محاضرات فى الكهرباء

لطلاب كلية التربية

اعداد
أ. م. د./حمدي توفيق
د. / محمد علوش

القائم بالتدريس:
د. محمد علوش
جامعة جنوب الوادي

٢٠٢٢-٢٠٢٣م

الكهربيه الساكنة

للكهرباء نوعان رئيسيان هما:

الكهرباء الساكنة ينشأ هذا النوع من الكهرباء من خلال تجمّع الالكترونات أو غيابها على أي سطحِ ما، وتُعدّ هذهِ الظاهرة طبيعيّة وتنشأ عنها قيم كهربائية صغيرة بشكل عامّ، ومن الأمثلة عليها تولّد الكهرباء الساكنة على قطعة بلاستيكية أثناء دلكها بصوف مثلاً، أو أثناء حركتك وأنت ترتدي لباساً صوفياً وتشعر بلسعة كهربائية في يديك حين تُلامس سطحاً معدنيّاً، وكلّ هذهِ الأمثلة دليل على هذهِ الكهرباء الساكنة.

الكهرباء المُتحرّكة نُسمّيها بالمُتحرّكة نتيجة لوجود تيّار كهربائي وتدفّق للشحنات السالبة وهيَ الالكترونات، وهذا النوع من الكهرباء يُدعى بالتيّار، وينقسم التيّار الكهربائي إلى نوعين هُما التيار الكهربائي الثابت والمعروف باللغة الإنجليزيّة **DC**، والتيار الكهربائي المُتردد والمعروف أيضا بالإنجليزيّة **AC** .

عرف الإنسان الكهرباء من ايام قدماء اليونان عندما لاحظ ان دلك قطعة كهرمان - وهو عبارة بلورة متحجرة من خشب الصنوبر- بالفرو يجعلها تلتقط ذرات الغبار وقصاصات الورق الصغيرة بسهولة فقال إنها مكهربة وذلك نسبة الى للكهرمان، واستخدم كلمة إلكترون (وهى الكلمة اليونانية للكهرمان) للدلالة على الاجسام المكهربة. كما لوحظت ظواهر مماثلة عندما يدلك الزجاج بالحرير، أو عند تمشيط الشعر بمشط بلاستيكي جاف فيلتقط قصاصات الورق الصغيرة.

ولو تلامست قطعة الكهرمان مكهربة مع كرة معدنية صغيرة معلقة بخيط حريرى ثم قربت هذه الكرة من أخرى مماثلة مشحونة بنفس الطريقة لتتافرت الكرتان. ولكن لو قربت الكرة الاولي نحو كرة مشحونة بالتلامس مع زجاج لتجاذبت الكرتان فى هذه الحالة. فدل ذلك الى ان هناك نوعان من الشحنات اصطلح على اعتبار إحداهما سالبة (يحملها الكهرمان) والثانية موجبة (يحملها

الزجاج). وبينت تجارب إضافية ان الكهرمان المدلوك بالفرو يحمل شحنة سالبة بينما يحمل الفرو شحنة موجبة، أما الزجاج المدلوك بالحرير فيحمل شحنة موجبة بينما الحرير شحنة سالبة. وعموما فان دلك اى جسمين ببعضهما يشحنها بشحنتين متعاكستين، لذا فمن المنطقي ان تكون الاجسام العادية متعادله وعندما تدلك تتبادل الكهرباء بين بعضها بعضا

الشحنه الكهربيه

ما المقصود بقولنا أن جسما ما مشحون؟ هل له شكل أو حجم مختلف عن غيره؟ ولو نظرنا له فهل يمكننا أن نتبين أنه مشحون من منظره فقط ؟ فى الحقيقه ان كون الجسم مشحونا لا تتعلق بخواصه الفيزيائيه والطريقه الوحيده لمعرفة فيما أذا كان مشحونا هى أن نضعه قرب جسم أخر مشحون مسبقا فاذا دفعه أو جذبه عندها فقط نعرف انه مشحون. فالشحنه خاصيه للجسم تمكنه من دفع أو جذب أجسام مشحونه أخرى مثل خاصية الكتله التى تمكن جسم ما له كتله من جذب الكتل الأخرى. من هذا المنطلق نستطيع اعطاء تعريف تأثيرى للشحنه **بانها الخاصيه التى يملكها جسم للتأثيرعلى غيره من الأجسام التى تحمل نفس الخاصيه.**

فالشحنات تؤثر على بعضها على بعضها بقوه كهربيه والكتل تؤثر على بعضها بقوة الجاذبيه بينما لا يؤثر جسم مشحون(كالبروتون) بقوه كهربيه على جسم غير مشحون(كالنيوترون) انما يؤثرعليه بقوه الجاذبيه لان لكل منهما كتله

ومن أصغر الشحنات المعروفه للانسان(الالكترون والبروتون)حيث أصطلح اعطاءالالكترون شحنه سالبه مقدارها $1.6x10^{-19}$ كولوم بينما أعطى البروتون نفس الشحنه ولكن بأشاره موجبه والكولوم هى وحدة الشحنه الكهربيه المستخدمه فى نظام الوحدات الدولي نسبة للفيزيائى الفرنسى تشارلز كولوم الذى أكتشف القوه الكهربيه بين جسمين مشحونين. وكثيرا ما تعطى ما تعطى شحنات الأجسام بأجزاء الكولوم كالميلى($10^{-3}C$) كولوم والمايكرو كولوم($10^{-6}C$) والنانوكولوم ($10^{-9}C$) وهكذا.

كم الكترون يوجد فى كولوم واحد؟

لحساب عدد الالكترونات فى كولوم واحد نكتب شحنة الألكترون

$1e= 1.6x10^{-19}\ C \quad \therefore\ 1\ C=1e/1.6x10^{-19} = 6.25x10^{18}\ e$

أى أن شحنة جسم بكولوم واحد يتطلب تجريده من أكثر من ستة مليون مليون مليون الكترون.

الأجسام المشحونه والأجسام المتعادله

تتألف الماده فى الطبيعه من ذرات تحوى الكترونات سالبة الشحنه ونواه موجبة الشحنه تساوى وتعاكس شحنة الالكترونات ولهذا فالذره العاديه متعادله كأى ماده معدنيه أو قطعة قماش أو لوح خشب وغيره. ولكن اذا فقدت الماده بعض الالكترونات أو أكتسبت بعضا منها فأننا نقول انها صارت مشحونه بشحنه موجبه أو سالبه على الترتيب ويتم عادة شحن الأجسام بعدة طرق منها:

الشحن بالدلك

اذا دلك جسمان متعادلان من مادتين مختلفتين أو تلامسا جيدا فأن بعض الالكترونات تنتقل من أحد الجسمين للأخر وعدد الالكترونات التى يفقدها أحد الجسمين يساوى تماما عدد ألالكترونات التى يكتسبها الجسم الأخر لذلك تكون شحنتهما متساويتين فى المقدار ومختلفتين فى النوع فمثلا عند دلك قطعه من المطاط أو الابونيت بالصوف تنتقل الالكترونات من الصوف الى المطاط فيصبح الصوف موجب الشحنه لانه فقد الالكترونات سالبة الشحنه ويصبح المطاط سالب الشحنه لانه اكتسب الالكترونات سالبة الشحنه

ويشعر الانسان بظاهرة الشحن بالدلك بشكل متكررفى الحياه اليوميه كأن نشعريصعقه كهربيه خفيفه لحظة مسك باب السياره أو الباص عند نزولنا منه أو عند لمس المقبط المعدنى لباب الغرفه بعد سيرنا على سجاده فيها. وتعليل ذلك أننا حصلنا بالدلك على شحنه كهربيه كافيه من مقعد السياره او الباص أو سجادة

الغرفه التى تنتقل للجسم الملموس بسرعه مسببه تلك الصعقه الكهربيه الخفيفه. وقد نتسأل لماذا تحدث تلك الظاهره فى الأيام الجافه بينما تكون نادرة الحدوث فى الأيام الرطبه ؟ والأجابه هى لأن الشحنات تتراكم فى الأيام الجافه عند احتكاك الأجسام ببعضها أما فى الأيام الرطيه يكون الهواء مشبعا ببخار الماء فيشكل طبقه رقيقه من الماء على الأجسام لتصير ناقله للكهرباء وتتسرب الشحنه منها بأستمرار ولا تتجمع على الجسم بشكل كاف

وقد امكن تفسير ظهور الكهرباء الساكنه على الأجسام المدلوكه كما امكن تفسير نوعى الكهرباء عقب إكتشاف الألكترونات نتيجة البحوث العديده التى أجرها طومسون ١٨٩٧وعلى وجه يالعموم يمكن تفسير الظواهر الكهربيه المختلفه بدراسة التركيب الذرى للماده.

التركيب الذرى للماده

نعلم أن جميع الأجسام تتكون من عدد من المواد البسيطه تسمى بالعناصر الكيميائيه هذه العناصر مرتبه ترتيبا دوريا فى الجدول الدورى للعناصر والذره هى أصغر جسيم فى كل عنصر وهى وحدة بناء جميع العناصر وطبقا لنموذج رذرفورد تحتوي الذره على نواه صغيره جدا تتركز فيها كتلتها وتحمل عددا من الشحنات الموجبه (البروتونات) مساو لعددها الذرى والبروتون هو الوحده الأساسيه للشحنه الموجبه بالأضافه الى عدد من النيوترونات وهى أجسام متعادله كهربيا وتساوى كتلة كل منها كتلة البروتون وتبلغ كتلة كل من البروتون والنيوترون ما يقرب ١٨٠٠ مره قدر كتلة الألكترون. ويدور حول النواه فى مدرات دائريه أو إهليجيه شحنات سالبه وهى الاكترونات وهى الوحدات الأساسيه للشحنه السالبه وتساوى فى مجموعها العدد الذرى أيضا. وبذلك تكون الذره متعادله فى الحاله العاديه وتكون الالكترونات المداريه فى أى ذره مرتبه فى مجموعه من المدارات بحيث لا يتعدى عدد الكترونات أى مجموعه عن حد معين فمثلا للمدار الأول (٢) والثانى (٨) والثالث(١٨) وهكذا

ولما كانت القوه بين النواه وأى من الكترونات المداريه هى قوه جذب كهروستاتيكى فإن طاقة الترابط بين النواه و الكترونات المدارات الداخليه تكون أكبر من ذلك التى تربط النواه بالكترونات المدارات الخارجيه لها لدرجة تسهل معها خلخلة هذه الالكترونات الأخيره بتذويدها بقدر من الطاقه يمكنها من الأفلات من ذرتها والانتقال إلى ذرات أخرى مجاوره.

