتجة من تأثير شحنة نقطية على شحنة نقطية أخرى أو من تأثير توزيع معين لعدد من الشحنتان على شحنة معينة، ولحساب القوة الكهربائية المتبادلة بين أي شحنتين نتبع مايلي : اولاً نحدد نوع القوة بين الشحنتين هل هي قوة تنافس أم تجاذب ثم نحدد اتجاه القوة وبعدها يطبق قانون كولوم لإيجاد قيمة القوة بين الشحنتين ولاتؤخذ إشارة الشحنتان في المعادلة لأنها اخذت بنظر الاعتبار عند إيجاد اتجاه القوة ، ففي حالة وجود شحنتين متماثلتين مثلاً حيث تكون القوة المتبادلة هي قوة تنافر كما في الشكل (5a)



شكل (5a,b)

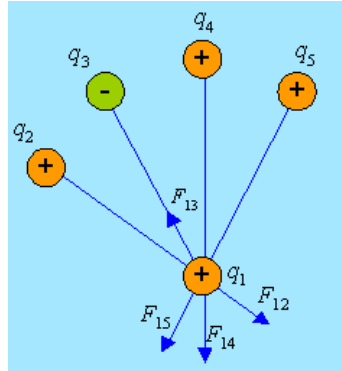
لايجاد القوة المؤثرة على الشحنة q_1 مثلاً نتيجة وجودها قرب الشحنة q_2 تكتب القوة F_{12} وتكون في اتجاه التنافر عن q_2 أي ان تأثير الشحنة q_2 هو ابعاد الشحنة q_1 عنها. وتحسب مقدار القوة من قانون كولوم كالتالي

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = -\vec{F}_{21}$$

اذ يكون اتجاه القوة المؤثرة على الشحنة q_2 من قبل الشحنة q_1 عكس القوة F_{12} أي أن القوتين متساويتان في المقدار ولكن متعاكستان في الاتجاه اذا كانت قيمة الشحنتي متساويتين.

كذلك الحال في الشكل b والذي يمثل شحنتين مختلفتين في الاشارة، حيث القوة المتبادلة بينهما هي قوة تجاذب اي ان الشحنة q_2 تجذب الشحنة q_1 اليها وايضا تكون القوتان متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه (في حالة تساوي قيمة الشحنتين) . وفي حالة التعامل مع أكثر من شحنتين كما في شكل (٦) فحساب محصلة القوى الكهربائية الكلية المؤثرة على شحنة q_1 مثلا فإن القوة المحصلة F_1 تساوي الجمع الاتجاهي لجميع القوى المتبادلة مع الشحنة q_1 أي أن

$$F_1 = F_{12} + F_{13} + F_{14} + F_{15}$$



شكل (٦)

ولحساب قيمة واتجاه F_1 محصلة القوى المؤثرة على q_1 اتبع الخطوات التالية:-

- ١- حدد متجهات القوة المتبادلة مع الشحنة q_1 على الشكل وذلك حسب إشارة الشحنتان .
- ٢- خذ الشحنتين q_1 و q_2 أولا حيث أن الشحنتين موجبتان والقوة بينهما قوة تنافر ، إذاً q_1 تتحرك بعيدا عن الشحنة q_2 وعلى امتداد الخط الواصل بينهما ويكون المتجه F_{12} هو اتجاه القوة المؤثرة على الشحنة q_1 نتيجة الشحنة q_2 وطول المتجه يتناسب مع مقدار القوة. وبالمثل خذ الشحنتين q_1 و q_3 وحدد اتجاه القوة F_{13} ثم حدد F_{14} وهكذا.
- ٣- اعمل القوى الكهربائية المتبادلة بين الشحنتان q_2 & q_3 & q_4 لأننا نحسب القوى المؤثرة على q_1 .

٤- تكون محصلة هذه القوى هي F_1 ولكن كما هو واضح على الشكل فإن خط عمل القوى مختلف ولذلك نستخدم طريقة تحليل المتجهات إلى مجموعة مركبات بلالاتجاه السيني والصادي ونجمع المركبات وكما يلي :

$$F_{1x} = F_{12x} + F_{13x} + F_{14x}$$

$$F_{1y} = F_{12y} + F_{13y} + F_{14y}$$

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

اما اتجاه المحصلة

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

مثال (١): شحنتين نقطيتين متماثلتين في الفراغ اذا كانت قيمة قوة التنافر بينهما 0.1N والبعد بينهما 50cm احسب قيمة تلك الشحنتين.

الحل : بتطبيق قانون كولوم

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

وبما ان الشحنتين متساويتين

$$0.1 = \frac{9 \times 10^9 \times q^2}{(0.5)^2}$$

$$q_1 = q_2 = 1.7 \times 10^{-6} \text{C} = 1.7 \mu\text{C}$$

سؤال: اوجد القوة المؤثرة على الشحنة $q = 4 \mu\text{C}$ اذا كانت الشحنة $q_1 = 2 \mu\text{C}$ تبعد 4cm عن يسار q والشحنة $q_2 = -3 \mu\text{C}$ تبعد مسافة 3cm عن يمين الشحنة q .

٦:١ المجال الكهربائي: Electrical Field

ان مفهوم المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة كهربائية هو الحيز المحيط بالشحنة الكهربائية والذي تظهر فيه تأثير القوى الكهربائيية ، أنه ينشأ من جسم مشحون في الحيز المحيط به ويُحدث قوة على أي من الشحنات الأخرى داخل المجال ان وجدت ، ويعمل المجال الكهربائي بين شحنتين بالطريقة نفسها التي يعمل بها مجال الجاذبية بين كتلتين كما يتمدد المجال الكهربائي مثله في ذلك مثل مجال الجاذبية إلى ما لا نهاية ويظهر علاقة تربيع عكسي مع المسافة ومع ذلك يوجد اختلاف مهم بينهما ، إذ تعمل الجاذبية دائماً على عنصر الجذب فتجذب كتلتين نحو بعضهما البعض بينما قد يتسبب المجال الكهربائي في جذب الجسيمات أو تنافرها وبما أن الأجسام كبيرة الحجم مثل الكواكب لا تحمل عادةً أي صافي شحنة فإن المجال الكهربائي عن بُعد يساوي صفر وبالتالي تعد الجاذبية الارضية القوة الغالبة في الكون على الرغم من ضعفها مقارنةً بالقوى الأخرى.

وتُعرّف شدة المجال الكهربائي في أي نقطة على أنها القوة (لكل وحدة شحنة) التي تتأثر بها شحنة ثابتة إذا وضعت عند هذه النقطة ويجب أن تكون الشحنة التصورية التي يطلق عليها اسم

"شحنة اختبار" شديدة الصغر حتى تمنع مجالها الكهربائي من التشويش على المجال الرئيسي للشحنات . اذن فان شدة المجال الكهربائي هي القوة المؤثرة على شحنة اختبار موجبة عند نقطة معينة الى قيمة الشحنة عند تلك النقطة وبما ان القوة كمية متجهة فان المجال الكهربائي ايضا كمية متجهة وتتجه باتجاه محصلة القوى .

ولايجاد قيمة المجال الكهربائي عند نقطة ما تبعد مسافة r من شحنة نقطية نفرض وجود شحنة اختبار موجبة مقدارها وحدة واحدة عند تلك النقطة ثم نجد اتجاه وقيمة القوة المؤثرة على الشحنة وتحسب كما يلي :

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq_0}{r^2}$$

$$E = \frac{F}{q_0}$$

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

أن المجال الكهربائي E هو مجال خارجي وليس المجال الناشئ من شحنة الاختبار كما واضح في الشكل (٧) وقد يكون هناك مجال كهربائي عند أية نقطة في الفراغ بوجود أو عدم وجود شحنة الاختبار ولكن وضع الشحنة عند أية نقطة في الفراغ هو وسيلة لحساب المجال الكهربائي من خلال القوى الكهربائية المؤثرة عليها



شكل (٧)

مثال: اوجد قيمة المجال الكهربائي على بعد 4cm عن يمين شحنة نقطية مقدارها 2μ .

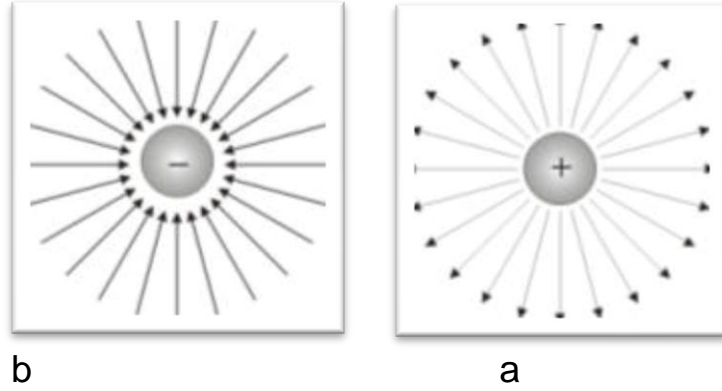
الحل: نفرض وجود شحنة اختبار تقع على مسافة 4cm من الشحنة النقطية فتكون قيمة المجال الكهربائي

$$E = k q / r^2 = 9 \times 10^9 (4 \times 10^{-6}) / (0.04)^2 = 9 \times 10^7 \text{ N/C}$$

ويكون اتجاه المجال الكهربائي الى اليمين (وضح ذلك)

اتجاه المجال الكهربائي Direction of Electrical Field

يكون اتجاه المجال عند نقطة ما لشحنة موجبة في اتجاه الخروج من الشحنة كما في الشكل (8a) ويكون اتجاه المجال عند نقطة ما لشحنة سالبة في اتجاه الدخول إلى الشحنة كما في الشكل (8b)



شكل (٨) (a) اتجاه المجال الكهربائي خارج الشحنة الموجبة (b) اتجاه المجال داخل الى الشحنة السالبة

ولايجاد قيمة المجال الكهربائي الناتج عن مجموعة من الشحنات النقطية كما موضح في الشكل (٩)

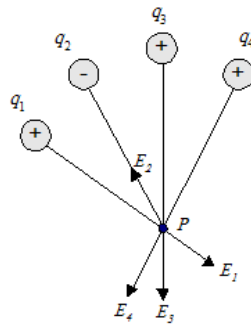


Figure 3.3

شكل (٩)

اتبع الخطوات التالية :

١- حدد اتجاه المجال الكهربائي لكل شحنة على حده عند النقطة المراد إيجاد محصلة المجال عندها ولتكن النقطة p، يكون اتجاه المجال الناتج من الشحنة الاولى الموجبة الى خارج النقطة

p لان القوة بين هذه الشحنة وشحنة الاختبار الموجبة هي قوة تنافر ويكون اتجاه المجال داخلاً إلى نقطة p إذا كانت الشحنة سالبة لان القوة بين الشحنة الثانية السالبة وشحنة الاختبار هي قوة تجاذب.

٢- يكون المجال الكهربائي الكلي هو الجمع الاتجاهي لمتجهات المجال

$$E_p = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 \dots\dots\dots (3.4)$$

٣- إذا كان لا يجمع متجهات المجال خط عمل واحد حل كل متجه إلى مركباته الأفقية والعمودية

٤- نجمع مركبات المحور الأفقي x على حده ومركبات المحور العمودي y اي ان:

$$E_x = E_{1x} + E_{2x} + E_{3x} + E_{4x}$$

$$E_y = E_{1y} + E_{2y} + E_{3y} + E_{4y}$$

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

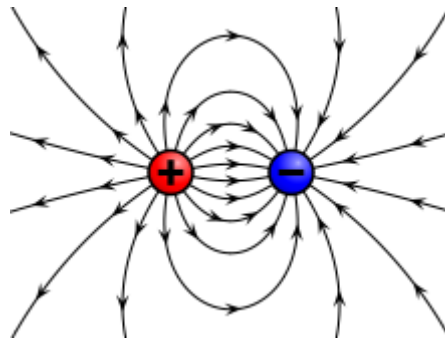
٥- تكون قيمة محصلة المجال الكهربائي عند النقطة هي

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

٦- اتجاه المجال هو

Properties of Electrical force line خواص خطوط القوة الكهربائية

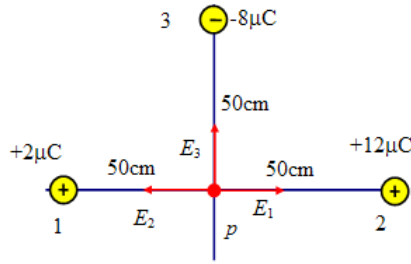
- أ - خطوط القوة الكهربائي تخرج من الشحنة الموجبة وتنتهي عند الشحنة السالبة
- ب - ان المماس لخط القوة عند اي نقطة يعطي اتجاه المجال الكهربائي عند تلك النقطة
- ت - عدد خطوط المجال الكهربائي لوحدة المساحة تمثل قيمة المجال الكهربائي عند تلك النقطة



شكل (١٠) خطوط القوة الكهربائي بين شحنتي مختلفتين في الإشارة

مثال : اوجد قيمة المجال الكهربائي عند نقطة p والناتج من الشحنات الموضحة في الشكل (١١)

الحل: ان قيمة محصلة المجال عند نقطة p هو المجموع الاتجاهي للمجالات الناتجة من كل شحنة .اي



شكل (١١)

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

مجموع مركبات المجال الكهربائي بالاتجاه الافقي هي

$$E_x = E_1 - E_2 = -36 \times 10^4 \text{ N/C}$$

ومجموع المركبات بالاتجاه العمودي هي

$$E_y = E_3 = 28.8 \times 10^4 \text{ N/C}$$

اذن قيمة محصلة المجال الكهربائي عند نقطة p نحصل عليها من العلاقة

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

$$E_p = \sqrt{(36 \times 10^4)^2 + (28.8 \times 10^4)^2} = 46.1 \text{ N/C}$$

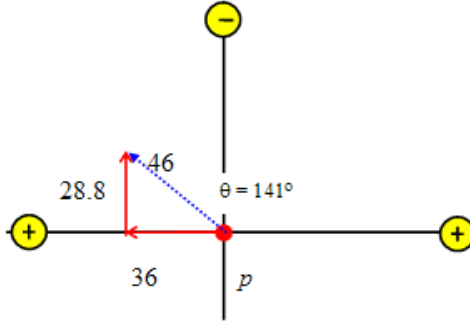
واتجاه المحصلة من العلاقة

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

$$\theta = \tan^{-1}(28.8) / (36)$$

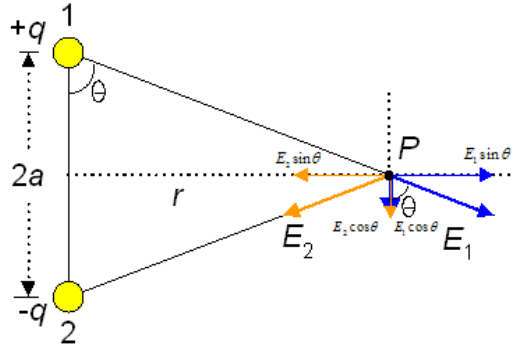
$$\theta = 141^\circ$$

ويوضح الشكل (١٢) قيمة محصلة المجال



شكل (١٢)

مثال (٢) اوجد قيمة المجال الكهربائي الناتج من ثنائي القطب (ثنائي القطب عبارة عن شحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في الاشارة) وعلى بعد r من مركزيهما الموضح في الشكل (١٣)



شكل (١٣)

الحل:

قيمة المجال الكلي عند النقطة p هي محصلة المجالين E_1 الناتج عن الشحنة q_1 والمجال E_2 الناتج عن الشحنة q_2 أي أن

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

وحيث أن النقطة p تبعد عن الشحنتين بنفس المقدار، والشحنتان متساويتان إذاً المجالان متساويان وقيمة المجال تعطى بالعلاقة:

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{a^2 + r^2} = E_2$$

لاحظ هنا أن المسافة الفاصلة هي ما بين الشحنة والنقطة المراد إيجاد المجال عندها نحل متجه المجال إلى مركبتين كما في الشكل أعلاه

$$E_x = E_1 \sin \theta - E_2 \sin \theta$$

$$E_y = E_1 \cos\theta + E_2 \cos\theta = 2E_1 \cos\theta$$

$$E_p = 2E_1 \cos\theta$$

$$E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{a^2 + r^2} \cos\theta$$

من الرسم اعلاه

$$\cos\theta = \frac{a}{\sqrt{a^2 + r^2}}$$

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

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

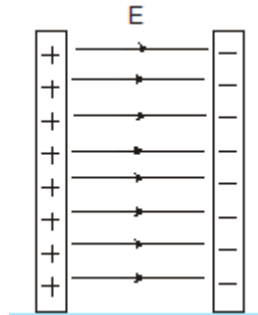
٧:١ حركة الجسيمات المشحونة في المجال الكهربائي

Motion of charged particles in the electrical field

نفرض وجود شحنة نقطية تتحرك في مجال كهربائي منتظم (بين لوحين متوازيين) ، المجال الكهربائي المنتظم هو حالة خاصة من المجال ويعرف على أنه المجال الذي قيمته ثابتة عند جميع النقاط ويمكن الحصول عليه من خلال صفيحتين متوازيتين مساحتهما كبيرة والمسافة بينهما صغيرة ومشحونتين بنفس مقدار الشحنة ومختلفتين في الإشارة.

اذن فان المجال الكهربائي سوف يسلط قوة على الشحنة المتحركة قيمتها

$$\vec{F} = q\vec{E} \text{ -----1}$$



شكل (١٤) المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين

هذه القوة تولد تعجيلا مقداره

$$a = F/m \text{-----} 2$$

حيث m كتلة الجسم، يمكن كتابة المعادلة (1) بالشكل التالي

$$F=qE=ma$$

$$a=qE/m \text{-----} 3$$

اذا كانت الشحنة موجبة فان التعجيل سيكون باتجاه المجال الكهربائي، واذا كانت الشحنة سالبة فان تعجيل الجسم سيكون بعكس اتجاه المجال

مثال (3): تحركت شحنة نقطية m من السكون في مجال كهربائي منتظم E يتجه باتجاه الاحداثي السيني كما موضح في شكل (10) اوجد صيغة لسرعة الشحنة بعد ان تحركت مسافة x

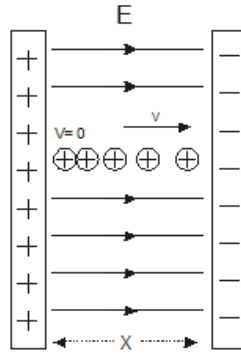


Figure 3.8

شكل (10)

الحل : ان تعجيل الشحنة هو

$$a=qE/m$$

وبما ان الشحنة تحركت من السكون فان سرعتها الابتدائية صفرا

$$x = \frac{1}{2} at^2 = (qE/2m) t^2$$

اذن سرعة الشحنة هي

$$v = at = (qE/m) t$$

$$v^2 = 2ax = (2qE/m)x$$

مثال: ما هو قيمة المجال الكهربائي في الزاوية السفلى اليسرى من المربع الموضح في الشكل (١٦)، افرض ان $q=1 \times 10^{-7} \text{C}$ وان $a=5 \text{cm}$.

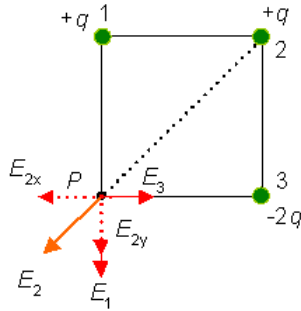


Figure 3.11

شكل (١٦)

الحل : نفرض وجود شحنة اختبار موجبة عند نقطة p نحدد اولاً اتجاه المجال الكهربائي بين كل شحنة من الشحنات الثلاث مع شحنة الاختبار ثم نحسب قيمة المجال الناتج من الشحنات الثلاث وكما يلي :

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

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

$$E_3 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q}{a^2}$$

بعد التعويض عن قيم الشحنة q وعن قيم المسافة a نحصل على

$$E_1 = 3.6 \times 10^5 \text{ N/C},$$

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

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

ان محصلة المجال الكهربائي هي المجموع المتجهي لقيم المجالات الكهربائية

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

بتحليل المتجه E_2 الى مركباته الافقية والشاقولية نحصل على:

$$E_{2x} = E_2 \cos 45$$

$$E_{2y} = E_2 \sin 45$$

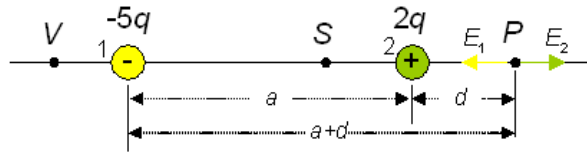
$$E_x = E_3 - E_2 \cos 45 = 7.2 \times 10^5 - 1.8 \times 10^5 \cos 45 = 6 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$E_y = -E_1 - E_2 \sin 45 = -3.6 \times 10^5 - 1.8 \times 10^5 \sin 45 = -4.8 \times 10^5 \text{ N/C}$$

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

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

مثال : من الشكل (١٧) اوجد موقع النقطة التي عندها تكون قيمة المجال الكهربائي مساوية للصفر ، افرض ان $a=50\text{cm}$



شكل (١٧)

الحل: لتحديد موقع النقطة التي يكون فيها المجال الكهربائي مساويا للصفر ، سوف نأخذ كل الاحتمالات ، نفرض النقاط s, v, p ونجد اتجاه المجال الكهربائي الناتج من الشحنات q_1 and q_2 في كل نقطة ، تكون محصلة المجال الكهربائي مساوية للصفر فقط اذا كانت قيمة المجال E_1 وكذلك E_2 متساويتين في القيمة ومختلفتين في الاتجاه ، فمثلا عند النقطة s تكون قيمة المجالين بنفس الاتجاه لذلك تهمل هذه النقطة ، وفي النقطة v يكون اتجاه المجال E_1 عكس اتجاه المجال E_2 ولكن القيمتين لا يمكن ان تكون متساويتين (اوجد سبب ذلك) .

اذن فان النقطة المطلوبة هي p وعندها يكون المجالين باتجاهين متعاكسين ويمكن ان تكون قيمتهما متساويتين نفرض انها تبعد d عن الشحنة الصغيرة وبالتالي فهي تبعد $a+d$ عن الشحنة الكبيرة

$$E_1 = E_2$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q}{(0.5+d)^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{5q}{(d)^2}$$

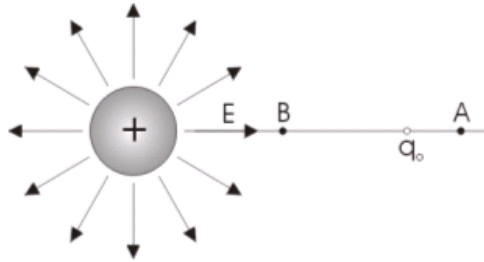
$$d=30\text{cm}$$

لاحظ هنا انه في حالة الشحنتين المتشابهتين فإن النقطة التي ينعدم عندها المجال تكون بين الشحنتين، أما إذا كانت الشحنتان مختلفتين في الإشارة فإنها تكون خارج إحدى الشحنتين وعلى الخط الواصل بينهما وبالقرب من الشحنة الأصغر.

٨,١ الجهد الكهربائي electrical potential

تعلمنا كيف يمكن التعبير عن القوى الكهربائية أو التأثير الكهربائي في الفراغ المحيط بشحنة أو أكثر باستخدام مفهوم المجال الكهربائي والذي هو كمية متجهة ، الان سنجد التأثير الكهربائي في الفراغ المحيط بشحنة أو أكثر بواسطة كمية قياسية تسمى الجهد الكهربائي

قبل أن نبدأ بتعريف الجهد الكهربائي أو بمعنى أصح فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في مجال شحنة في الفراغ سنعطي مثالا توضيحيا ، عند رفع جسم كتلته m إلى ارتفاع h فوق سطح الأرض فإن شغلا خارجيا (موجبا) يتم بذله لتحريك الجسم ضد عجلة الجاذبية الأرضية وهذا الشغل سوف يتحول إلى طاقة وضع مخزنة في المجموعة المكونة من الجسم m والأرض. وطاقة الوضع هذه تزداد بازدياد المسافة h لأنه سيزداد الشغل المبذول ، وإذا زال تأثير الشغل المبذول على الجسم m فإنه سيتحرك من المناطق ذات طاقة الوضع المرتفعة إلى المناطق ذات طاقة الوضع المنخفضة حتى يصبح فرق طاقة الوضع مساويا للصفر ، هناك حالة مشابهة تماما للحالة السابقة في الكهربائي، نفرض أن النقطتين A&B موجودتان في مجال كهربائي ناتج من شحنة موجبة Q على سبيل المثال كما موضح في شكل ١٨ إذا كانت هناك شحنة اختبار q_0 (مناظرة للجسم m في مجال عجلة الجاذبية الأرضية) موجودة بالقرب من الشحنة Q فإن الشحنة q_0 سوف تتحرك من نقطة قريبة من الشحنة إلى نقطة أكثر بعداً أي من B إلى A أي أن الشحنة q_0 تحركت من منطقة ذات جهد كهربائي مرتفع إلى منطقة ذات جهد كهربائي منخفض ولذلك يكون تعريف فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين A&B واقعتين في مجال كهربائي شدته E بحساب الشغل المبذول بواسطة قوة خارجية (F_{ex}) ضد القوى الكهربائيّة (qE) لتحريك شحنة اختبار q_0 من A إلى B بحيث تكون دائما في حالة اتزان (أي التحريك بدون عجلة).



شكل ١٨

اذن يمكن تعريف فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين بأنه الشغل اللازم لتحريك شحنة كهربائية من نقطة إلى نقطة أخرى عبر مسار معين فمثلا فرق الجهد بين النقطتين A, B في الشكل (١٨) هو الشغل المبذول من قبل عامل خارجي على شحنة الاختبار لتحريكها من نقطة A إلى نقطة B

$$V_B - V_A = W_{AB} / q_0$$

وحدة فرق الجهد الكهربائي هنا هي joule/coulomb

ملاحظة: ان الشغل ممكن ان يكون

أ - موجبا في حالة $V_B > V_A$

ب - سالبا في حالة $V_B < V_A$

ت - صفر في حالة $V_B = V_A$

ان فرق الجهد الكهربائي لايعتمد على المسار بين النقطتين A,B بما ان الشغل المبذول لتحريرك شحنة الاختبار من A الى B لايعتمد على المسار، ويتمتع الجهد الكهربائي بخاصية مميزة وهي أنه "محافظ" - الأمر الذي يعني أن المسار الذي تتخذه شحنة الاختبار ليست مهما فكل المسارات بين نقطتين محددتين تستهلك مقدار الطاقة نفسه وبالتالي يمكن تحديد قيمة فرق الجهد .