وعندما تفقد الذره واحدا أو أكثر من الكتروناتها الخارجيه يصبح هناك نقص فى شحنتها السالبه وتسمى حينئذ ايونا موجبا أما إذا إنتقل إلى مداراتها الخارجيه الكترون أو أكثر فانها تصبح سالبة الشحنه وتسمى حينئذ ايونا سالبا

وعند دلك ماده بأخرى (قضيب من الأبنوس بقطعه من الفراء) تتولد كميه من الحراره تكفى لتزويد الالكترونات الخارجيه فى ذرات الأبنوس بطاقه حركه تمكنها من الأنتقال إلى ذرات الفراء عند سطح تلامسها ويترتب على هذا أن تصبح الماده التى فقدت الكتروناتها موجبه الشحنه والماده التى إكتسبت هذه الالكترونات سالبة الشحنه.

وكذلك عند دلك قضيب الزجاج بقطعه من الحرير تنتقل بعض الالكترونات من ذرات الحرير التى تظهر عليها شحنه موجبه الى قضيب الزجاج الذى يظهر عليه شحنه سالبه وتتوقف نوع الكهربيه المتولده بالإحتكاك فى جسم على هذا الجسم وعلى الدالك أيضا . قد أمكن عمليا وضع الأجسام لترتيب خاص بحيث إذا دلك جسم بأحد الأجسام السابقه له شحن بكهربيه سالبه وإذا دلك بأحد الأجسام اللاحقه له شحن بكهربيه موجبه.

الشحن بالتأثير

قرب جسيما مشحونا ومعزولا من موصل معزول وغير مشحون تجد أن الموصل قد إكتسب شحنه كهربيه ويمكن الإستدلال على أن الشحنه المكتسبه بواسطة الموصل تتركز أساسا عند طرفي الموصل دون منتصفه كذلك يمكن الإستدلال على نوع الشحنه عند طرفى الموصل بواسطة الكشاف الكهربى

وبالرغم من عدم ملامسة الجسيم المشحون بالموصل مباشرة إلا أن وجود الشحنه بالقرب من الموصل أدى الى كهربته بالتأثير

ويفسر ظهورالشحنه التأثيريه على موصل إذا ما قرب من شحنه كهربيه بأن الألكترونات فى الموصل تتحرك نحو هذه الشحنه إذا كانت موجبه أو بعيدا عنها إذا كانت سالبه

وإذا كان الجسم مشحونا بشحنه موجبه فإن الطرف القريب من الموصل يكتسب شحنه تأثيريه مضاده أى سالبه كما يكتسب الطرف البعيد شحنه مماثله أى موجبه ّ ذلك أن الالكترونات الحره فى الموصل تنجذب نحو الشحنه الموجبه فى طرف الموصل القريب من الجسم المشحون فيكتسب شحنه سالبه بينما يكتسب الطرف البعيد شحنه موجبه وتسمى شحنة الطرف القريب بالشحنه المقيده بينما تسمى شحنة الطرف البعيد (الموجبه) بالشحنه الحره وذلك لانها تتسرب بسهوله من الطرف البعيد إذا تم الأتصال بين الموصل والأرض أثناء وجود الجسم المشحون بينما تبقى الشحنه المقيده

الشحن باللمس

اذا اتصل (او تلامس) جسم موصل مشحون مع موصل متعادل فإن الموصل المشحون يفقد جزءا من شحنته الى الموصل المتعادل أى تكون شحنتهما من نفس النوع ويتم توزيع الشحنه الكليه بحيث يبقى المجموع الكلى للشحنات ثابتا.

القوة بين الشحنات وقانون كولوم

يوجد نوعان من حاملات الشحنه الكهربيه حاملات الشحنه السالبه مثل الإلكترونات والأيونات السالبه وحاملات الشحنه الموجبه مثل البروتونات والأيونات الموجبه هذه الشحنات تؤثر فى بعضها البعض بقوه ذات طبيعه كهربيه وهناك نوعان من هذه القوى قوى تنافر بين الشحنات المتشابه وقوة تجاذب بين الشحنات المختلفه. ويجدر بالذكر هنا ان نعيد تلخيص أنواع التفاعل المتبادل بيم الاجسام

أولا: تفاعل كتلى

وهو الذى يعتمد على كتل المواد المتفاعله والقوى هنا قوى تجاذب

ثانيا: تفاعل كهربى

ويحدث بين الاجسام الساكنه التى تحمل شحنات كهربيه والقوى المتبادله فى هذا التفاعل نوعان تجاذب وتنافر حسب نوع الشحنه على كل جسم

ثالثا: تفاعل مغناطيسى

والقوى المتبادله هى قوى تجاذب وتنافر

رابعا: تفاعل ذا طبيعه نوويه

والقوى المتبادله هى قوى تجاذب بين الأجسام المتجمعه فى نواة الذرات وقد كان ينظر الى هذا النوع من التفاعل كنوع مستقل وقد اتضح الأن انه مجرد تفاعل بين الشحنات الكهربيه المتحركه

قانون كولوم

وفى هذا الجزء سوف ندرس المبادئ الأساسيه لتفاعل الجسيمات المشحونه والتى هى فى حالة سكون وقانون القوى الأساسيه فى تفاعل الجسيمات المشحونه كهربيا والتى هى فى حالة سكون وهو ما يسمى بقانون كولوم.

أجرى العالم الفرنسى كولوم دراسه تتعلق بالقوى الكهربيه بين الشحنات وقد استعمل شحنتين متشابهتين حرتى الحركه على هيئة نقطه (اى ان ابعاد الجسيم المشحون أصغر بكثير من المسافه بين الجسمين) فوجد أن الشحنتين تبتعدا عن بعضهما مسافه معينه. أعاد التجربه وجعل أحد الشحنتين نصف الأخرى من حيث قيمة الشحنه فوجد أن قيمة الشحنه تبتعدا عن بعضهما مسافه تقل عن الحاله الاولى ونتيجة هذه التجارب استنتج كولوم بالتجربه أن القوه بين شحنتين نقطتين

q_1, q_2 تتناسب طرديا مع قيمة كل من الشحنتين وعكسيا مع مربع المسافه بينهما r أى يمكن كتابة القوه المتبادله بين الشحنتين على النحو التالى

$$F = \frac{kqQ}{r^2}$$

حيث k مقدار ثابت يعتمد على نوع الوسط المحيط بالشحنتين ويساوى فى حالة الفراغ $9x10^9\ Nm^2/C^2$ وبذلك يكون نص قانون كولوم

"القوى الناشئه بين شحنتين تتناسب طرديا مع حاصل ضرب الشحنتين وعكسيا مع مربع المسافه بين الشحنتين"

ويكتب الثابت فى كثير من الأحيان على النحو التالى

$k=1/4\pi\varepsilon_o = \ 9x10^9\ Nm/C^2$

حيث ε_o يمثل ثابت نفاذيه الفراغ للتأثير الكهربى ويساوى

$8.85x10^{-12}\ C^2/N.m^2$ وعند وجود وسط أخر غير الفراغ بين الشحنتين يستعاض عن ε_o بثابت نفاذيه ذلك الوسط للتأثيرالكهربى. بأستخدام النظام العالمى للوحدات (SI system of Units) فأن القوه تقاس بالنيوتن(N) والمسافه(r) بالمتروالشحنه(C) بالكولوم.

ونلاحظ التناظرالواضح بين قانون القوة الكهربيه وقوة الجاذبيه بين كتلتين صغيرتين نقطيتين والتى تعطى من العلاقه

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

مما يدل على تشابه القوى الطبيعيه لكن ثابت الجاذبيه G الذى يساوى

$6.67x10^{-11}N.m^2/kg^2$ أصغربكثير من ثابت القوه الكهربيه k مما يعنى أن الأخيره أقوى بكثير من الجاذبيه ولهذا فهى الغالبه بين الأجسام المشحونه الذريه كالاكترونات والبروتونات وغيرها حيث نهمل قوة الجاذبيه بالمقارنه معها.

وتشبه القوى الكهربيه بين الشحنات قوى التجاذب بين الكتل فى أنها تتناقص بمعدل يتناسب مع مقلوب مربع البعد بينهما ولكن تتميز القوى الكهربيه بكبرها فمثلا القوة الكهربيه بين الإ لكترون وبروتون يفصل بينهما أى بعد معين تساوى ٢ x ١٠$^{-٣٩}$ تقريبا مره قدر قوة التجاذب الكتلى بينهما هذا بالإضافه إلى أن قوة التجاذب الكتلى دائما جاذبه بينما تكون القوى الكهربيه جاذبه فى حالة الشحنات المختلفه ونافره فى حالة الشحنات المتشابه.

وأذا أثرت شحنتين بقوه على شحنه ثالثه فى نفس اللحظه فان القوه التى تتأثر بها الشحنه الثالثه هى المجموع الجبرى أو الجمع المتجه للقوتين السابقتين وهذه القاعده تنطبق على اى عدد من الشحنات.

مثال(١)

أحسب القوه الكهربيه بين الشحنتين مقدارهما $q_1= 5\mu C,\ q_2 =-3\mu C$ علما بأن المسافه بينهما تساوى 15cm وثابت كولوم $9x10^9\ N.m^2/C^2$

الحل

القوه التى تؤثر بها q_1 على q_2 تساوى القوة التى تؤثر بها q_2 على q_1 حيث

$$F_{12}= F_{21}=kq_1q_2/r_{12}^{\ 2}$$

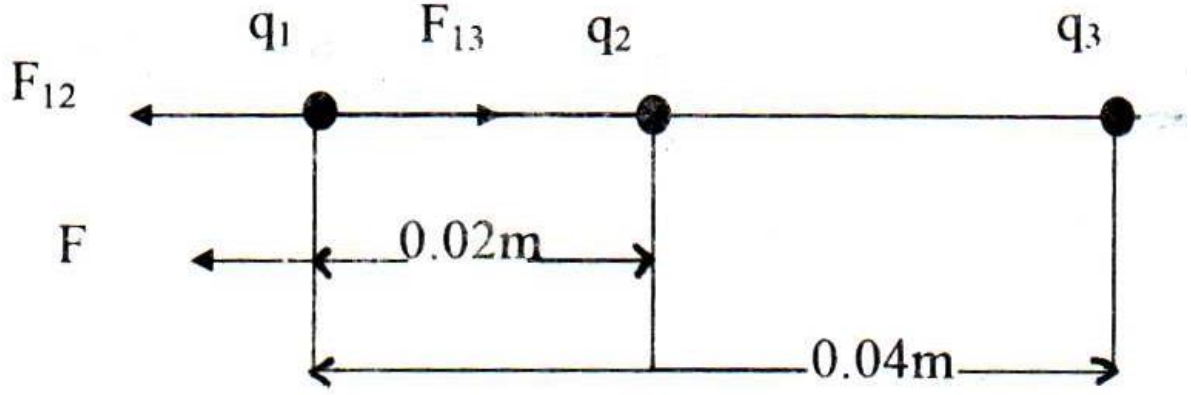
$$=9x10^9x(5x10^{-6})x(-3x10^{-6})/(15x10^{-2})^2 = -6N$$