يرتبط مفهوم الجهد الكهربائي ارتباطاً وثيقاً بالمجال الكهربائي فالشحنة الصغيرة الموجودة داخل المجال الكهربائي تواجه قوة ويتطلب نقل هذه الشحنة إلى تلك النقطة المضادة للقوة بعض الشغل. والجهد الكهربائي عبارة عن كمية قياسية أي أن له مقدار فقط ولا اتجاه له ومن الممكن اعتباره مشابهاً للارتفاع فكما يسقط الجسم الحر عند ارتفاعات مختلفة بفعل الجاذبية تسقط كذلك الشحنة الكهربائية عند جهود مختلفة بفعل المجال الكهربائي ، ويتم تعريف الجهد الكهربائي في نقطة معينة على أنه الطاقة اللازمة لجلب شحنة الاختبار من بُعد لا نهائي إلى هذه النقطة ويُقاس الجهد الكهربائي عادةً بوحدة الفولت، والفولت الواحد عبارة عن الجهد الذي يجب أن يستهلكه جول من الشغل لجلب كولوم من الشحنة الكهربائية من مالانهاية

ولقياس الجهد عند أي نقطة، اتفق أن يكون جهد النقاط البعيدة جدا عن الشحنات مساويا للصفير ولو اخترنا النقطة A بعيدة جدا لاصبح الجهد عندها مساويا للصفير، إذن تعريف الجهد في نقطة ما هو عبارة عن الشغل لوحدة الشحنة الواجب إنجازها لنقل شحنة الاختبار من مالانهاية الى تلك النقطة اي

$$V_b = w/q_0$$

وفيما يتعلق بالأغراض العملية من المفيد أن تُحدد نقطة إسناد مشتركة يتم من خلالها التعبير عن الجهود ،ان الإسناد الأكثر إفادةً هي الأرض حيث أن جهدها لا يتغير في أي مكان ويفترض أن الأرض مصدر لا نهائي من كميات متساوية من الشحنات الموجبة والسالبة وبالتالي فهي غير مشحونة كهربائياً وغير قابلة لإعادة للشحن اعتبار جهد الأرض يساوي صفراً واتخاذها مرجعاً قياسياً لكثير من مسائل الدوائر الكهربائية .

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

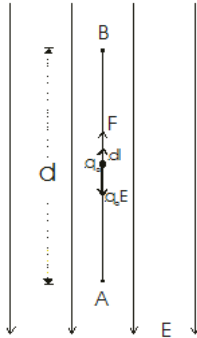
الحل : الانتقال بالإلكترون من قطب البطارية الموجب إلى السالب يعني المرور خلال جهد منخفض وعليه فان $V = -12\text{Volt}$

$$W = qv = -1.6 \times 10^{-19} \times (-12) = 1.9 \times 10^{-18} \text{ J}$$

وعند نقل الإلكترون بالاتجاه المعاكس فإنه سيجذب نحو القطب الموجب وهذا يعني انه سيكون عند الجهد الأعلى (اي ان الجهد سيكون موجبا) لذا فالشغل المبذول في هذه الحالة سيكون سالبا.

العلاقة بين المجال الكهربائي والجهد relation between electrical field & potential

أن مفهوم الجهد الكهربائي سمح بوضع تعريف مرادف للمجال الكهربائي وهو أن المجال الكهربائي هو تدرج موضعي للجهد الكهربائي وعادةً ما يتم التعبير عنه بوحدة الفولت لكل مترو اتجاه متجه المجال الكهربائي عبارة عن خط لأكبر تدرج للجهد وهو الخط الذي تكون فيه خطوط تساوي الجهد قريبة من بعضها البعض، إذا كان المجال الكهربائي منتظم تكون شدة المجال متساوية في كل النقاط وفي نفس الاتجاه ان قيمة فرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائي منتظم يمكن ايجادها كالتالي ، نفرض وجود شحنة موجبة تتحرك بواسطة عامل خارجي من A الى b في مجال كهربائي منتظم فإذا فرضنا ان المسافة التي تحركتها الشحنة هي d كما موضح في الشكل (١٩)



شكل (١٩)

ان شحنة الاختبار تتأثر بقوة q_0E اتجاهها الى الاسفل. ولتحريك شحنة من A الى B يجب ان تكون هناك قوة خارجية لها نفس قيمة القوة الكهربائية ولكن بعكس الاتجاه والشغل المنجز W من قبل عامل خارجي هو:

$$W_{AB} = Fd = q_0Ed$$

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

هذه المعادلة تعطي العلاقة بين فرق الجهد والمجال الكهربائي المنتظم، لاحظ ان المجال الكهربائي له وحدة جديدة هي v/m انن

$$\frac{\text{Volt}}{\text{Meter}} = \frac{\text{Newton}}{\text{Coulomb}}$$

والمعادلة العامة للعلاقة بين الجهد والمجال الكهربائي هي

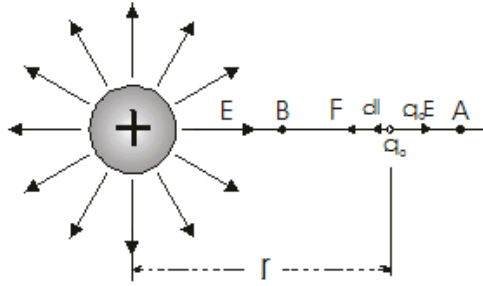
$$\therefore V_B - V_A = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_{r_A}^{r_B} \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

حساب فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين

Calculation of potential difference between two points

افرض وجود نقطتين A و B قرب شحنة نقطية موجبة q كما موضح في الشكل (٢٠) لحساب فرق الجهد $V_B - V_A$ نفرض ان شحنة الاختبار q_0 تتحرك بدون تعجيل من A الى

B



شكل (٢٠)

$$\therefore V_B - V_A = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_{r_A}^{r_B} \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad \text{-----1}$$

بالتعويض عن قيمة المجال الكهربائي E

$$\therefore E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad \text{-----2}$$

نحصل على

$$\therefore V_B - V_A = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_A}^{r_B} \frac{dr}{r^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right) \quad \text{-----3}$$

لاحظ هنا أن هذا القانون يستخدم لإيجاد فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في الفراغ المحيط بشحنة نقطية.

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

لو فرضنا ان احدى نقاط فرق الجهد مثلا نقطة A تقع في مالانهاية اذن سيكون الجهد وفق المعادلة (3) عندها مساويا للصفر بالتالي ستكون قيمة الجهد عند نقطة تبعد r من الشحنة q هو

$$V_B = q/4\pi\epsilon r$$

ولايجاد محصلة الجهود الناتجة من عدة شحنات نقطية تجمع جهد كل النقاط جمع جبري وكالتالي

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

$$\therefore V = \sum_n V_n = \frac{1}{4\pi\epsilon} \sum_n \frac{q_n}{r_n}$$

مع التعويض عن اشارة كل شحنة في المعادلة السابقة

مثال : اشتق علاقة لفرق الجهد بين نقطتين A و B في مجال كهربائي منتظم مستخدما معادلة الحالة العامة

الحل :

$$V_B - V_A = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int_A^B E \cos 180^\circ dl = \int_A^B E dl$$

بما ان المجال الكهربائي منتظم (ثابت) وان تكامل المسافة من A الى B هي d اذن

$$V_B - V_A = E \int_A^B dl = Ed$$

مثال : شحنتين نقطيتين مقدارهما $2\mu\text{C}$, $-6\mu\text{C}$ وضعت عند النقاط $(0,0)$, $(0,3)$ على التوالي كما موضح في الشكل (٢١) اوجد قيمة الجهد الكلي الناتج من الشحنتين عند النقطة $(4,0)$.

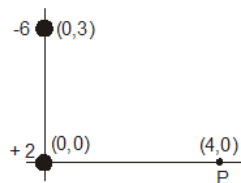


Figure 5.13

شكل (٢١)

الحل :

$$V_p = V_1 + V_2$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right]$$

$$V = 9 \times 10^9 \left[\frac{2 \times 10^{-6}}{4} - \frac{6 \times 10^{-6}}{5} \right] = -6.3 \times 10^3 \text{ volt}$$

مثال : اوجد قيمة الشحنة المعزولة والتي تولد جهدا مقداره 100V في نقطة تبعد 10cm عن الشحنة.

الحل

باستخدام قانون الجهد الناتج من شحنة نقطية يمكن ايجاد قيمة الشحنة

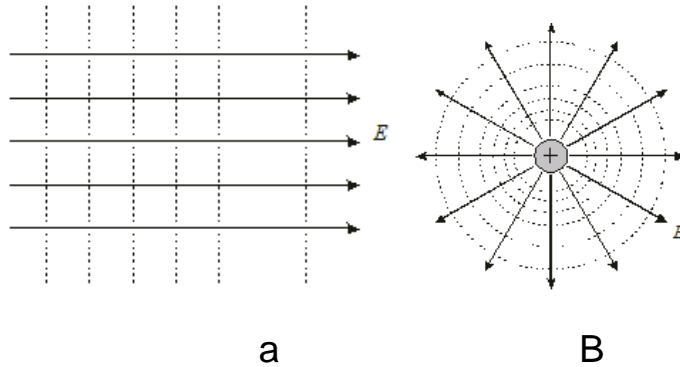
$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

$$\therefore q = V4\pi\epsilon_0 r^2 = 100 \times 4\pi \times 8.9 \times 10^{-12} \times 0.1 = 1.1 \times 10^{-9} C$$

equipotentail surfaces

سطوح تساوي الجهد

علمنا ان المجال الكهربائي يمكن التعبير بيانيا عنه بدلالة خطوط القوة الكهربائية، كذلك فان توزيع الجهد في المجال الكهربائي يمكن التعبير عنه بيانيا بسطوح تساوي الجهد ومن الممكن رسم مجموعة من الخطوط التي تبين نقاط الجهود الكهربائية المتساوية (والمعروفة باسم تساوي الجهد) حول جسم مشحون فهذه الخطوط تمر عبر جميع خطوط القوة بزوايا قائمة كما يجب أن تمتد بشكل متوازي لسطح الموصل وإلا أدى ذلك إلى إنتاج قوة على حوامل الشحنة ولما أصبح المجال ساكناً . اذن فان سطح تساوي الجهد (هو السطح الذي يكون فيه الجهد متساويا وله نفس القيمة في جميع نقاط السطح) ولو اخذنا اي نقطتين على هذا السطح فان فرق الجهد بينهما يكون مساويا للصفر ، ولذلك فان قيمة الشغل اللازم لنقل شحنة اختبار بين نقطتين على سطح متساوي الجهد يساوي صفر (وضح ذلك) .

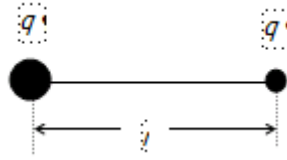


شكل (٢٢) الخطوط المنقطعة تمثل سطوح تساوي الجهد a في مجال كهربائي منتظم و b تمثل سطوح تساوي الجهد لمجال كهربائي ناتج من شحنة موجبة

ملاحظة: في جميع الحالات تكون سطوح تساوي الجهد عمودية على خطوط القوة الكهربائية وبالتالي على المجال الكهربائي .

طاقة الجهد الكهربائي electric potential energy

تعريف طاقة الجهد الكهربائي لنظام من الشحنات عبارة عن الشغل اللازم لجلب هذه الشحنات من مالانهاية الى المكان المطلوب وهذا الشغل يتحول الى طاقة وضع ويمكن القول بان فرق الجهد هو الطاقة اللازمة لتحريك شحنة بين نقطتين محددتين، ولايجاد طاقة الجهد لنظام من الشحنات نفرض ان الشحنة q_2 مثلا ساكنة وتقع في مالانهاية كما في الشكل (٢٣)



شكل (٢٣)

فاذا تحركت q_2 من مالانهاية مسافة r من شحنة اخرى q_1 اذن فان الشغل المطلوب يعطى بالعلاقة

$$W = Vq_2 \text{-----1}$$

$$\therefore V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r} \text{-----2}$$

وهذا الشغل يتحول الى طاقة وضع وبالتعويض عن قيمة الجهد في المعادلة (١) نحصل على قيمة طاقة الوضع

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

$$U = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r} \text{-----1}$$

$$\text{i.e. } U = q_1 V$$

لحساب طاقة الجهد لنظام يتكون من اكثر من شحنتين، نحسب طاقة الجهد لكل زوج من الشحنات q_i, q_j على حدة ونجمع النتيجة جمع جبري

$$U = \sum \frac{q_i q_j}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} \text{-----}2$$

المعادلة الأولى تطبق في حالة شحنتين فقط، ولكن إذا كانت المجموعة المراد إيجاد طاقة الجهد الكهربائي لها تتكون من أكثر من شحنتين نستخدم المعادلة الثانية حيث نجد الطاقة المخزنة بين كل شحنتين على حده ثم نجمع جمعا جبريا، أي نعوض عن قيمة الشحنة ونأخذ إشارة الشحنة بالحسبان في كل مرة . إذا كانت طاقة الجهد الكلية للنظام موجبة هذا يعود الى قوة التنافر ولكن اذا كانت سالبة فهذا يعود الى قوة التجاذب (وضح ذلك)

حساب المجال الكهربائي من الجهد calculation electric field from the potential

علمنا بأنه يمكن إيجاد التأثيرات الكهربائية من المجال الكهربائي والجهد الكهربائي وبانه يمكن إيجاد الجهد من المجال الكهربائي وبما ان المجال الكهربائي هو عبارة عن تدرج الجهد فيمكن ان نجد المجال الكهربائي من الجهد من العلاقة التالية

$$\vec{E} = -\frac{dV}{dl}$$

لاحظ أن العلاقة الرياضية بين المجال الكهربائي والجهد الكهربائي هي علاقة تفاضل وتكامل

وبالتالي إذا علمنا الجهد الكهربائي يمكن بإجراء عملية التفاضل إيجاد المجال الكهربائي

مثال: اوجد قيمة المجال الكهربائي لشحنة نقطية باستخدام العلاقة

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

الحل

$$E = -\frac{dV}{dr} = -\frac{d}{dr} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \right)$$

الفيض الكهربائي وقانون كاوس The Electric Flux & Gauss's law

قانون كاوس يعطي طريقة جديدة لحساب المجال الكهربائي اذ يسهل حساب المجال الكهربائي لتوزيع متصل من الشحنة اوفي الحالات التي يكون فيها توزيع الشحنات الكهربائي على درجه عاليه من التماثل مثل كرات مشحونه بشحنة منتظمة التوزيع أو اسطوانات طويلة أو سطوح مستويه ذات أبعاد كبيره جدا ، أما قانون كولوم فيستخدم لحساب المجالات الكهربائيه لشحنات كهربائيه نقطية ولتطبيق قانون كاوس يتم حساب الفيض الكهربائي الناتج عن المجال

الكهربائي اولا ثم حساب الفيض الكهربائي الناتج عن شحنة كهربائية بعدها يمكن تطبيق قانون كاوس.