أى أن القوه التى تؤثر بها q_1 على q_2 تساوى القوه التى تؤثر بها q_2 على q_1 ومقدارها 6N أما الاشاره السالبه فتدل على أنها قوى تجاذب

مثال(٢)

ثلاث شحنات كما بالشكل (1) وضعت على المحور السينى الأولى

$q_1= 5x10^{-9}C$ تمر بنقطة الأصل والثانيه $q_2= 2x10^{-9}C$ عند 0.02m والثالثه $q_3= -3x10^{-9}C$ عند $x=0.04m$ إحسب القوه الكليه التى تؤثر على الشحنه الأولى



شكل (١)

الحل

$F_{12}= kq_1 q_2/(0.02)^2=9x10^9(5x10^{-9})(2x10^{-9})/(4x10^{-4})$
$=22.5x10^{-5}$ N

وفى الإتجاه السالب لمحور السينات

$F_{13}= kq_1 q_2 /(0.04)^2=9x10^9(5x10^{-9})(3x10^{-9})/(16x10^{-4})$
$=8.4x10^{-5}$ N

وفى الإتجاه الموجب لمحور السينات

$F=(22.5-8.4)x10^{-5}= 14.1x10^{-5}N$

فى الإتجاه السالب لمحور السينات

مثال(٣)

أحسب قوة التنافر الكهروستاتيكى بين دقيقتى الفا المسافه بينهما 10^{-11} cm وقارن هذه القوه بقوة الجذب العام بين الدقيقتين

الحل

دقيقة الفا هى نواة ذرة الهيليوم $2He^4$ فهى تحتوى على ٢ بروتون و ٢ نيوترون

∴شحنة دقيقة الفا $1.6x10^{-19}$ x2=$3.2x10^{-19}$ C

وكتلة دقيقة الفا $1.67x10^{-27}$ x4=$6.68x10^{-27}$ kgm

∴ قوة التنافر الكهروستاتيكى طبقا لقانون كولوم

$F = k\, q_1\, q_2/r^2 = 9x10^9(3.2x10^{-19})^2/10^{-13})^2 = 9.18x10^{-2}N$

وقوة الجذب العام بين الدقيقتين طبقا لقانون نيوتن

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

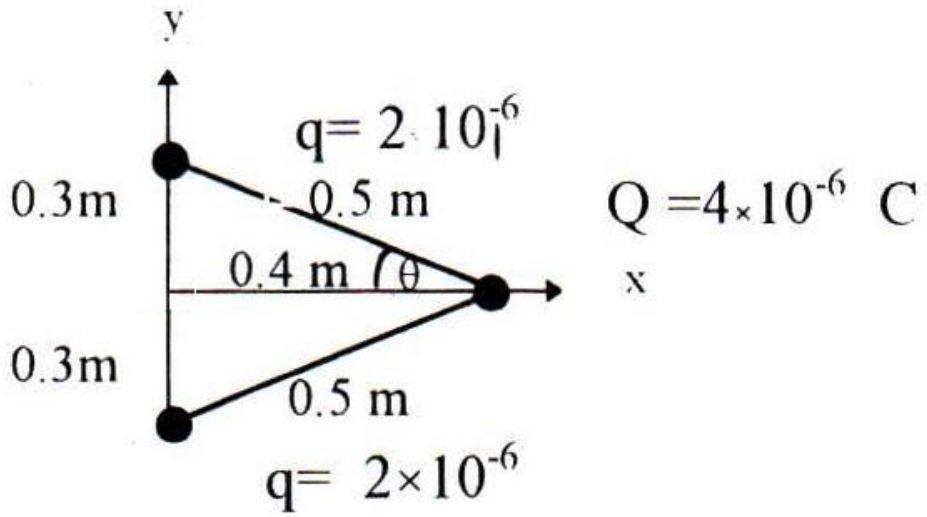
$$= 6.67x10^{-11}(6.68x10^{-27})^2 /10^{-13})^2 = 2.97x10^{-37}\ N$$

حيث G ثابت الجذب العام ويساوى $6.67x10^{-11}Nm^2\ Kg^{-2}$ وبذلك تكون قوة التجاذب الكتلى بينهما مهمله بالنسبه لقوة التنافرالكهروستاتيكى وهذا هو الحال بالنسبه للجسيمات الذريه بينما بالنسبه للاجسام الكبيره فأن الشحنه عليها تقريبا متعادله وتكون قوة التجاذب الارضيه بينهما أكبر من قوة التنافر الكهروستاتكى .

مثال(٤)

أحسب القوه الكليه التى تتفاعل بها شحنتان متساويتان

($q= 2x10^{-6}$) لكل منهما مع شحنه ثالثه $Q=4x10^{-6}C$ والموضوعه عند النقطه (0.4,0m) شكل (٢) علما بأن الشحنتان المتساوتين موضوعتان عند النقطه (0, -0.03m), (0, 0.03m)



شكل (٢)

الحل

$F=kqQ/(0.5)^2 =9x10^9(2x4x10^{-12}/25x10^{-2})=0.29$ N

المركبات الصاديه تلاشى بعضها والسينيه تقوى بعضها البعض

$F_x = F\cos\theta= 0.29x0.4/0.5=0.23N$

∴ القوه الكليه المؤثره على الشحنه Q

$F=2F_x=2x0.23= 0.46N$

وهى فى الاتجاه الموجب لمحور السينات

المجال الكهربى

إن فكرة المجال فكره عمليه تستخدم لتسهيل دراسة التفاعلات المتبادله بين الأجسام المتفاعله وأستخدمت فى دراسة التفاعل الكتلى بين الأجسام المتعادله وأمكن بواسطتها الإستعاضه عن الجسيم الرئيسى المؤثر بمجال ذلك بعد التعريف لهذا المجال ولشدة المجال وسوف نستخدم فكرة المجال على الأجسام المشحونه كهربيا ونعلم أن هذه الأجسام تتفاعل مع بعضها من على البعد سوف نرى كم يبسط إدخال فكرة المجال من دراسة التفاعلات الكهربيه المتبادله بين الأجسام المشحونه

يقصد بالمجال الكهربى أو الكهروستاتيكى لجسم مشحون بالمنطقه المحيطه بالشحنه والتى تظهر فيها اثار هذه الشحنه والمقصود بأثار الشحنه أنها تؤثر فى منطقه مجالها بقوى كهروستاتيكيه على أى جسم مشحون وموضوع داخل منطقة المجال أى منطقة النفوذ

ويمكن الكشف عن وجود مجال كهربى عند نقطه ما بوضع جسم مشحون بشحنه موجبه صغيره وتسمى شحنة اختبار q فاذا تأثرت هذه الشحنه بقوه كهربيه هذا يعنى وجود مجال كهربى عندها

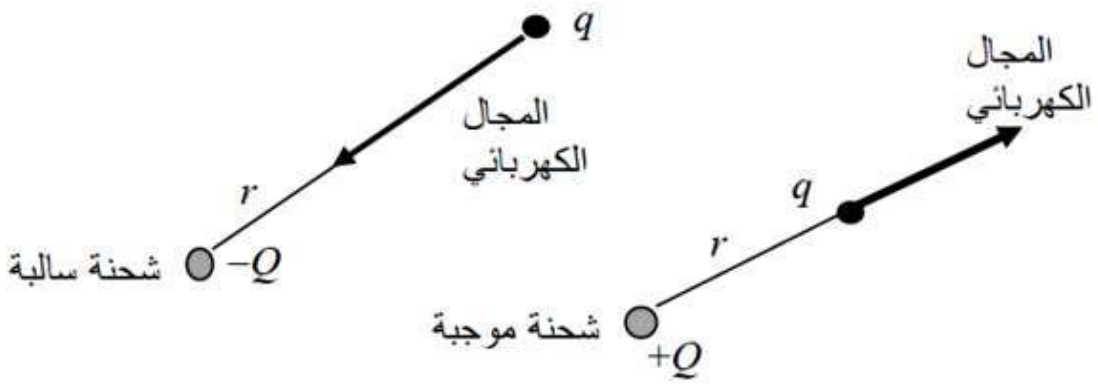
شدة المجال الكهربى

إصطلح على تعريف شدة المجال Eعند نقطه ما " بأنها القوه المؤثره على وحدة الشحن الموجبه الموضوعه عند هذه النقطه"

قاذا كانت لدينا شحنه Q تؤثر بقوه Fعلى شحنه q نفترض أنها صغيره لدرجه لا تؤثر على غيرها من الشحنات(ولهذا يطلق عليها اسم شحنة أختبار أوتجربيه) فأن شدة المجال الكهربىE للشحنه Q عند موقع q يعطى بالعلاقه

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

ويتجه المجال الكهربى E للشحنه Q بعيدا عنها اذا كانت موجبه ونحوها اذا كانت سالبه كما بالشكل (١)



شكل (١)

وحدة شدة المجال هى نيوتن/ كولوم (N/C)

شدة المجال الكهربى لشحنه نقطيه

اذا كان لدينا شحنه نقطيه Q فأننا نستطيع ايجاد قيمه شدة المجال الكهربى الناتج عنها عند نقطه تبعد عنها مسافه r بسهوله. فنفترض أنه توجد على بعد r شحنه تجريبه q ونحسب القوه الكهربيه المؤثره عليها نتيجة وجود Q كما يلى

$$F=k\frac{Qq}{r^2}$$

ومنها نحسب شدة المجال الكهربى كما يلى

$$E=\frac{F}{q}=\quad k\frac{Q}{r^2}$$

كما يمكن كتابة القوة الكهربية كما يلى

$$F=E.q$$

حيث نلاحظ منها أن للقوة وشدة المجال نفس الأتجاه اذا كانت الشحنه الأختباريه q موجبه بينما لهما اتجاهين متعاكسين اذا كانت الشحنه الأختباريه q سالبه

وحيث أن المجال عباره عن قوه فانه بذلك يكون كميه متجهه أى ان قيمته عند نقطه لابد وان تحدد مقدارا وأتجاها وتكون شدة المجال المؤثر عند نقطه عباره عن محصلة جميع المجالات عند هذه النقطه

مثال(١)