الفيض الكهربائي الناتج من المجال الكهربائي :

The Electric Flux due to an Electric Field

درسنا سابقا وصف المجال الكهربائي بواسطة خطوط القوة حيث ان خط القوة هو خط تخيلي يرسم بحيث ان اتجاهه في اي نقطة هو اتجاه المجال الكهربائي عند تلك النقطة ، ويمكن تعريف الفيض الكهربائي Φ بأنه عدد خطوط المجال الكهربائي التي تقطع سطحاً معيناً مساحته A ولايجاد قيمة الفيض الكهربائي سناخذ الحالات التالية :-

الحالة الاولى : case one

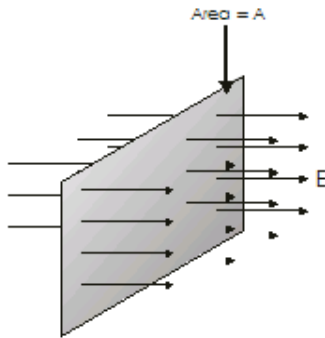
الفيض الكهربائي لسطح عمودي على مجال كهربائي منتظم :

The electric flux for a plan surface perpendicular to a uniform electric field

لحساب الفيض الكهربائي نعلم بان عددالخطوط لوحدة المساحة تتناسب مع قيمة المجال الكهربائي،لذا فان عدد خطوط الفيض التي تدخل السطح شكل (٢٤) تتناسب مع حاصل الضرب EA وهذه الكمية تسمى الفيض الكهربائي اي ان :

$$\Phi = \vec{E} \cdot \vec{A}$$

وحدتها هي $N.m^2/C$.



شكل (٢٤) خطوط الفيض الكهربائي عمودية على السطح

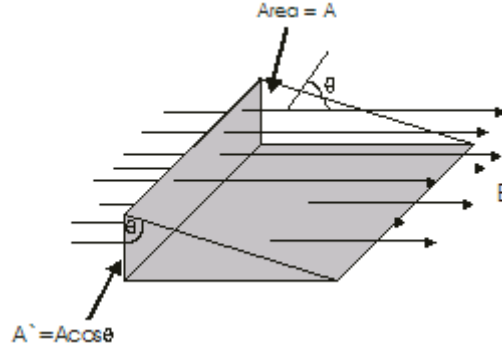
الحالة الثانية: case two

الفيض الكهربائي لسطح يعمل زاوية θ مع مجال كهربائي منتظم :

The electric flux for a plan surface make an angle θ to a uniform electric field

في هذه الحال تكون عدد خطوط الفيض التي تقطع المساحة عبارة عن عدد الخطوط التي تقطع مسقط المساحة A والتي تكون عمودية على المجال الكهربائي اي $A' = A \cos \theta$ من الشكل (٢٥) اذن فان قيمة الفيض هو

$$\Phi = \vec{E} \cdot \vec{A}' = E A \cos \theta$$



شكل (٢٥) السطح يميل بزاوية مع المجال الكهربائي

حيث θ هي الزاوية بين المجال الكهربائي والعمود على السطح ، اذن يكون الفيض ذا قيمة عظيمة عندما يكون السطح عمودياً على المجال أي $\theta = 0$ ويكون ذا قيمة صغيرة عندما يكون السطح موازياً للمجال أي عندما $\theta = 90$. لاحظ هنا أن المتجه A هو متجه المساحة وهو عمودي دائماً على المساحة وطوله يعبر عن مقدار المساحة.

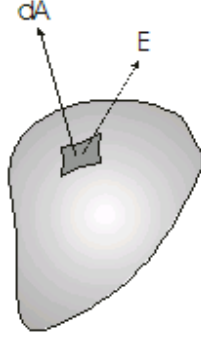
الحالة الثالثة : case three

بصورة عامة اذا كان السطح غير منتظم فان خطوط المجال تكون غير منتظمة فوق السطح:

In general the electric field is nonuniform over the surface

هنا يؤخذ تكامل المركبة العمودية للمجال الكهربائي على السطح المقصود

$$\Phi = \oint \vec{E} \cdot \vec{A}$$



شكل (٢٦) السطح غير منتظم تؤخذ مركبة المجال العودية على السطح

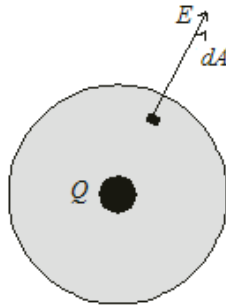
ملاحظة : ان صافي الفيض net flux خلال السطح يتناسب مع صافي الخطوط net number of lines التي تقطع السطح (اي عدد الخطوط التي تخرج من السطح اذا كانت الشحنة موجبة - عدد الخطوط التي تدخل السطح اذا كانت الشحنة سالبة)

قانون كاوس: Gauss's Law

لحساب الفيض الكهربائي الناتج من شحنة نقطية نتخيل وجود سطح كروي محيط بالشحنة بحيث تكون الشحنة في مركزه كما في شكل (٢٧) وهذا السطح يسمى سطح كاوس Gaussian surface وبالتالي فان قيمة الفيض تعطى بالعلاقة :

$$\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = E \oint dA \cos \theta$$

$$\Phi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \int dA = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} 4\pi r^2$$



شكل (٢٧) سطح كاوس هو سطح كروي يحيط بالشحنة النقطية الكروية

$$\Phi = q/\epsilon_0$$

لاحظ ان صافي الفيض خلال سطح كاوس الكروي يتناسب مع الشحنة داخل السطح

قانون كاوس يربط اي تغيير في توزيع الشحنات بالمجال الكهربائي الناتج عند اي نقطة قريبة جدا من الشحنة، كما راينا فان خطوط المجال الكهربائي تعني بان كل شحنة لها خطوط فيض قادم منها مقداره q/ϵ وهذا هو اساس قانون كاوس

١- اذا كان هناك عدد من الشحنات $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ داخل سطح كاوسي مغلق، فان العدد الكلي لخطوط الفيض من هذه الشحنات سيكون

$$\phi = q_1, q_2, q_3, \dots, q_n / \epsilon \quad \text{-----1}$$

٢- ان عدد خطوط الفيض الخارجة من السطح المغلق هي تكامل $E \cdot dA$ فوق السطح المغلق، اي

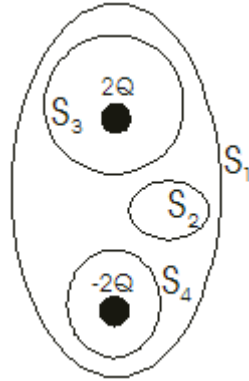
$$\phi = \oint E \cdot dA \quad \text{-----2}$$

بمساواة المعادلتين (١ و ٢) نحصل على قانون كاوس والذي ينص على ان صافي الفيض خلال سطح كاوسي مغلق يساوي صافي الشحنة داخل السطح مقسوما على نفاذية الفراغ اي

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

مثال

في الشكل شحنتان متساويتان ومتعاكستان هما $2Q, -2Q$ ما هو الفيض الكهربائي للسطوح الاربعة الموضحة في الشكل ادناه



قيمة الفيض للسطح الاول = صفر

١ - قيمة الفيض للسطح الثاني = صفر

٢ - قيمة الفيض للسطح الثالث = $+2Q/\epsilon$

٣ - قيمة الفيض للسطح الرابع = $-2Q/\epsilon$

ايجاد قانون كولوم من قانون كاوس

Gauss's law and Coulomb's law

يمكن اشتقاق قانون كولوم من قانون كاوس، نفرض وجود شحنة نقطية q ارجع الى شكل (٢٧)، لايجاد قيمة المجال الكهربائي لشحنة او مجموعة من الشحنات على بعد r من الشحنة، نتخيل وجود سطح كروي نصف قطره r وشحنة مقدارها q في مركز السطح.

من قانون كاوس

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

$$\oint E \cos \theta dA = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

$$E \oint dA = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

$$EA = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

$$E(4\pi r^2) = \frac{q_{in}}{\epsilon_0} \quad \therefore E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

إذا قمنا الآن بوضع شحنة نقطية ثانية q_0 عند النقطة التي تم حساب مجالها الكهربائي فإن قيمة القوة الكهربائية المؤثرة عليها هي $F = Eq_0$

$$\therefore F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2}$$

مثال : سطح كاوسي كروي يحيط بالشحنة q صف ماذا يحدث للفيض خلال السطح في الحالات التالية

- ١- إذا تضاعفت الشحنة
 - ٢- إذا تضاعف حجم الكرة
 - ٣- إذا تغير شكل سطح الى المكعب
 - ٤- إذا تحركت الشحنة الى مكان اخر داخل السطح
- الجواب

- ١- إذا تضاعفت الشحنة فإن الفيض خلال السطح يتضاعف
- ٢- لا يتغير الفيض إذا تغير الحجم بما ان يحيط نفس كمية الشحنات
- ٣- لا يتغير الفيض اذا تغير شكل السطح المغلق
- ٤- يبقى الفيض بدون تغير اذا تحركت الشحنة داخل السطح المغلق

مثال : لوحين رقيقين متوازيين وغير موصلين يحملان شحنة موجبة موزعة على السطح σ على السطح ، ماهى قيمة المجال الكهربائي ا- في نقطة يسار اللوحين المتوازيين، ب- بينهما، ج- في نقطة يمين اللوحين

الجواب: علمنا ان قيمة المجال في اي نقطة على اللوح الرقيق

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

ا- عند نقطة الى يسار اللوحين المتوازيين تكون قيمة المجال الكهربائي :

$$E = -E_1 + (-E_2) = -2E$$

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

ب- في نقطة بين اللوحين

$$E = E_1 + (-E_2) = \text{zero}$$

ج- عند نقطة الى يمين اللوحين المتوازيين

$$E = E_1 + E_2 = 2E$$

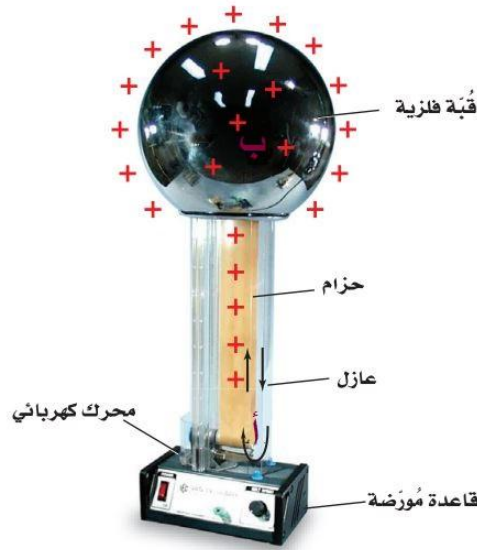
$$\therefore E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Van de Graaff)

مولد فان دير غراف

هو عبارة عن مولد كهربائي جهاز اخترعه العالم روبرت جمسون فان دي غراف عام ١٩٢٩ ويقوم بتوليد ا لكهرباء الساكنة وقد استعمل بشكل أساس لغرض تعجيل الالكترونات لإجراء التفاعلات النووية حيث يؤدي فرق الجهد الكبير الناتج عن المولد إلى إحداث مجال كهربائي قوي لكن التيار يكون تيار ضعيف جداً على الرغم من فرق الجهد العالي . يتكون الجهاز من كرة (قبة) معدنية مجوفة محمولة على عازلين و حزام عازل من الحرير أو المطاط تدور بكرتين متباعدتين إحداها في الأسفل يديرها محرك كهربائي والأخرى في الأعلى تدور بتأثير الحزام و يمر الحزام أثناء دور انه بقطبين أحدهما في الأعلى والآخر في الأسفل وهما عبارة عن مشطين كل واحد منهما ذو أسنان مدببة باتجاه الحزام حيث تعمل بطارية على تجهيز القطب الأسفل بفرق جهد ١٠٠٠٠ فولت بالمقارنة مع الأرض فيقوم

المجال الكهربائي العالي المتكون حول أسنان القطب الأسفل بتأين الهواء القريب منها ثم تتكون شحنات موجبة تسحب بواسطة الحزام الذي يحملها إلى داخل الكرة المعدنية وهذه الشحنة تؤدي إلى حث شحنة سالبة في القطب الأعلى وشحنة موجبة على السطح الكروي الذي توصل به إلى النهاية غير الحادة للقطب الأعلى . المجال الكهربائي العالي حول أسنان القطب الأعلى يؤدي إلى تأين الهواء و سحب ال شحنات السالبة التي يكونها الحزام قبل وصوله إلى البكرة العليا وهكذا تتكرر العملية وقد يصل فرق الجهد إلى مليون فولت بالمقارنة مع جهد الأرض



شكل (٢٨) مولد فان دي غراف جهاز مصمم لتوليد كهرباء ساكنة وتعتمد قيمة الجهد المتولد على (مساحة سطح القبة الفلزية ، الظروف الجوية المحيطة) من حيث: الرطوبة، درجة الحرارة، الضغط، وغيرها)

في مولد فان دي غراف الموضح في الشكل (٢٨) تنتقل الشحنات إلى الحزام المتحرك عند النقطة أ، ثم تنتقل من الحزام الناقل إلى القبة الفلزية عند النقطة ب . ويبدل المحرك الكهربائي الشغل اللازم لزيادة فرق الجهد الكهربائي.

الوحدة الثانية

التيار الكهربائي، كثافة التيار والمقاومية

Electrical current, current density and resistivity

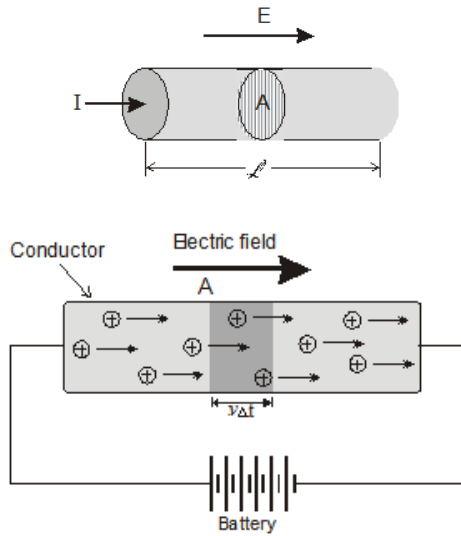
علمنا بان ذرات المواد الغير مشحونة تكون متعادلة الشحنات ، لكن بإمكانها اكتساب إلكترونات اضافية لتصبح مشحونة بشحنة سالبة أو فقدان إلكترونات لتصبح موجبة الشحنة هذه المقدرة عند بعض المواد على فقد او اكتساب الإلكترونات هي التي تمكن سيلا من الإلكترونات لتكوين تيار كهربائي في الموصلات ومع استعمال بطارية او اي مصدر تغذية يمكن تجميع فائض الإلكترونات في أحد طرفي المصدر وادخال نقص منها في الطرف الآخر لتتولد عن ذلك قوة كهربائية دافعة تدفع الإلكترونات المتجمعة ، فلذا ربط مصباح مثلا بطرفي المصدر بسلك موصل فان القوة الدافعة تسبب انسياب الإلكترونات من الطرف السالب للمصدر الى الطرف الموجب عبر المصباح فنلاحظ اضاءة المصباح ، والتيار الاصطلاحي يمر من القطب الموجب للبطارية الى القطب السالب وسمي سريان الشحنات الموجبة في الدائرة الكهربائية بالتيار الاصطلاحي قبل اكتشاف الإلكترونات وبعد أن تعرف العلماء على

الإلكترونات أصبح تعريف التيار الكهربائي بأنه تدفق الشحنات السالبة ،اي ان حركة الإلكترونات داخل الموصل تشكل تيار كهربائي بوجود القوة الكهربائية الدافعة وتكون في الاتجاه المعاكس لاتجاه التيار الاصطلاحي.

يؤثر المجال الكهربائي على الشحنات داخل مادة الموصل بقوة كهربائية مقدارها $F=qE$ واتجاهها في اتجاه المجال إذا كانت الشحنة موجبة وفي عكس اتجاه المجال اذا كانت الشحنة سالبة تعمل هذه القوى على تحريك الشحنات الحرة في مادة الموصل بسرعة تسمى سرعة الانجراف v drift velocity تكون محصلة حركة الشحنات عبر مساحة محددة من مقطع السلك تيار كهربائي يحسب من خلال معدل مرور الشحنات الكهربائية عبر مساحة مقطع السلك خلال فترة زمنية t

لنفترض أن هناك عدد n من الجسيمات المشحونة بشحنات موجبة لكل وحدة حجم تتحرك في اتجاه المجال الكهربائي من اليمين إلى اليسار وتتحرك كل الشحنات بسرعة v في فترة زمنية قدرها Δt اذن فإن كل شحنة موجبة تقطع مسافة قدرها $v\Delta t$ (المنطقة الداكنة في مقطع السلك) في الشكل (٢٩) اما حجم المنطقة المظللة من مقطع السلك هو عبارة عن مساحة المقطع A ضرب المسافت $v\Delta t$ وبالتالي تكون الشحنة الكلية التي تعبر مقطع السلك في الفترة الزمنية Δt هي ΔQ وقيمتها $nAv\Delta t$ في الشحنة على كل جسيم q اي

$$\Delta Q = nqvA\Delta t$$



شكل ٢٩

وبالتالي يكون التيار الكهربائي

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nqvA$$

وتمثل الإلكترونات الحرة ناقل للتيار الكهربائي في الموصل ففي تيار كهربائي شدته ١ أمبير يندفع ١ كولوم من الشحنة الكهربائية (التي تتألف من نحو 6.242×10^{18} إلكترون) كل ثانية عبر أي سطح مستوي يمر من خلاله الموصل

current density

كثافة التيار

بتقسيم قيمة التيار الكهربائي المار في سلك على مساحة مقطعه نحصل على كمية جديدة تسمى كثافة التيار الكهربائي current density ويرمز له بالرمز J ويحسب من خلال المعادلة التالية

$$\vec{J} = \frac{I}{A} = nqv$$

وكثافة التيار الكهربائي هي كمية متجهة ووحدته A/m^2 كلاً من كثافة التيار الكهربائي J والمجال الكهربائي E ينشأ في داخل مادة الموصل طالما وجد فرق جهد كهربائي مطبق على طرفي الموصل كذلك فإن كثافة التيار الكهربائي تتناسب طردياً مع شدة المجال الكهربائي أي أن

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

حيث أن σ هي ثابت التناسب وتسمى الموصلية conductivity والمواد التي تخضع لهذه المعادلة تحقق قانون أوم حيث أن الجهد الكهربائي يتناسب مع التيار الكهربائي تناسباً طردياً وتسمى هذه المواد أيضاً مواد أومية ohmic والمواد التي لا تحقق قانون أوم تسمى مواد غير أومية nonohmic وبالتالي قانون أوم هو قانون تجريبي وينطبق على عدد محدد من المواد.

المقاومة الاومية: ohmic resistance

تعمل الموصلات في الدوائر الكهربائية والالكترونية بمثابة مسارات للإلكترونات تنساب فيها بحرية من جزء من الدائرة إلى آخر لكن لا بد من وجود عناصر معينة لضبط حركة الالكترونات عند المرور بمختلف اجزاء الدائرة هذه العناصر تعرف بالمقاومات وتعمل على مقاومة مرور التيار الكهربائي وذلك من خلال امتصاص جزء من الطاقة الكهربائية وتبديدها على شكل حرارة، اي انها تعمل على التحكم بمروره، فاذا وصلت بطارية جهدها V بين طرفي سلك نحاسي ملفوف يسري فيه تيار كهربائي فيكون السلك النحاسي كمقاومة والبطارية كقوة دافعة كهربائية تقوم بدفع الشحنات حتى يسري التيار الكهربائي إلى الطرف الآخر للسلك ، ان كل الأجهزة الكهربائية التي نستخدمها مثل المكواة أو السخان الكهربائي أو المصابيح تحتوي على مقاومة كما أن المقاومة هي جزء رئيسي في الدائرة ويرمز لها بالرموز الموضحة بالاشكال التالية:



Fixed resistor

مقاومة ثابتة



Variable resistor

مقاومة متغيرة



Potential divider

مجزئ للجهد الكهربائي

وهناك أنواع عديدة أخرى من المقاومات من أهمها المقاومات الحرارية والتي يطلق عليها الثرموستر وتتغير قيمتها في الدائرة الكهربائية طبقاً لدرجة الحرارة ، المنصهرات

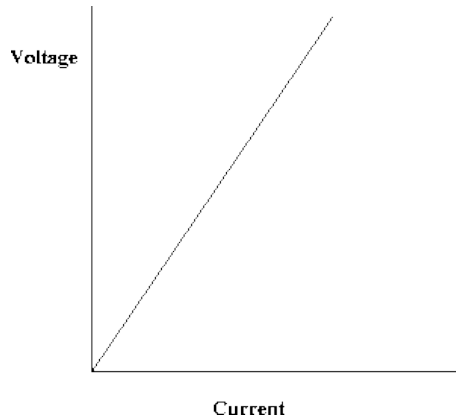
او ما يعرف ب (الفيوز) وهي مقاومة خاصة ذات قيم صغيرة تنصهر إذا زاد التيار المار بها عن قيمة معينة بهدف حماية بقية مكونات الدائرة فإذا زادت شدة التيار الكهربائي عن القيمة المسموح بها ينصهر السلك وينقطع التيار عن الدائرة لحين معالجة سبب ارتفاع التيار . وتصنع المقاومة من مادة الكربون المسحوق والذي يرش على مادة غير موصلة مثل السيراميك (الفخار)، ويطلق عليها في هذه الحالة اسم المقاومة الكربونية (Carbon Resistor). وقد تصنع المقاومة من سلك ملفوف من سبيكة النيكل والكروم وتسمى في هذه الحالة مقاومة سلكية (Wire Resistor).

قانون أوم ohm s law

هو مبدأ أساسي في الكهرباء، أطلق عليه هذا الاسم نسبة إلى واضعه "جورج سيمون أوم". ينص القانون " أن فرق الجهد الكهربائي بين طرفي موصل معدني يتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربائي المار فيه عند ثبوت درجة الحرارة و أن ثابت التناسب هو المقاومة الأومية لهذا الموصل".

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

اي ان العلاقة بين الجهد عبر المقاومة والتيار يكون بشكل خط مستقيم كما في الشكل (٣٠)



شكل (٣٠)

لتحقيق قانون اوم نفترض موصل طوله L ومساحة مقطعه A ، فإذا طبق فرق جهد كهربائي على طرفي السلك فإنه سينشئ مجال كهربائي E في الموصل

وحيث أن العلاقة بين المجال الكهربائي وفرق الجهد الكهربائي هي

$$V = E L$$

$$J = \sigma E = \sigma \frac{V}{\ell}$$

$$\therefore J = \frac{I}{A}$$

$$V = \frac{\ell}{\sigma} J = \left(\frac{\ell}{\sigma A} \right) I$$

ان المقدار $\frac{1}{\sigma A}$ يسمى المقاومة

$$R = \frac{\ell}{\sigma A} = \frac{V}{I}$$

ونجد من المعادلة الأخيرة أن المقاومة R لها وحدة فولت على أمبير V/A وتسمى الأوم ohm ويرمز لها بالرمز Ω

$$1\Omega = 1 \text{ V/A}$$

ويظهر من المعادلة (5) أن مقاومة موصل تتناسب طردياً مع طوله وعكسياً مع مساحه مقطعه، فإذا تضاعف طول الموصل مرتين تزداد مقاومته مرتين كما أنه إذا تضاعفت مساحة مقطع الموصل مرتين قلت المقاومة إلى النصف وكذلك تعتمد على نوعية المادة المصنوعة منها، تعتبر المقاومة عنصر كثير الاستخدام في الدوائر الإلكترونية وفائدتها في الدوائر الكهربائية هي التحكم في التيار او الجهد. يتحدد اختيار المقاومة في الدائرة الإلكترونية من حيث قيمتها وقدرتها بالوات ويدل حجم المقاومة الكربونية عادة على قيمة أعلى قدرة أو حرارة يمكن أن تتحملها المقاومة دون أن تحترق فكلما زاد الحجم الطبيعي للمقاومة زادت قيمة قدرتها، وقدرة المقاومة الكربونية عادة في حدود ٢ وات أما المقاومات السلكية فتتميز بأن مقاومتها ذات درجة عالية من الإستقرار وتكون قدرتها بالوات أعلى بكثير من المقاومات الكربونية وبما ان المقاومة صغيرة الحجم فيكون من الصعب كتابة قيمة المقاومة عليها ، لذا يتم الاعتماد على حساب قيمة المقاومة من خلال حلقات ملونة وكل لون يرمز لقيمة نستطيع من خلالها حساب قيمة المقاومة باستخدام الجدول (٢) الذي يوضح قيم الالوان التي تكتب على المقاومات

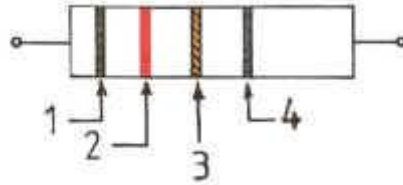
جدول ٢ يوضح قيمة الالوان الموجودة على المقاومات

Color	1st Band	2nd Band	3rd Band	4th Band
Black	0	0	1	1
Brown	1	1	10	
Red	2	2	100	
Orange	3	3	1,000	
Yellow	4	4	10,000	
Green	5	5	100,000	
Blue	6	6	1,000,000	
Violet	7	7	10,000,000	
Gray	8	8	100,000,000	
White	9	9	1,000,000,000	
Gold			0.1	5%
Silver			0.01	10%
None				20%

ويمكن حساب قيمة اي مقاومة باستخدام الجدول ٢ مع المعادلة التالية

$$R=AB \times 10^C \Omega$$

حيث لون الحلقة الاولى في الشكل (٣١) تمثل حرف A في المعادلة ولون الحلقة الثانية تمثل حرف B ولون الحلقة الثالثة حرف C او عدد الازهار اما اللون الفضي 10% او الذهبي 5% في النهاية اليمنى من المقاومة فهي لتقدير نسبة الخطا في قيمة المقاومة وعادة تهمل عند حساب المقاومة ، وتقرأ حلقات الألوان من اليسار الى اليمين .