فى شكل (٢) إذ كانت $q_1= 12x10^{-9}C$ و$q_2= -12x10^{-9}C$ أحسب شدة المجال الناشئ عن هاتين الشحنتين عند النقط a,b,c علما بأن الوسط فراغ أو هواء

الحل

أولا عند النقطه a يكون E_1 الناشئ عن الشحنه q_1 متجها نحو اليمين وقيمته طبقا للمعادله

$$E_1=kq_1/r_1^2= 9x10^9(12x10^{-9})/(0.06)^2 = 3x10^4\ NC^{-1}$$

يكون E_2 الناشئ عن الشحنه q_2 متجها نحو اليمين وقيمته

$$E_2=kq_1/r_2^2= 9x10^9(12x10^{-9})/(0.04)^2= 6.75x10^4\ NC^{-1}$$

$$E_a= (E_1 +E_2)=(3+6.75)x10^4= 9.75x10^4\ NC^{-1}$$

نحواليمين

ثانيا عند النقطه b يكون E_1 الناشئ عن الشحنه q_1 متجها نحو اليسار وقيمته

$$E_1= 9x10^9(12x10^{-9})/(0.04)^2 =6.75x10^4\ NC^{-1}$$

يكون E_2 الناشئ عند b الناشئ الشحنه q_2 متجها نحو اليمين وقيمته

$E_2= 9x10^9(12x10^{-9})/(0.14)^2= 0.55x10^4\ NC^{-1}$

$E_b= (E_1 - E_2)=(6.75-0.55)x10^4= 6.20x10^4\ NC^{-1}$

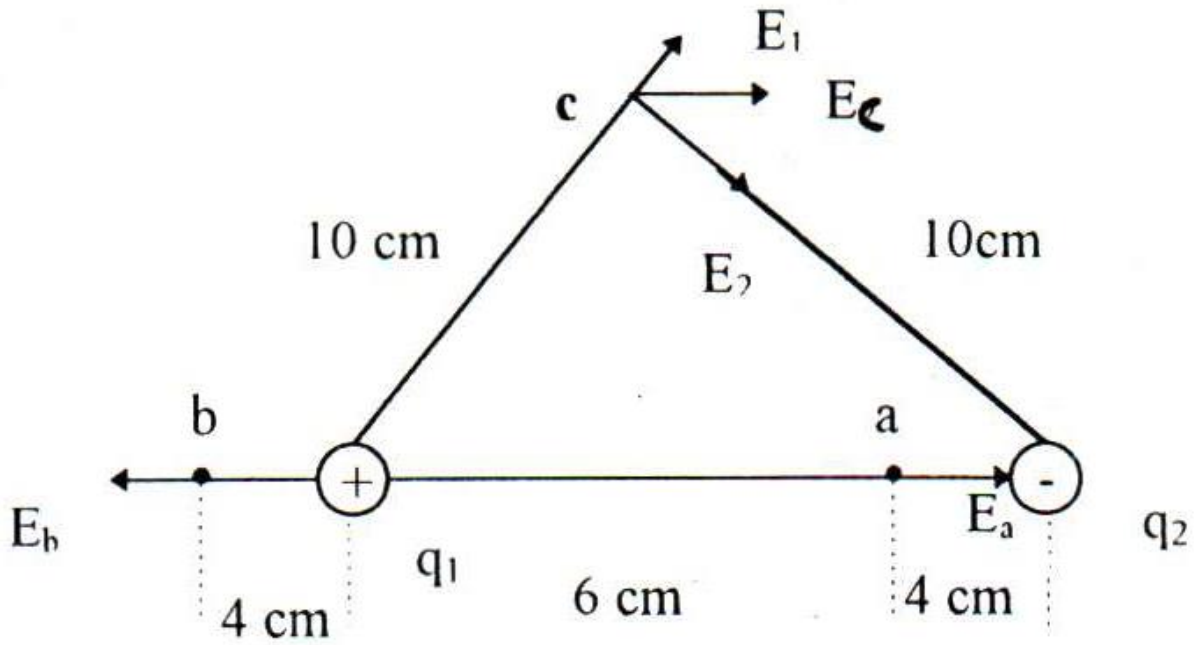
نجو اليسار

ثالثا: عند النقطه c تكون قيمة كل من E_1, E_2 متساويتان فى القيمه واتجاهما مبين بالشكل

$E_1= E_2 = 9x10^9(12x10^{-9})/(0.1)^2=1.08x10^4\ NC^{-1}$

$E_c=2E_1\cos\theta =2x1.08x10^4x0.05/0.1=1.08x10^4\ NC^{-1}$

وفى إتجاه اليمين موازيا للخط الواصل بين الشحنتين



شكل (٢)

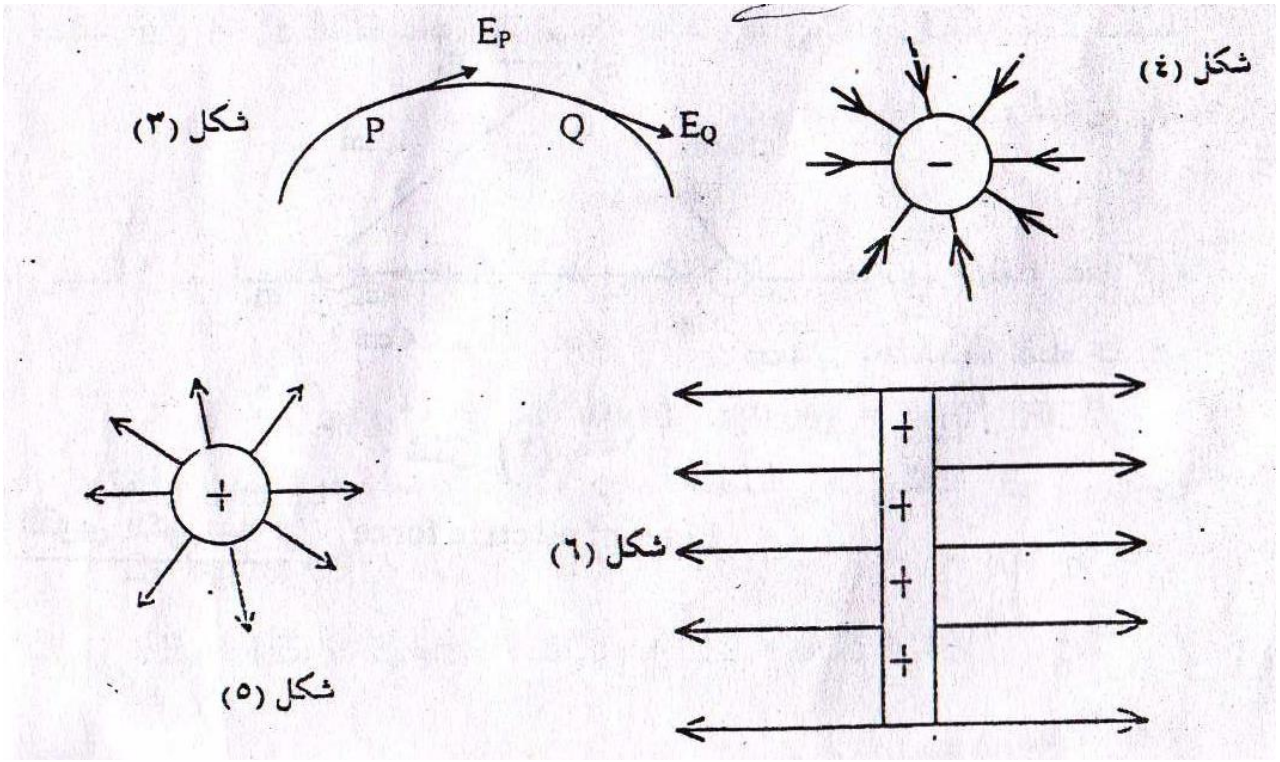
خطوط االفيض الكهربيه

خطوط االفيض الكهربيه عباره عن خطوط وهميه تستخدم لوصف المجال الكهربى مقدارا وإتجاها بحيث يكون المماس لخط القوه الكهربى عند أى نقطه ممثلا لاتجاه المجال عند هذه النقطه

وحيث أن إتجاه المجال يختلف على وجه العموم من نقطه إلى أخرى فإن خطوط القوى تكون على شكل منحنيات شكل (٣)

وخط الفيض الكهربى هو الخط الذى تسيرفيه شحنه موجبه وضعت فى المجال الكهربى وبناء على هذا التعريف تصدر خطوط الفيض الكهربيه من الشحن الموجبه وتنتهى عند الشحن السالبه

وفى شكل(٤) نرى رسما لخطوط الفيض الكهربيه لكره مشحونه بشحنه سالبه وفى شكل(٥) نرى رسما لخطوط الفيض الكهربيه لكره مشحونه بشحنه موجبه وفى شكل(٦) نلاحظ خطوط الفيض لشريط مستوى مشحون بشحنه موجبه وأما شكل(٧) يوضح خطوط الفيض لمزدوج قطبى والشكل (٨) يبين خطوط الفيض لشحنتين متساويتين موجبتين

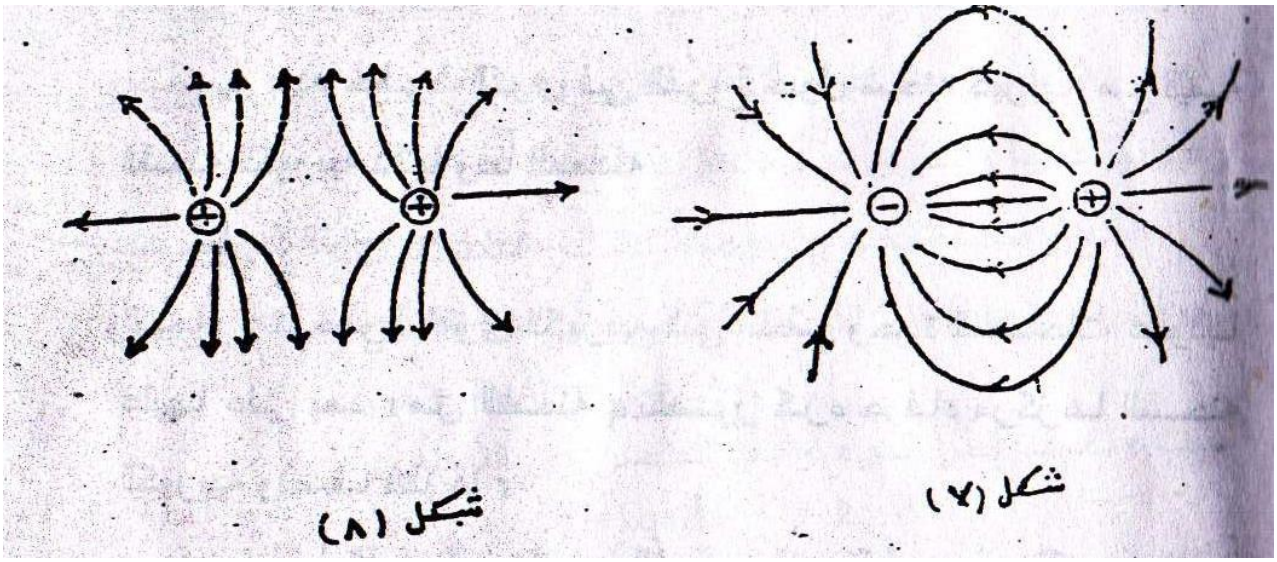


شكل (٣)

شكل (٤)

شكل (٥)

شكل (٦)



شكل (٧)

شكل (٨)

ويلاحظ فى خطوط الفيض ما يلى

١-عند أي نقطه يأخذ المجال إتجاها محددا ومن هنا فإن أى نقطه لايمكن أن يمربها إلا خط فيض واحد أى ان خطوط الفيض لايمكن أن تتقاطع

٢-عدد خطوط الفيض المخترقه عموديا وحدة المساحات (كثافة خطوط الفيض حول أي نقطه يتناسب مع شدة المجال عند هذه النقطه

خطوط الفيض تتقارب فى المناطق التى فيها المجال كبيرا (المنطقه بين الشحنتين المختلفتين) فى شكل (٧) وتتباعد حيث المجال صغير (بين الشحنتين المتشابهتين) فى شكل(٨) بينما خطوط الفيض تكون على شكل خطوط مستقيمه متوازيه وعلى أبعاد متساويه فى المجال المنتظم

وكما ذكرنا سابقا أن خطوط الفيض الكهربيه لا تمثل فقط إتجاه المجال ولكن كثافة هذه الخطوط عند نقطه ما تمثل أيضا شدة المجال عند هذه النقطه ولهذا فإن هناك تعريفا أخر لشدة المجال عند نقطه كما يلى" شدة المجال عند نقطه ما هى عدد خطوط الفيض التى تقطع وحدة المساحه عموديا عند هذه النقطة

الفيض الكهربى

فيما سبق تعلمنا كيف نحسب المجال الكهربي لشحنة نقطية مستخدمين فى ذلك قانون كولوم. يبقى شيء فى حالة وجود شحنة موزعة على أجسام ذات أحجام محدودة فإنه فى هذه الحالة يجب أن نقوم بحساب التكامل على كل الحجم أو السطح أو الطول.

ولذلك من الملائم عند إجراء حسابات المجال الكهربي استخدام مفهوم كثافة الشحنة. فقد تكون شحنة Q موزعة بانتظام على خط طوله L، و عندها يعبر عنها من خلال مفهوم الكثافة الخطية للشحنة، و التي تمثل كمية الشحنة الموجودة على وحدة الطول. و يرمز للكثافة الخطية للشحنة بالرمز λ، وتعطى بالمعادلة

$$\lambda = \frac{Q}{L}:$$

ووحدتها هي C/m.

و قد تكون الشحنة Q موزعة بانتظام على سطح مساحته A، و عندها يعبر عنها من خلال مفهوم الكثافة السطحية للشحنة و التي تمثل كمية الشحنة الموجودة على وحدة المساحة. و يرمز للكثافة السطحية بالرمز σ، حيث

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

و وحدتها C/m^2.

كما أن الشحنة Q قد تكون موزعة بانتظام خلال حجم V، و عندها يعبر عنها من خلال مفهوم الكثافة الحجمية للشحنة ، و التي تمثل كمية الشحنة الموجودة في وحدة الحجم و يرمز للكثافة الحجمية بالرمز ρ، حيث

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

و وحدتها C/m^3.

عادة عندما نتكلم عن شدة المجال الكهربى E فى اى نقطه فاننا نقصد عدد خطوط القوة الكهربيه فى وحدة المساحه التى تعبر سطحا عموديا على المجال الكهربى القريب من تلك النقطه وسوف نطلق على العدد الكلى لخطوط الفيض التى تعبر السطح بفيض المجال الكهربى ϕ

وعليه يمكن التعبير عن العلاقه بين فيض المجال الكهربى ϕ وشدته Eعلى النحو الاتى

فى حالة مجال منتظم

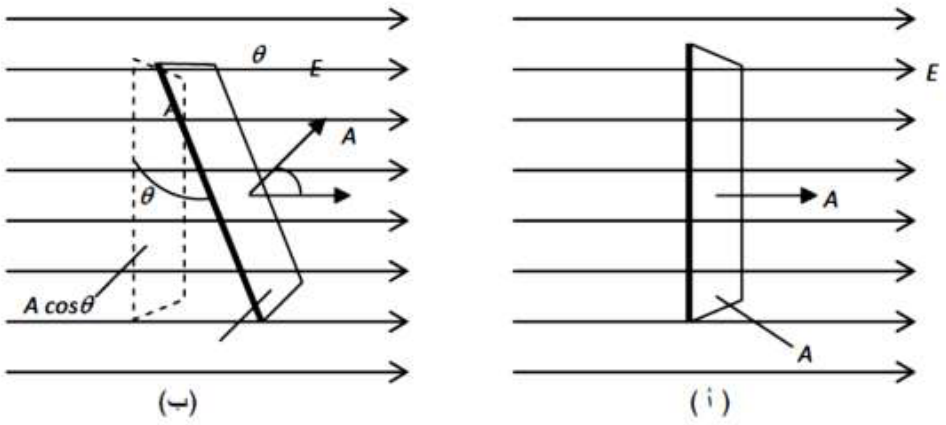
فى الشكل (٩أ) عندما يخترق مجال كهربائي منتظم E سطحاً مستوياً مساحته A باتجاه عمودي عليه، أي E، A متوازيان لأن كل منهما عمودي على السطح، فإن تدفق المجال الكهربائي ϕ من السطح يعطى بالمعادلة:

$$\phi = E\ A$$

أما إذا كان المجال E يصنع زاوية، θ مثلاً، مع متجه المساحة A، كما هو في الشكل (٩ب)، فإن الفيض يعطى بالمعادلة:

$$\phi = EA\cos\theta = \vec{E}.\vec{A}$$

و ذلك لأن المساحة الفعلية التي يسقط عليها المجال E بشكل عمودي هي A cos θ في هذه الحالة.



شكل (٩)

فى حالة مجال غير منتظم

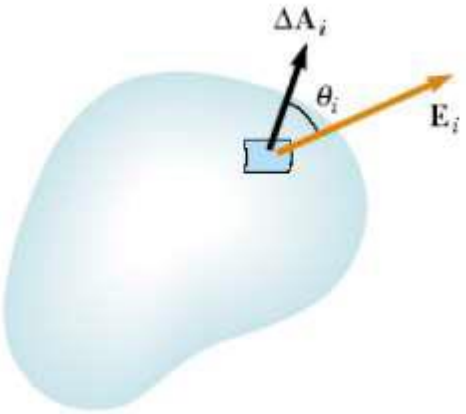
لتوضيح كيفية حساب الفيض في الحالة العامة لمجال غير منتظم يتدفق من سطح غير مستو، كما في **الشكل** (١٠) التالي.

في هذه الحالة، نجزئ السطح إلى عدد كبير جداً من الأجزاء، مساحة كل منها dA . ونجعل مساحة كل عنصر صغيرة للغاية، لدرجة أنه يمكن اعتبارها مستوية، كما يمكن اعتبار المجال E خلالها منتظماً. عندئذ فأنه يمكن التعبير عن عنصر فيض المجال الكهربى dϕ بالمعادله

$$d\phi = E\cos\theta\, dA$$

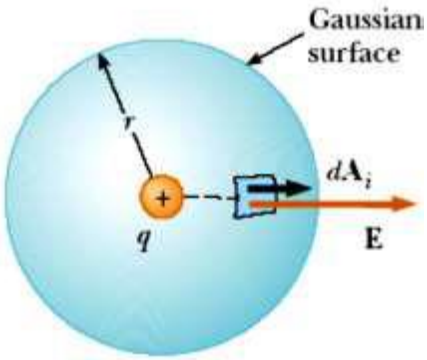
ويمكن حساب الفيض الكلى للمجال من السطح A باجراء عملية تكامل للمعادله فيصبح معادلة الفيض على النحو التالى

$$\phi = \oint E\cos\theta\, dA$$



شكل (١٠)

ولحساب عدد خطوط الفيض العموديه $d\phi$ التى تقطع المساحه dA من سطح غلاف كروى نصف قطره r وتقع في مركزه شحنه موجبه كما بالشكل(١١)



شكل (١١)

$E=kq/r^2$

وبما أن المجال عمودى على أى نقطه على السطح لذا يمكن حساب الفيض الكهربى من العلاقه

$\phi=E.A=(kq/r^2)(4\pi r^2)=4\pi kq$

وعادة ما يعبر عن الثابت k بثابت أخر هو النفاذيه الكهربيه للفراغ ε_o

$\varepsilon_o=1/4\pi k=8.85x10^{-12}\quad C^2/N.m^2$

لذا يمكن التعبير عن الفيض الكهربى بالعلاقه

$\phi=4\pi kq=q/\varepsilon_o$

واضح أن عدد خطوط القوى لا تتوقف على نصف قطر الكره مما يدل على تساوى خطوط الماره بجميع الكرات الماره التى تقع في مركزها المشحونه

قانون جاوس

يعتبر هذا القانون من القوانين الأساسيه والبسيطه فى مجال الكهرباء الساكنه فهومن الطرق البسيطه والسهله التى نحصل بها على شدة المجال خارج موصل مشحون

يمثل هذا القانون العلاقه بين فيض المجال الكهربى خلال سطح افتراضى وقيمة الشحنه الكلية التى يحتويها هذا السطح داخله. ويعتمد أساسا على مفهوم الفيض الكهربى الناتج من المجال الكهربى او الشحنه الكهربيه. وكما ذكرنا سابقا بأنه يمكن التعبير عن الفيض الكهربى لأى سطح مغلق يحتوى على شحنه كليه بالعلاقه

$$\phi = \oint E\cos\theta\, dA = q/\varepsilon_o$$

أو العلاقه

$$\phi = q/\varepsilon_o$$

ومن هنا نجد

$$\oint E\cos\theta\, dA = q/\varepsilon o$$

وتعرف هذه المعادله **بقانون جاوس** الذى ينص على أن

"التكامل السطحى للمركبه العموديه لشدة المجال الكهربى على سطح مفترض مغلق يساوى القيمه الاجماليه للشحنه المحتواه داخل السطح المغلق مقسوما على سماحية الفراغ" أو بتعبير أخر" الفيض العمودى الكلى خلال سطح مغلق والناتج عن شحنه مقدارها q داخل هذا السطح يساوى $4\pi kq$"