شكل (٣١)

مثال : احسب قيمة المقاومة الموضحة في الشكل ادناه

الجواب: المقاومة تحمل الالوان التالية من اليسار الى اليمين اللون الجوزي من الجدول ٣ يحمل رقم ١ واللون الاسود رقم ٠ واللون الاحمر رقم ٣ اذن فان قيمة المقاومة حسب المعادلة اعلاه هي



$$R=AB \times 10^C \Omega$$

$$R=10 \times 10^2 \Omega$$

المقاومة النوعية (المقاومية) ρ Resistivity

مقلوب الموصلية يسمى المقاومة النوعية للموصل

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

وبالتالي يمكن التعبير عن مقاومة الموصل بدلالة المقاومة النوعية على النحو التالي:

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

ان مقاومة نوعية معينة تعتمد على التركيب الذري للموصل كما موضح في الجدول التالي

جدول (٣) المقاومة النوعية لعدد من المواد عند درجة حرارة ٢٠ سيليلوز

	Material	Resistivity ($\Omega.m$)
1	Silver	1.59×10^{-8}
2	Copper	1.7×10^{-8}
3	Gold	2.44×10^{-8}
4	Aluminum	2.82×10^{-8}
5	Tungsten	5.6×10^{-8}
6	Iron	10×10^{-8}
7	Platinum	11×10^{-8}
8	Lead	20×10^{-8}
9	Nichrome	150×10^{-8}
10	Carbon	3.5×10^{-5}
11	Germanium	0.46
12	Silicon	640
13	Glass	$10^{10}-10^{14}$

ملاحظة ان كلاً من المقاومة والمقاومة النوعية يعتمدان على درجة الحرارة

Direct current circuits

دوائر التيار المستمر:

التيار المستمر هو التيار الذي يسري باتجاه واحد وتبقى قيمته ثابتة مع الزمن ويصل الى قيمته العظمى لحظياً.

مصادر التيار (مصادر التغذية) :

علمنا بان الشحنات الحرة تتحرك داخل المواد الموصلة حركة عشوائية ولايمكنها توليد تيار كهربائي الا بوجود قوة دافعة بين طرفي الموصل يمكن جعل معظم هذه الشحنات تتحرك باتجاه واحد وبسرعة معينة ويمكن الحصول على هذه القوة او الطاقة من التفاعلات الكيميائية مثل البطاريات او من جهاز القدرة اذ يقوم الاخير بتحويل الفولتية المتناوبة الى فولتية مستمرة بعد مرورها بعدة مراحل وتبقى الفولتية الخارجة ثابتة ولاتنخفض بالاستعمال كما في البطاريات .

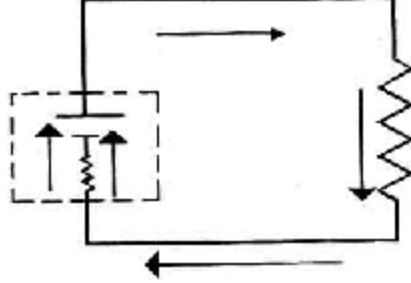
الدوائر الكهربائية Electrical Circuits

مكونات الدوائر الكهربائية:

تتركب معظم الدوائر الكهربائية من عناصر متعددة وذلك للحفاظ على مرور تيار آمن في الاجهزة الكهربائية ويمكن ان تنقسم هذه العناصر الى قسمين رئيسيين هما
 ا-العناصر الثانوية مثل :المقاومات ،المكثفات،الملفات واسلاك التوصيل ومصادر التغذية كالبطاريات

ب-العناصر الاساسية مثل :الثنائيات البلورية ،الترانزستورات والدوائر المتكاملة

الدائرة الكهربائية : هي المسار الذي يتبعه التيار الكهربائي بين الحمل (وتمثل مقاومة الجهاز الذي يستهلك الطاقة مثل مصباح او مروحة او اي جهاز كهربائي) ومصدر طاقة مثل البطارية او اي مصدر تغذية وتسمى هذه الدائرة البسيطة كما في الشكل (٣٢)



شكل (٣٢)

فتكون قيمة التيار المار في الدائرة حسب قانون اوم هو

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

وهذه المعادلة تسمى معادلة الدائرة

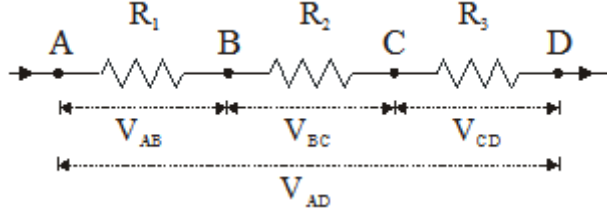
كمية التيار المار تعتمد على نوع المعدن المستخدم في الأسلاك فكل معدن لديه مقاومة وكلما كانت المقاومة عالية أصبح التيار المار في السلك المعدني أقل فمثلا المواد الموصلة مثل النحاس والألمنيوم تملك مقاومة قليلة جداً وتحمل تيارات كهربائية كبيرة اما المواد العازلة تملك مقاومة عالية وتسمح لكمية قليلة جداً من التيار بالمرور من خلالها . عند مرور التيار في سلك له مقاومة عالية فإن جزءاً كبيراً من الطاقة الكهربائية يتحول إلى طاقة حرارية وهكذا عندما يمر التيار في سلك ذو مقاومة عالية مثل سلك النكروم باستخدام فولتية عالية فإن كميات عالية من الحرارة تولد ولذلك تُستخدم أسلاك النكروم لتوليد الحرارة في المدافئ والغلايات الكهربائية .

توصيل المقاومات Connection of Resistors

في كثير من الأحيان يتطلب توصيل عدة مقاومات في الدائرة الكهربائية ويكون توصيلها بطريقتين إما على التوالي series أو على التوازي parallel.

التوصيل على التوالي Resistors in Series

عند توصيل المقاومات على التوالي كما في الشكل (٣٣) فإننا نجد ان الطرف الموجب للمقاومة يتصل مع الطرف السالب للمقاومة الثانية وهكذا حتى تكتمل الدائرة وهنا يكون التيار الكهربائي المار في الدائرة وفي كل مقاومة متساوي ويكون مجموع الجهود لكل المقاومات يساوي الجهد الكهربائي للبطارية أي ان الجهد الكهربائي على كل مقاومة يعتمد على قيمة المقاومة .



شكل (٣٣)

وللحصول على المقاومة المكافئة نستخدم قانون أوم على النحو التالي :
 بما أن الجهد الكهربائي للبطارية V_{AD} يساوي مجموع فرق الجهد على طرفي كل مقاومة من المقاومات المتصلة على التوالي إذا

$$V_{AD} = V_{AB} + V_{BC} + V_{CD}$$

ومن قانون أوم يمكن التعويض عن قيمة الجهد الكهربائي بدلالة التيار الكهربائي والمقاومة

$$V_{AB} = IR_1, V_{BC} = IR_2, V_{CD} = IR_3$$

وعليه نحصل على

$$V_{AD} = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

$$V_{AD} = I (R_1 + R_2 + R_3)$$

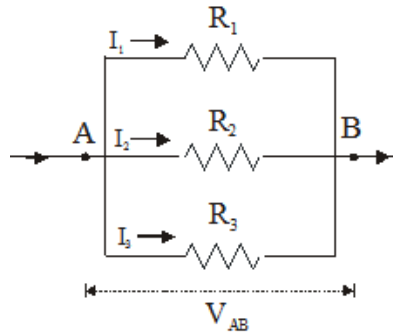
وبهذا تكون المقاومة المكافئة تساوي

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

وهذا يعنى ان المقاومة المكافئة في حالت التوصيل على التوالي تكون أكبر من أكبر مقاومة في الدائرة

توصيل التوازي

عند توصيل المقاومات على التوازي كما في شكل (٣٤) فإننا نجد ان الطرف الموجب للبطارية يتصل مع احد اطراف المقاومات والطرف السالب للبطارية يتصل مع الأطراف الأخرى للمقاومات وهنا يكون فرق الجهد الكهربائي على طرفي كل مقاومة يساوي فرق جهد البطارية ويكون مجموع التيار الكهربائي المار في كل مقاومة يساوي التيار الكهربائي الناتج من البطارية أي ان التيار الكهربائي المار في كل مقاومة يعتمد على قيمة المقاومة وللحصول على المقاومة المكافئة نستخدم قانون أوم على النحو التالي:
 يمكن رسم الدائرة الكهربائية لتوصيل المقاومات على التوازي بالشكل التالي:



شكل (٣٤)

التيار الكلي في الدائرة يساوي مجموع التيارات المارة في كل مقاومة:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

ويعطى التيار الكهربائي المار في كل فرع من أفرع الدائرة بناءً على قانون أوم على النحو التالي :

$$I_1 = \frac{V_{AB}}{R_1}, \quad I_2 = \frac{V_{AB}}{R_2}, \quad I_3 = \frac{V_{AB}}{R_3}$$

بجمع التيارات الكهربائية للحصول على التيار الكلي

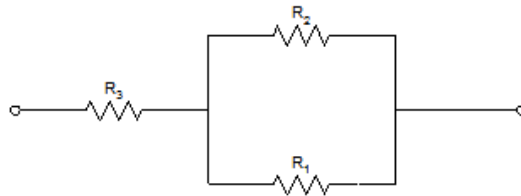
$$\therefore I = V_{AB} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

وبهذا تكون المقاومة المكافئة مساوية الى

$$\therefore \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

وهذا يعني ان المقاومة المكافئة في حالت التوصيل على التوازي تكون أصغر من أصغر مقاومة في الدائرة.

مثال : اوجد قيمة المقاومة المكافئة للدائرة الموضحة في الشكل (٣٥) حيث $R_1=3\Omega$, $R_2=6\Omega$, and $R_3=4\Omega$



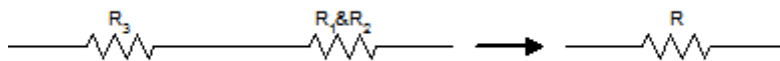
شكل (٣٥)

بما ان R_1 & R_2 على التوازي فالمقاومة المكافئة لهما هي

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{3}{6}$$

$$R' = 2\Omega$$



وهذه المقاومة على التوالي مع المقاومة R_3

$$R = R' + R_3 = 2 + 4 = 6\Omega$$

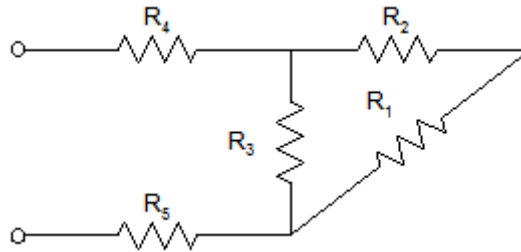
$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{3}{6}$$

$$R' = 2\Omega$$

مثال : اوجد قيمة المكافئة للدائرة التالية علما بان قيم المقاومات هي

$$R_1=4\Omega, R_2=3\Omega, R_3=3\Omega, R_4=5\Omega, \text{ and } R_5=2.9\Omega$$



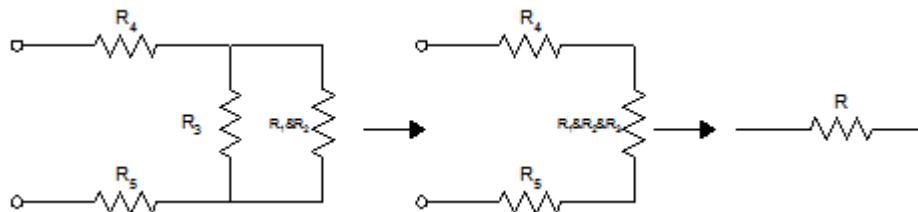
الجواب ان المقاومة المكافئة لمقاومتي التوالي

$$R = 3 + 4 = 7\Omega$$

وهذه المقاومة على التوازي مع المقاومة R_3 اذن المحصل لهما

$$\frac{1}{R''} = \frac{1}{R'} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{7} + \frac{1}{3} = \frac{10}{21}$$

$$R'' = 2.1\Omega$$



المقاومة المكافئة الكلية لمجموع مقاومات التوالي

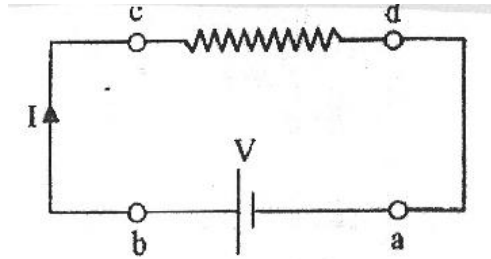
$$\text{هي } R_5 \& R_4 \& R''$$

$$R = R'' + R_5 + R_4 = 2.1 + 5 + 2.9 = 10\Omega$$

الطاقة والقدرة energy and power

تعرف القدرة (Power) بانها مقدار الشغل المنجز في وحدة الزمن ويبرمز لها بالرمز P ووحدتها حسب النظام الدولي للوحدات هي الواط. (W)

فلذا تتبعنا شحنة موجبة Δq متحركة خلال الدائرة في الشكل (٣٦) من نقطة a خلال البطارية الى نقطة b فان طاقتها الكهربائية ستزداد بمقدار $V\Delta q$ عند مرورها البطارية حيث $V = V_b - V_a$ بفعل الشغل المبذول على الشحنات لتحريكها عبر المصدر من الطرف الاقل جهدا (السالب) الى الطرف الاعلى جهدا (الموجب)



شكل (٣٦)

$$W = V\Delta q$$

بقسمة طرفي المعادلة على الزمن نحصل على قيمة القدرة المستهلكة في المصدر:

$$w/t = V\Delta q/t$$

الطرف الايسر من المعادلة يمثل الطاقة (التي تتحول الى شغل) في وحدة الزمن والطرف الايمن يمثل حاصل ضرب التيار في الجهد وبالتالي يمكن كتابة القدرة المستهلكة من المصدر

$$p = IV$$

يمكن تعريف القدرة ايضا بانها المعدل الزمني لإنتاج الطاقة أو استهلاكها:

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

حيث E هي الطاقة الكلية

اذن بوجود مصدر للقوة الدفعة الكهربائية بين طرفي مقاومة الحمل تتحول الطاقة الكيميائية المخزنة في البطارية باستمرار الى طاقة حركية تكتسبها الالكترونات وسريعا ما تختفي هذه الطاقة بفعل التصادمات المتكررة لتظهر على شكل ارتفاع في درجة حرارة المقاومة وبذلك فإن الطاقة الكيميائية المخزنة في البطارية تتحول باستمرار إلى طاقة حرارية وينتج عن مرور التيار الكهربائي في المقاومة انبعاث الحرارة، وتسمى هذه الظاهرة تأثير جول ويتم في بعض

الأحيان التحكم في مقدار هذا التدفق إلا أن في حالات أخرى تتبدد هذه الطاقة وتنتج عنها تأثيرات غير مرغوبة فنضطر لتبريد بعض الاجهزة الكهربائية.
تعطى الطاقة الحرارية التي تنتج بفعل تأثير جول بالمعادلة التالية:

$$P = R \cdot I^2.$$

الوحدة الثالث

المكثفات

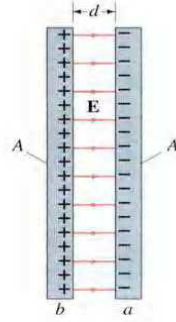
the capacitors

المكثف عبارة عن جهاز يقوم بتخزين الشحنة الكهربائية وبالتالي تخزين الطاقة الكهربائية في المجال الكهربائي الناتج ، ويتكون أبسط مكثف من لوحين موصلين متوازيين تفصل بينهما طبقة رقيقة عازلة ومن الناحية العملية يتم لف رقائق معدنية رقيقة معا مما يزيد من سمك منطقة السطح من حيث وحدة الحجم والسعة والمكثف المتصل بمصدر الجهد الكهربائي يتسرب في مرور تيار كهربائي حيث إنه يجمع الشحنة الكهربائية ولكن يضمحل التيار الكهربائي بمرور الوقت كلما امتلأ المكثف ويصل بالتدريج إلى الصفر ولذلك لا يسمح المكثف بمرور التيار المستمر.

المكثف المتوازي اللوحين : يتميز هذا المكثف بمقدار الشحنة التي من الممكن ان يحملها كل لوح والتي تعتمد على تركيبه ومساحة اللوحين وفرق الجهد الموضوع عبره وفق العلاقة التالية:

$$Q=Cv$$

حيث C سعة المكثف وتعتمد شكل وبعاد الواحه وعلى المسافة بين اللوحين ، وحدة السعة هي الفاراد ويرمز إليها بالرمز "F" نسبة الى العالم فارداي والفاراد الواحد يساوي السعة التي تنشأ عن فرق الجهد البالغ واحد فولت عندما يقوم بتخزين شحنة تساوي واحد كولوم تعمل المتسعات تحت جهد كهربائي مختلف Voltage من بضع عشرات فولت الى الاف الفولت والفاراد وحدة كبيرة وهناك وحدات اصغر منها مثل المايكروفاراد والنانو فاراد والبيكوفاراد



شكل (٣٧) مكثف متوازي اللوحين

يتسبب عزل لوحي بعازل المكثف المشحون في توليد مجال كهربائي يمكن اعتباره منتظما اذا كانت المسافة بين اللوحين صغيرة جدا نسبة الى مساحتهما ويتجه من اللوح الموجب الى السالب ونلاحظ من الشكل (٣٧) ان الشحنة السالبة $-Q$ على احد اللوحين والشحنة الموجبة $+Q$ على اللوح الآخر.

استعمالات وانواع المكثفات في الدوائر الإلكترونية

يستعمل المكثف لترشيح إشارات التيار المتردد اي منع مرور التيار المستمر في الدوائر الإلكترونية حيث يعمل (كمكثف ربط) Coupling أو (مكثف تسريب) Bypass.

وعادة يستعمل المكثف الكيماوي للشحن والتفريغ في دوائر تقويم التيار التي تحول التيار المتناوب إلى تيار مستمر ،اما المكثف الكيماوي كبير السعة فيستعمل في دوائر فلاش كاميرا التصوير حيث يخزن شحنات كهربائية عالية وعندما يُفرغ فجأة يعطي ضوءا لالتقاط الصورة. وهناك مكثف متغير القيمة ويربط على التوازي مع ملف لاختيار المحطات (تردد الموجات) في جهاز الراديو عملية توليف (راديو) أو جهاز التلفزيون ،يوصل المكثف احيانا مع المقاومة في الدائرة الإلكترونية للحصول على أشكال موجات محددة ومتنوعة ويطلق على الدائرة في هذه الحالة دائرة تفاضل أو دائرة تكامل

العوامل المؤثرة على سعة المكثف

يوجد ثلاثة عوامل أساسية تؤثر على سعة المكثف بصورة مباشرة وهذه العوامل هي:

١-المساحة السطحية للألواح المكثف (A):

إن سعة المكثف تتناسب طرديا مع المساحة السطحية للألواح فإذا زادت مساحة سطح اللوح زادت سعة المكثف وذلك لزيادة استيعابه للشحنات الكهربائية وبالعكس تقل سعة المكثف كلما قلت هذه المساحة.

٢-المسافة بين الألواح (d):

تقل السعة عندما تزداد المسافة بين الألواح والعكس صحيح، أي أنه يوجد تناسب عكسي بين سعة المكثف والمسافة بين ألواح.

ج-الوسط العازل (المادة العازلة) ϵ :

تزداد سعة المكثف بتغير المادة العازلة بين الألواح ويعتبر الهواء الوحدة الأساسية لمقارنة قابلية عزل المواد الأخرى المستعملة في صناعة المكثفات ، يوجد لكل مادة ثابت عزل يطلق عليه إيسلون ϵ حيث $\epsilon = k\epsilon_0$ و k كمية ثابتة تسمى ثابت العزل النسبي وقيمتها أكبر من الواحد لذلك فإن المكثف الذي يحوي مادة عازلة بين اللوحين تكون سعته أكبر .

مما سبق نجد أن سعة المكثف C بدلالة المساحة السطحية للوح A والمسافة بين اللوحين d وثابت العزل للمادة العازلة ϵ يكون:

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

وثابت العزل ϵ في المعادلة يساوي حاصل ضرب ثابت العزل للهواء ϵ_0 مضروب في ثابت العزل النسبي للمواد العازلة.

سؤال :اثبت ان قيمة سعة المكثف متوازي اللوحين هي

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

حيث ϵ_0 هو ثابت العزل للعازل بين اللوحين و A مساحة احد اللوحين و d المسافة بين اللوحين

الجواب : ان المجال الكهربائي بين لوحي المكثف يكون مجال منتظم وان الشحنة تتوزع بالتساوي على المساحة السطحية للوحي المكثف

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

$$\sigma = q/A$$

$$V = Ed$$

ان العلاقة بين فرق الجهد والمجال الكهربائي المنتظم هي

ان فرق الجهد بين لوحي المكثف هو $q = cv$

$$V = q/C$$

$$V=qd/\epsilon_0 A$$

$$q/C= qd/\epsilon_0 A$$

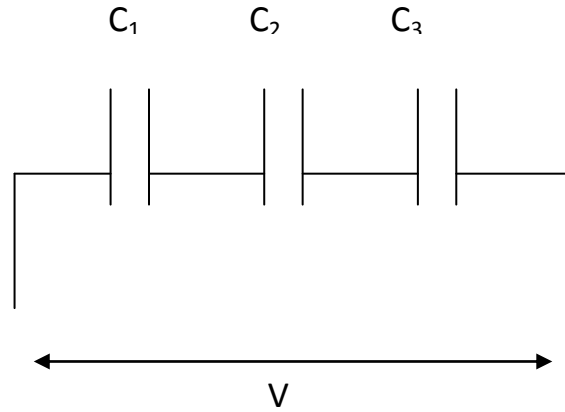
$$C=\frac{\epsilon_0 A}{d}$$

في حالة وجود مادة عازلة بين اللوحين يتم تعويض ثابت العزل للمادة العازلة بدلا من ثابت العزل للهواء اي

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

١ توصيل المكثفات على التوالي

إذا كان لدينا مجموعة من المكثفات متصلة على التوالي و سعاتها هي C_1, C_2, C_3 و مطبق عليها مصدر جهد V كما بالشكل



$$V = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$V = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

$$\therefore \frac{V}{Q} = \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$

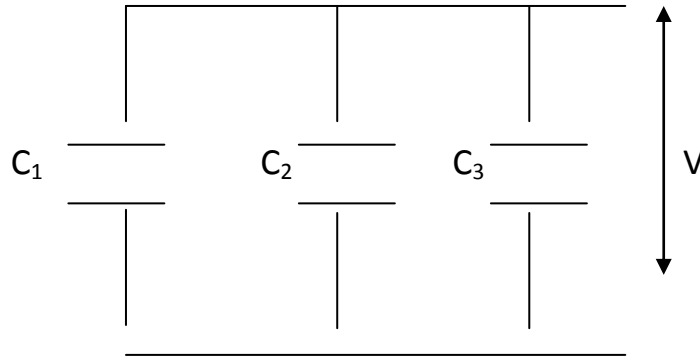
أى أن مقلوب السعة الكلية يكافئ مجموع مقلوب السعات كل على حدى و يلاحظ أن هذا يناظر التوصيل على التوازي في حالة المقاومات.

و في حالة اتصال مكثفين على التوالي فان السعة الكلية لهما تكون على الصورة:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

٢- التوصيل على التوازي

إذا كانت المجموعة السابقة من المكثفات متصلة على التوازي كما بالشكل فان



$$Q = C_1 V + C_2 V + C_3 V$$

$$\therefore \frac{Q}{V} = C_1 + C_2 + C_3$$

$$\therefore C = C_1 + C_2 + C_3 = \sum_i C_i$$

إذا كان لدينا مجموعة من المكثفات متصلة على التوالي و سعاتها هي C_1 ، C_2 ، C_3 و مطبق عليها مصدر جهد V كما بالشكل فان

$$V = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$V = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

$$\therefore \frac{V}{Q} = \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$

أى أن مقلوب السعة الكلية يكافئ مجموع مقلوب السعات كل على حدى و يلاحظ أن هذا يناظر التوصيل على التوازي في حالة المقاومات.

الطاقة المخزونة في المكثف energy stored in the capacitor

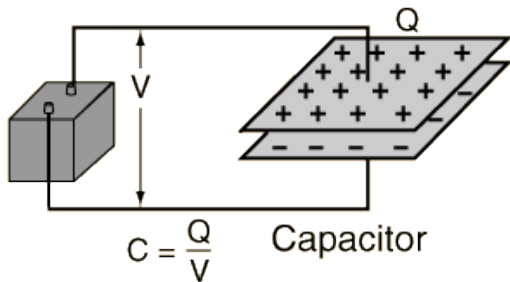
ان الطاقة المخزونة في المكثف ممكن التعبير عنها بدلالة الشغل المبذول من البطارية بما ان الفولتية تمثل الطاقة لوحدة الشحنة لذا فان الشغل اللازم لتحريك الشحنة dq من الطرف السالب للبطارية الى اللوح الموجب يساوي vdq حيث v هو الجهد على المكثف ان الجهد يتناسب مع كمية الشحنة الموجودة اصلا على المكثف ، مقدار الطاقة المخزونة في المكثف

$$dU = Vdq = \frac{q}{C} dq$$

نفرض ان Q هي مقدار الشحنة على المكثف عندما يصل الجهد عندها مساويا لجهد البطارية اذن نحصل على الطاقة المخزونة من تكامل المعادلة السابقة

$$U = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

ومن تعريف المكثف من العلاقة $C = \frac{q}{v}$ يمكن ايجاد عدة صيغ للطاقة المخزونة



شكل (٣٨)

سؤال :مكثف متوازي اللوحين مساحة احد اللوحين $A=1.5m^2$ والمسافة بين اللوحين $0.8mm$ وفرق الجهد $1200v$ عندما كان الوسط بين اللوحين هواء -احسب الطاقة الكهربائية المخزونة في المكثف ب-اذا كان بين اللوحين مادة ثابت العزل لها يساوي 3 فما قيمة الطاقة المخزونة الان ج-اذا شحن المكثف بشحنة قدرها q ثم وضعت مادة عازلة بين اللوحين ثابت العزل لها 3 احسب الطاقة المخزونة وفرق الجهد بين اللوحين

وحدة الالكترون فولت

من المعلوم ان طاقة الالكترون او البروتون هي الجول ولكن هذه الوحدة صغيرة في حالة تسريع البروتون مثلا بجهد وهناك وحدة تسمى الكترون فولت فاذا افترضنا ان بروتونا تسرع خلال فرق جهد بين لوحين مقدارهما واحد فولت فان طاقته هي

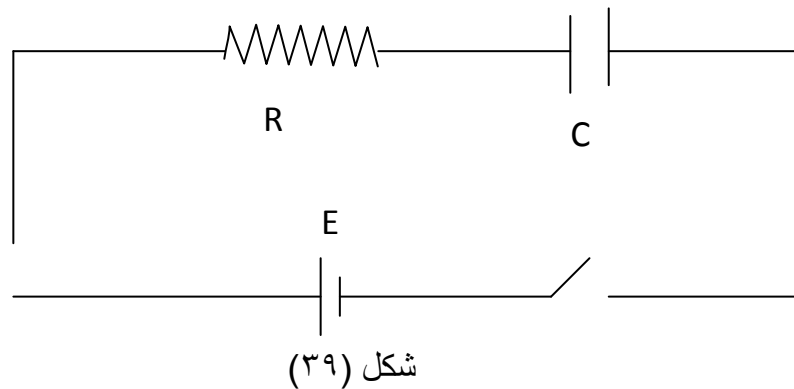
$$E=1ev$$

ويمكن تحويل هذه الطاقة الى جول وذلك بضرب هذه القيمة في شحنة الالكترون وكالتالي

$$E=1.6 \times 10^{-26} \text{ joule}$$

شحن وتفريغ المكثف

نفرض لدينا مقاومة و مكثف متصلين على التوالي مع مصدر جهد مستمر كما بالشكل (٣٩) ونفرض أن الدائرة كانت مفتوحة ثم أغلقت عند اللحظة الزمنية $t=0$ و المطلوب معرفة كيفية تغير التيار و الجهد مع الزمن عند غلق الدائرة