ووإذا إحتوى السطح المغلق عددا من الشحن q_1 , q_2 , q_3 فان الفيض الكلى العمودى أى عددخطوط القوى التى تخترق عموديا على السطح المغلق كله

$$\phi=4\pi kq_1+ 4\pi kq_2+ 4\pi kq_3+\ldots\ldots\ldots$$

$$\phi=4\pi k(q_1+ q_2+ q_3+\ldots\ldots\ldots)$$

$$\phi=4\pi k\ \Sigma q \qquad (1)$$

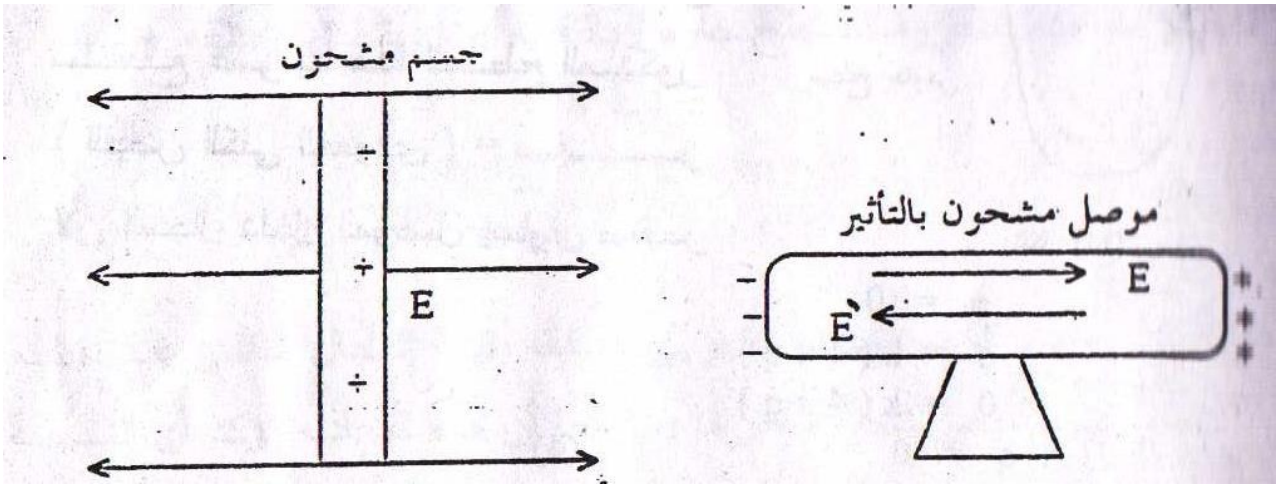
حيث Σq هو المجموع الجبرى للشحنات الموجوده داخل السطح المغلق من ذلك نرى أنه أذا إنعدمت الشحنه داخل السطح المغلق فإن الفيض الكهربى عليه ينعدم كذلك ينعدم الفيض الكهربى العمودى على سطح موصل مغلق إذا وجدت الشحنه خارج هذا السطح

تطبيقات على قانون جاوس

توزيع الشحنات على الموصلات

ولقد ثبت عمليا من تجارب فارادى أن الشحنه تستقر عادة على السطوح الخارجيه للموصلات . ومعنى هذا ان المجال داخل الموصل يساوى صفرا ولتوضيح ذلك نفرض أننا وضعنا موصلا معدنيا غير مشحون بالقرب من

جسم مشحون مجاله الكهربى منتظم فأن الموصل يكتسب شحنه تأثيريه كما بالشكل(١٢).



شكل (١٢)

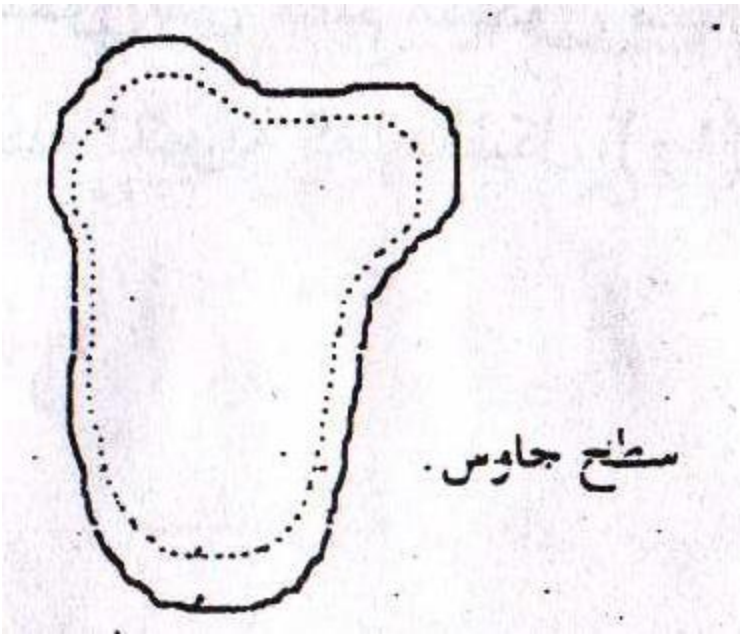
وسبب ظهور هذه الشحنه التأثيريه على كل من طرفى الموصل هو أن الموصل المعدنى يحتوى على الكترونات حره الحركه وهذه بالتالى تتأثر بالمجال E وتتحرك فى اتجاه مضاد للمجال حتى تصل الى طرف الموصل ويترتب على ذلك ظهور شحنه سالبه عند هذا الطرف وشحنه موجبه عند الطرف المقابل . وهاتان الشحنتان التأثيريتان متساويتان مقدرا ومختلفتان فى النوع وتستقر الشحنتان المذكورتان وتصلان الى حالة السكون والاستقرار وهذا معناه أن الشحنتين التأثيرتين لا يتزايدان ولا يتحركان نظرا لاختفاء القوه المتحركه لهما.

∴ المجال داخل الموصل أصبح صفرا وهذا لا يحدث الا اذا كان المجال É الناشئ فى الاتجاه المضاد بواسطة الشحنتين التأثيريتين يساوى المجال E المؤثر

∴ المجال داخل الموصل

$$E-É=0$$

والأن لو تخيلنا موصلا مشحونا كما بالشكل(١٣) ورسمنا داخل هذا الموصل غلافا وهو يمثل سطح جاوس فاننا طبقا لقانون جاوس نستنتج أن عدد



شكل (١٣)

خطوط القوى التى ستقطع عموديا هذا السطح المذكور (الفيض الكلى العمودى) = صفر لأن المجال داخل الموصل = صفر

$\phi=0$

$\phi=k(4\pi q)$

$0=k(4\pi q)$

$q=0$

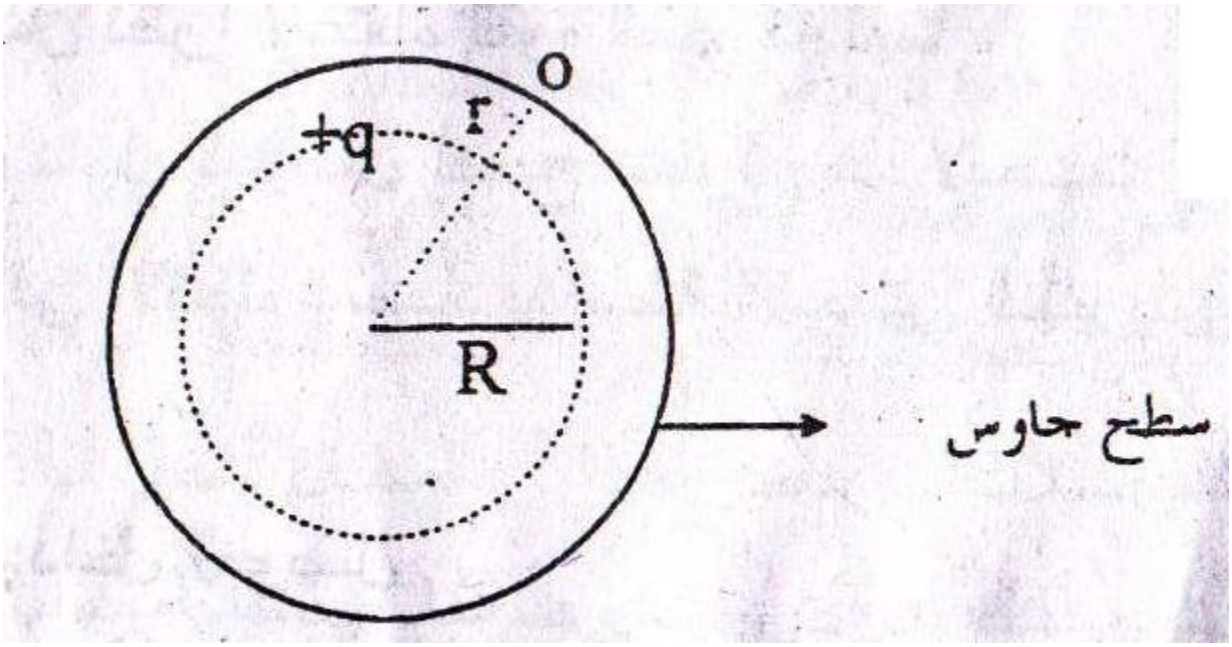
∴ الشحنه داخل الموصل = صفر رغم أن الموصل مشحون

وبهذا فلابد أن تستقر الشحنه على السطح الخارجى للموصل وليس داخله وهذا ما يثبت عمليا من تجارب فارادى

واذا رسمنا سطح جاوس خارج الموصل فان شدة المجال عند هذا السطح لن تساوى صفرا

شدة المجال الناشئ عن كره مشحونه

نفرض كما بالشكل (١٤) نقطه مثل o وعلى بعد r من مركز كره مشحونه نصف قطرها R وشحنتها q+ موزعه بأنتظام على سطحها ن نظرا لتماثل الكره.



شكل (١٤)

ولإيجاد شدة المجال E عند o نتصور رسم غلاف كروى خارجى يمر سطحه المعروف بسطح جاوس بالنقطة o وبنطبيق العلاقه (١)

$$\phi=4\pi k\ \Sigma q$$

$$Ex4\pi r^2=k(4\pi q)$$

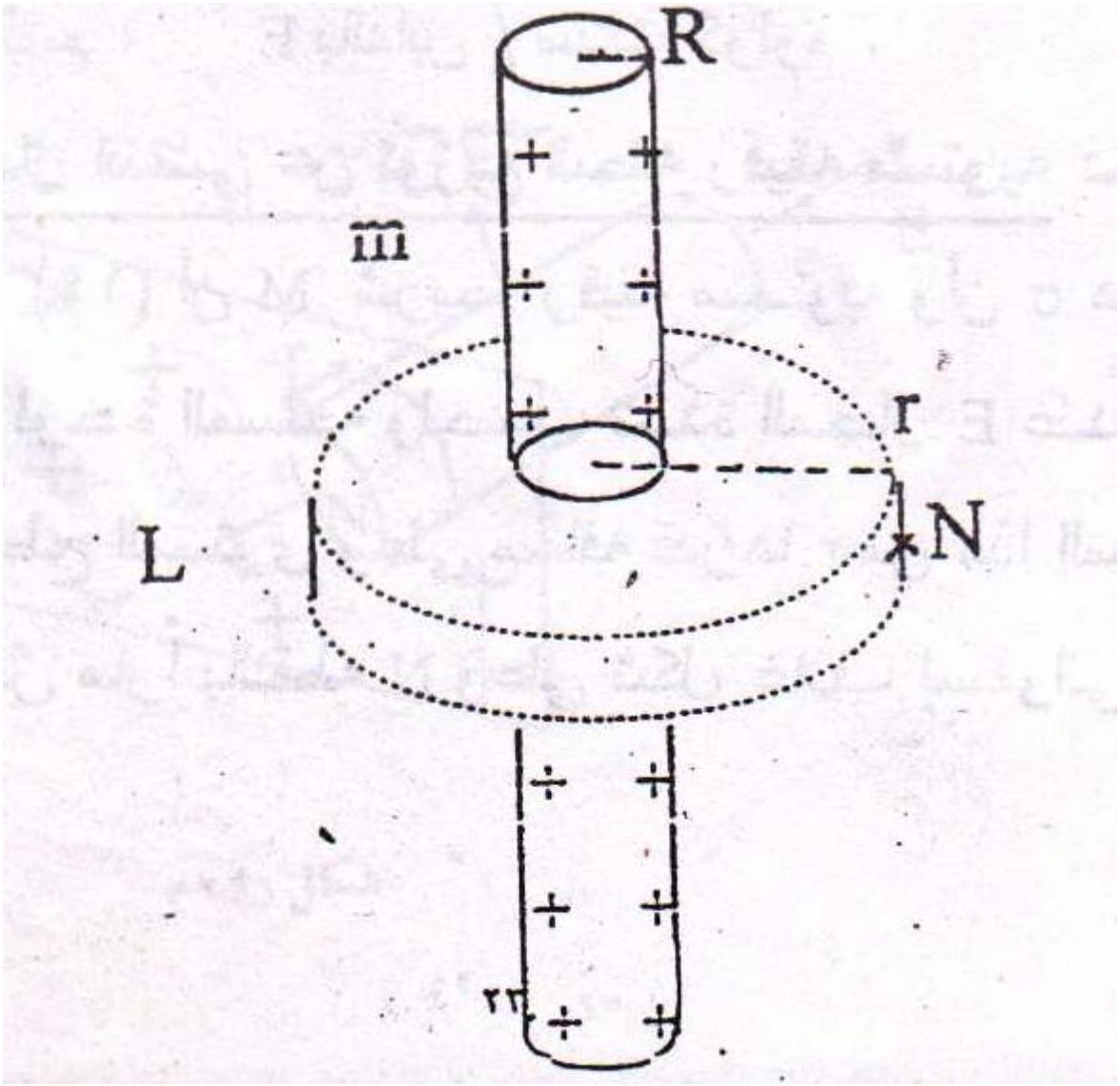
$$E=kq/r^2$$

وهذه القيمه للمجال الكهربى مطابقه بقيمه المجال الناشئ عند نقطه تبعد مسافه r من شحنه مقدارها q . كما أن هذه المعادله تؤكد أن الشحنه q تعمل كما كانت مركزه فى المركز بينما هى منتشره على السطح الخارجى للكره وشدة

المجال عند سطح الموصل الكهربى هى $E=kq/R^2$ وشدة المجال عند أى نقطه داخل الكره $r > R$ تساوى صفر$(E=0)$ حيث أن الشحنه مستقره على السطح

شدة المجال بالقرب من موصل اسطوانى طويل مشحون

نفرض كما بالشكل (١٥) ان m اسطوانه طويله مشحونه نصف قطرها R ونفرض أن الشحنه على وحدة الأطوال من هذه الاسطوانه هى σ ومعنى هذا أن الطول L من الاسطوانه المذكوره يحمل شحنه قدرها σL



شكل (١٥)

ولايجاد شدة المجال عند النقطه N خارج الاسطوانه وعلى بعد r من محورها نتخيل سطح جاوس على هيئة غلاف اسطوانى طوله L ونصف قطره r ومتحد المحور مع الاسطوانه m وبذلك تقع النقطه Nعلى سطح جاوس وبأهمال الطرفين العلوى والسفلى للأسطوانه m نظرا لانها طويله وحيث أن خطوط المجال الكهربى عموديه على محور الموصل المشحون وهى بذلك موازيه قاعدتى الاسطوانه الصغيره ويكون الفيض الكهربى على سطح هذه الاسطوانه موازيا قاعدتيهما وعموديا على السطح المنحنى للاسطوانه

$$\phi=4\pi k\ \Sigma q$$

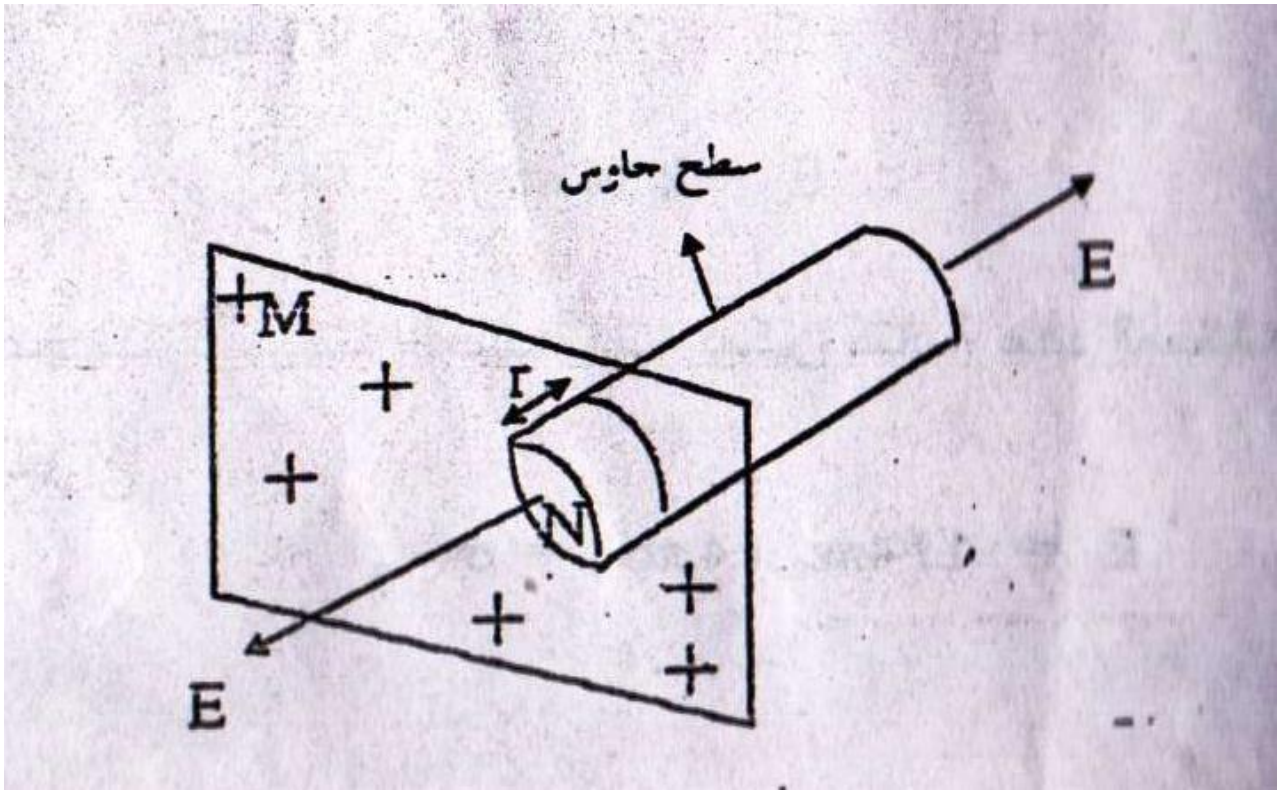
$$Ex2\pi rL=k(4\pi\sigma L)$$

$$E=k(2\sigma /r)$$

هذه النتجه الأخيره لا تتوقف على نصف قطر الموصل R المشحون نفسه وهى بذلك صحيحه لسلك رفيع مشحون فاذا استخدمنا k بالوحدات العمليه فان σ بالكولو/مترو r بالمترو E نيوتن/ كولوم.

شدة المجال الناشئ عن توزيع شحنه رقيفه مستويه

نفرض كما بالشكل(١٦) أن شريحه M رقيقه مستويه وأن σ هى كثافة شحنتها أى الشحنه لوحدة المساحه ولحساب شدة المجال Eعند النقطه N التى تقع خارج السطح المستوى وعلى مسافه قدرها r من هذا السطح فإننا نتصور سطح جاوس مارا بالنقطه N وعلى شكل غلاف إسطوانى مساحة مقطعهA بحيث تمر إحدى قاعدتيه بالنقطه N بينما تظهر القاعده الأخرى فى الجانب الأخر للشريحه المستويه.