ان معادلة هذه الدائرة هي :

$$V_C + V_R = E \quad (1)$$

حيث أن E هو جهد البطارية و V_R فرق الجهد على المقاومة V_C فرق الجهد على المكثف. و من المعروف لدينا أن

$V_R = IR$ ، $V_C = Q/C$
 حيث أن I شدة التيار المار في الدائرة، Q شحنة المكثف ، C سعة المكثف. و بذلك تأخذ المعادلة (١) الصورة

$$E = IR + Q/C \quad (2)$$

و بتفاضل طرفي هذه المعادلة بالنسبة للزمن نحصل على

$$R \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} \frac{dQ}{dt} = 0 \quad (3)$$

و من تعريفنا السابق للتيار نجد أن

$$dQ/dt = I$$

و بالتعويض في المعادلة (٣) نحصل على

$$R \frac{dI}{dt} = -\frac{I}{C}$$

$$\therefore \frac{dI}{I} = -\frac{1}{RC} dt \quad (4)$$

و بتكامل المعادلة (٤) نحصل على

$$\ln(I) = -\frac{t}{RC} + K \quad (5)$$

حيث K ثابت التكامل، و لإيجاد هذا الثابت فانه عندما

$$t = 0 \quad \longrightarrow \quad I = I_0$$

و بالتعويض في المعادلة (٥) ، يمكننا الحصول على قيمة الثابت

$$\ln(I_0) = K$$

و بذلك تأخذ المعادلة (٥) الصورة

$$\ln(I) = -\frac{t}{RC} + \ln(I_0)$$

$$\therefore \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\frac{t}{RC}$$

$$\therefore I = I_0 e^{-t/RC} \quad (6)$$

و تبين هذه المعادلة كيفية تغير التيار المار في الدائرة كما موضح في شكل (٤٠-١).
 و لمعرفة تغير فرق الجهد يجب علينا إيجاد فرق الجهد لكل عنصر من عناصر الدائرة.

فرق الجهد بين طرفي المقاومة

$$V_R = IR = I_0 e^{-t/RC}$$

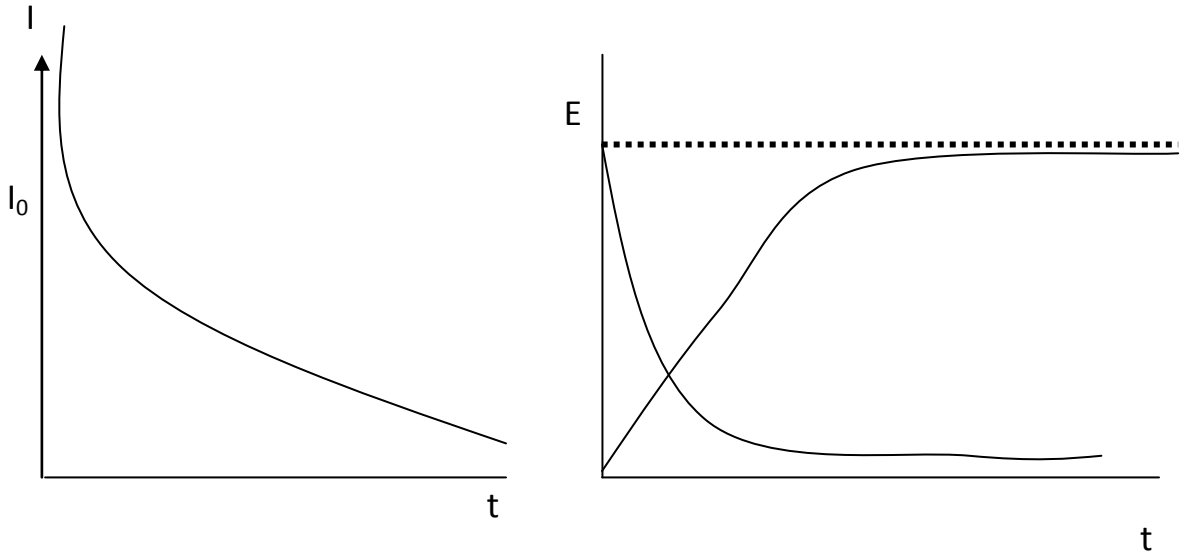
$$\therefore V_R = E e^{-t/RC} \quad (7)$$

أما فرق الجهد شكل (٤٠-ب) بين طرفي المكثف فيمكن إيجاده من المعادلة (١)

$$V_C = E - IR$$

$$V_C = E - I_0 R e^{-t/RC}$$

$$\therefore V_C = E \left(1 - e^{-t/RC} \right) \quad (8)$$



أ - تغير التيار

ب-تغير الجهد

شكل (٤٠)

من المعادلات (٦) ، (٧) ، (٨) يمكننا الحصول على المنحنيين السابقين ، و هما عن كيفية تغير الجهد و التيار مع الزمن. و من هذا الرسم يتضح أن

١- عند اللحظة $t = 0$ أى عند لحظة قفل الدائرة يصل التيار الي أقصى قيمة له I_0 أى يساوى E/R و بذلك يكون فرق جهد البطارية واقع على المقاومة فقط.

٢- بزيادة الزمن يبدأ المكثف في الشحن و يبدأ تيار الدائرة في الانخفاض و بذلك ينخفض فرق الجهد الواقع على المقاومة بينما يزداد فرق الجهد على المكثف إلي أن تصل قيمة التيار صفرا و بذلك يصل فرق الجهد على المقاومة الي الصفر أيضا بينما يصل فرق الجهد على المكثف الي أقصى قيمة له وهو فرق جهد البطارية E .

يسمى الثابت RC الثابت الزمني وله نفس وحدات الزمن (حيث أن الدالة الأسية ليس لها وحدات). و يعرف الثابت الزمني بأنه الزمن اللازم لكي تنخفض فيه قيمة التيار الي $1/e$ من قيمته القصوى.

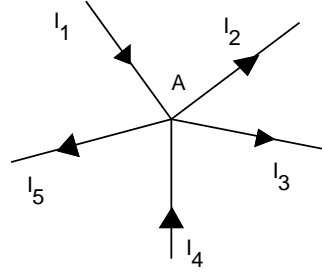
فعندما يكون الثابت الزمني صغيرا يتم شحن أو تفريغ المكثف بسرعة والعكس يحدث عندما يكون الثابت الزمني كبيرا فانه يتم شحن أو تفريغ المكثف ببطء.

Kirchheff's Laws

قوانين كيرشوف

القانون الأول

ينص القانون الأول لكيرشوف و الذى يسمى قانون التيار على أنه في أى دائرة كهربائية يكون المجموع الجبرى للتيارات المتلاقية في نقطة يساوى صفر. من الشكل (٤١) يتضح ان



شكل (٤١)

$$I_1 + I_4 - I_2 - I_3 - I_5 = 0$$

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5 \quad \text{or}$$

و هذا القانون يمكن صياغته على الصورة " أن مجموع التيارات الداخلة الي نقطة يساوى مجموع التيارات الخارجة من نفس النقطة"

القانون الثانى (قانون فرق الجهد)

ينص هذا القانون على أن المجموع الجبرى لحاصل ضرب التيار في المقاومة لكل عنصر في الدائرة مأخوذ في اتجاه دورى واحد مضاف الي ذلك المجموع الجبرى للقوى الدافعة الكهربائية التي توجد في هذه الدائرة يساوى صفر. و يمكن صياغة هذا القانون بصورة مبسطة على أنه في أى مسار مغلق يكون المجموع الجبرى لتغيرات الجهد حول المسار المغلق مساويا للصفر. عند تطبيق قوانين كيرشوف على الشبكات الكهربائية، فإنه يجب علينا مراعاة الإشارات الجبرية لفرق الجهد أو القوة الدافعة الكهربائية. حيث يمثل انخفاض الجهد بقيمة سالبة و يمثل ارتفاع الجهد بقيمة موجبة

في حالة مصادر الجهد:

فإذا تحركنا من الطرف السالب للبطارية الي الطرف الموجب فهذا يعنى ارتفاع في الجهد و نعبر عن قيمة القوة الدافعة الكهربائية للبطارية في هذه الحالة بإشارة موجبة. أما إذا حدث العكس و تحركنا من الطرف الموجب الي الطرف السالب فان هذا يعنى انخفاض في الجهد و يعبر عنه بإشارة سالبة.

و عند تطبيق قوانين كيرشوف على الشبكات الكهربائية قد تنشأ مشكلة تحديد الاتجاه الصحيح للتيارات المختلفة. و إذا تم فرض اتجاه للتيار بحيث لا يتفق مع الواقع، فإنه عند حل هذه الشبكة الكهربائية سوف نحصل على تيار سالب و هذا يعنى أن الاتجاه الحقيقي للتيار عكس ما تم فرضه.

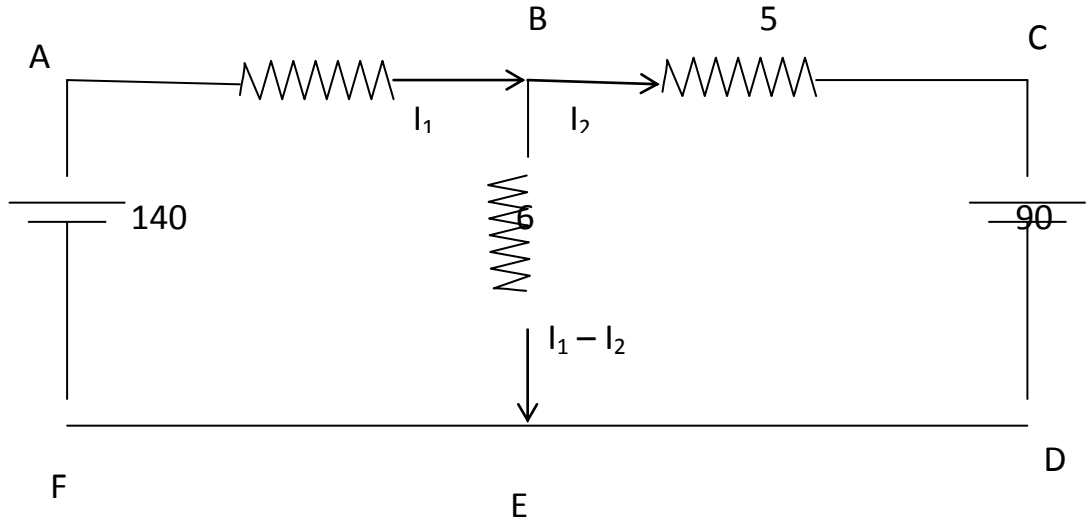
مثال في الدائرة الموضحة في الشكل (٤٢)

١ - أحسب فرق الجهد في الفرع BE

٢ - اثبت أن القدرة التي تعطيها المصادر الكهربائية المختلفة للدائرة تساوى القدرة التي تأخذها المقاومات المختلفة.

نطبق قانون كيرشوف الثانى على المسار المغلق ABEFA و نبدأ من النقطة F

$$140 - 20 I_1 - 6 (I_1 - I_2) = 0$$



$$13 I_1 - 3 I_2 = 70$$

و بالمثل بالنسبة للمسار CDEBC

$$- 90 + 6 (I_1 - I_2) - 5 I_2 = 0$$

$$6 I_1 - 11 I_2 = 90 \quad (2)$$

بحل المعادلتين السابقتين نحصل على

$$I_1 = 4 \text{ A} \quad , \quad I_2 = - 6 \text{ A}$$

و الإشارة السالبة للتيار I_2 تعنى أن اتجاهه عكس ما هو موضح بالشكل . و التيار المار بالفرع BE و ليكن I يعطى من

$$I = I_1 - I_2 = 4 - (- 6) = 10 \text{ A}$$

إذن

$$V_{BE} = 6 \times 10 = 60 \text{ V}$$

من المعروف أن القدرة الكهربائية تعطى من العلاقة

$$P = EI = I^2 R \quad W$$

نفرض أن القدرة التي يعطيها المصدر 140 هي P_1 و القدرة التي يعطيها المصدر 90 هي P_2 و القدرة الكلية P

$$P_1 = 140 \times 4 = 560 \quad W$$

$$P_2 = 90 \times 6 = 540 \quad W$$

$$P = 540 + 560 = 1100 \quad W$$

و القدرة التي تستهلكها المقاومات هي

$$(4)^2 \times 20 + (6)^2 \times 5 + (10)^2 \times 6 = 1100 \quad W = P$$

المصادر

١-الكهربائية والمغناطيسية ،تأليف د.يحيى عبد الحميد ،جامعة الموصل ،١٩٨٧

٢-دوائر التيار الكهربائي ،تأليف د.سعود بن حميد اللحيالي ،جامعة ام القرى ،قسم الفيزياء ،السعودية ،٢٠٠٨

٣-موقع الدكتور حازم سكيك ، جامعة غزة ،قسم الفيزياء ، فلسطين، ٢٠١٠

٤ -اساسيات الفيزياء ،ترجمة د.سعيد الجزيري ود.محمد امين ، جامعة القاهرة
،قسم الفيزياء،٢٠٠٧