شكل (١٦)

يتضح أن إمتداد المستوى المشحون لما لانهايه يوفر شرط تعامد الفيض الكهربى عليه وبالتالى فإن الفيض الكهربى على جوانب الغلاف الاسطوانى نفسه يكون منعدما حيث أنها جميعا موازيه لاتجاه المجال الكهربى ولا يكون هناك سوى الفيض الكهربى على قاعدتى الغلاف الإسطوانى الموازيتين لمستوى الموصل نفسه وبتطبيق قانون جاوس

$$\phi = kx4\pi \Sigma q$$

$$Ex2A = k(4\pi \sigma A) \therefore E = k(2\pi \sigma) \qquad (2)$$

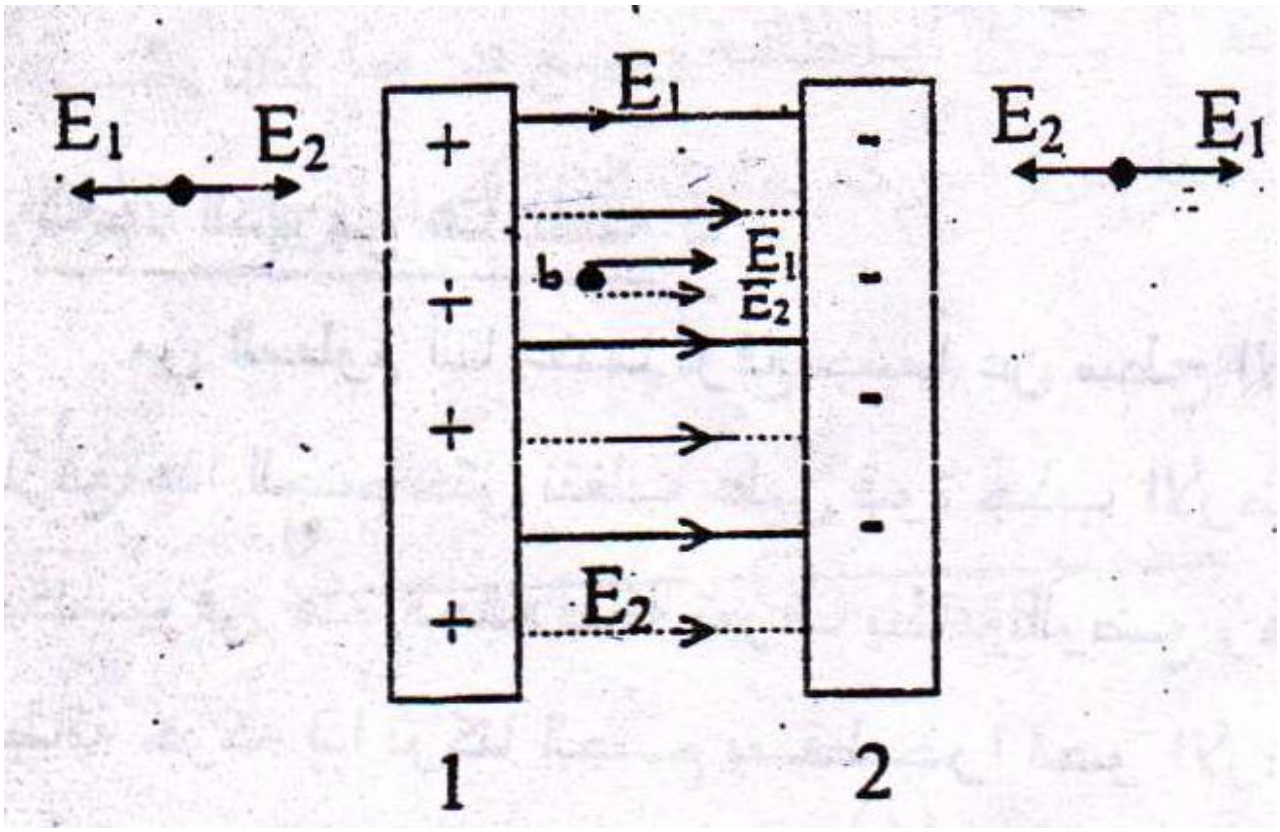
وفى إتجاه عمودى على السطح المشحون بعيدا عنه فى حالة الشحنه الموجبه وفى إتجاه السطح فى حالة الشحنه السالبه

ويتضح من هذه المعادله أن شدة المجال E لا تتوقف على المسافه r بين اللوح والنقطه N ولكنها تتوقف على كثافة الشحنه σ على اللوح ويسمى مثل

هذا بالمجال المنتظم وهو المجال الذى لا يتغير بتغير المسافه ويمثل بخطوط فيض متوازيه

شدة المجال بين لوحين متوازيين

نفرض لوحين متوازيين احداهما رقم(١) مشحون بشحنه موجبه والأخر رقم(٢) مشحون بشحنه سالبه كما بالشكل(١٧)



شكل (١٧)

ونفرض أن σ هى كثافة الشحنه لوحدة المساحات لكل من اللوحين وبذلك تكون شدة المجال المنتظم على يمين اللوح(١) هى E_1+وعلى يساره E_2 - وطبقا للمعادله(٢) فإن

$$E_1=k(2\pi\sigma)$$

وأما اللوح (٢) فسوف تكون شدة على يمينه E_2 - وعلى يساره E_2+ أى عكس إتجاه مجال اللوح الاول مع ملاحظة أن $E_1=E_2$

وفى حالة وجود اللوحين معا تكون شدة المجال على يسار اللوح(١)

$- E_1+E_2=0$

وشدة المجال على يمين اللوح(٢)

$+ \ E_1-E_2=0$

ويمكن إيجاد شدة المجال عن أى نقطه بين اللوحين b بإيجاد محصلة شدتى المجال الناشئين عن اللوح الأيسر واللوح الأيمن مع إعتبار أن الشحنه على كل لوح شحنه مستويه وحيث أن E_1 , E_2 متساويتان $k(2\pi\sigma)$ وفى نفس الإتجاه فإن شدة المجال Eعند أى نقطه بين اللوحين

$E=+E_1 +E_2 =2E_1 =2xk(2\pi\sigma)$

$\therefore E= k(4\pi\sigma)$

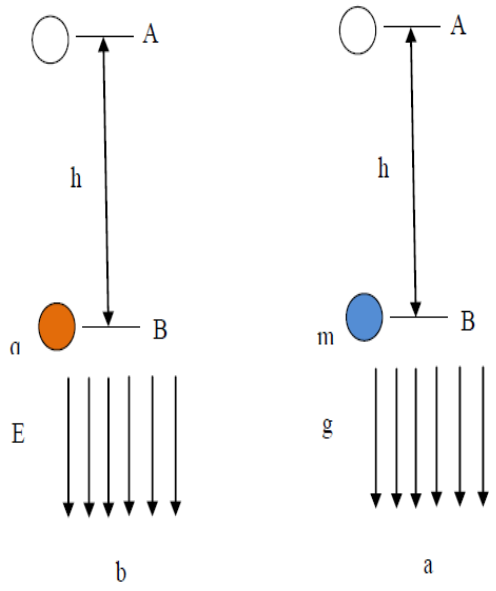
واذا إستخدمنا الوحدات العمليه فإنه يمكن كتابة هذه المعادله بالصوره التاليه للفراغ

$E= 1/4\pi\varepsilon_o(4\pi\sigma)= \sigma/\varepsilon_o$

حيث ε_o معامل سماح الفراغ σ كثافة الشحنه بالكولوم/ متر^{٢} و E شدة المجال بالنيوتن / كولوم

الجهد الكهربى وفرق الجهد

عند رفع جسم كتلته m من النقطة B إلى النقطة A في مجال الجاذبية الأرضية g على ارتفاع h من الأرض فإنه يكتسب مقداراً من طاقة الوضع (يساوي mgh)، ويكتسب الجسم طاقة الوضع هذه نتيجة لوضعه بالنسبة للأرض، على ارتفاع h من سطحها (شكل ١-a). و بالمثل عند وضع شحنة كهربائية q في مجال كهربائي E فإن الشحنة تكتسب مقداراً من الطاقة يعتمد على وضعها بالنسبة لما حولها من شحنات، يسمى باسم طاقة الوضع الكهربائية (Electric potential energy) (شكل ١-b). و كما أن الجسم في مجال الجاذبية يحصل على طاقته الوضعية من الشغل الميكانيكي الذي بذل في رفعه إلى مكانه على ارتفاع h، فإن الشحنة كذلك تحصل على طاقتها الوضعية من الشغل المبذول في تحريكها ووضعها في مكانها داخل المجال الكهربائي. ومثلما يتحرك الجسم محولاً طاقته الوضعية إلى طاقة حركية عندما يتحرك حراً في مجال الجذب الأرضي، فإن الشحنة كذلك تتحرك محولة طاقتها الوضعية إلى حركية في المجال الكهربائي. وتسمى طاقة الوضع الكهربائية التي تمتلكها وحدة الشحنة باسم الجهد الكهربائي (electric potential)، ويرمز للجهد الكهربي بالرمز V.



شكل (١)

فرق الجهد بين نقطتين

ولايجاد فرق الجهد بين نقطتين A,B داخل مجال كهربى منتظم شكل (٢) لابد أولا من حساب الشغل المبذول ضد القوه الكهربيه لنقل وحدة شحنة الاختبار الموجبه q_o من A إلى B ويعرف فرق الجهد بين النقطتين A,B بأنه الشغل المنجز W_{AB} لوحدة الشحنه أى

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

ولذلك يكون تعريف فرق الجهد الكهربي بين نقطتين A&B واقعتين في مجال كهربي شدته Eبـ :

بالشغل الازم لنقل وحدة الشحنات الموجبة بين هاتين النقطتين عكس المجال الكهربى ووحدته هى القولت(جول/ كولوم)

ويكون الشغل المبذول على للشحنه أثناء انتقالها من A إلى B مساوياً W_{AB} حيث:

$$dW_{AB} = F.d = Fd\,cos\theta$$
$$= Fd\,cos0 = Fd$$

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

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

ويمكن كتابة هذه المعادلة على النحو التالي:

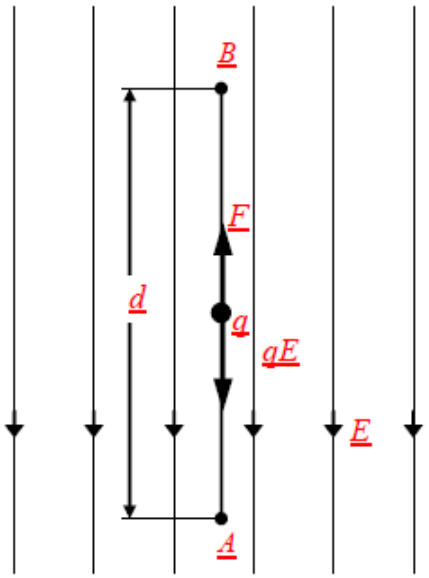
$$E = \frac{V}{d}$$

وهذة المعادلة تبين العلاقة بين فرق الجهد والمجال الكهربى كحالة خاصة فى حالة وجود مجال كهربى منتظم . ووحدة قياس المجال هنا (فولت / متر) وهى تساوى (نيوتن لكل كولوم) .

ولقياس الجهد الكهربى عند أى نقطه اتفق أن يكون جهد النقاط البعيده جدا عن الشحنات مساويا الصفر. وفى حالتنا لوأخترنا النقطه A فى المالانهايه لاصبح الجهد V_A مساويا الصفر. وبالتعويض فى المعادله السابقه نحصل على الجهد الكهربى عند النقطه B حيث

$$V_B = \frac{W}{q_o}$$

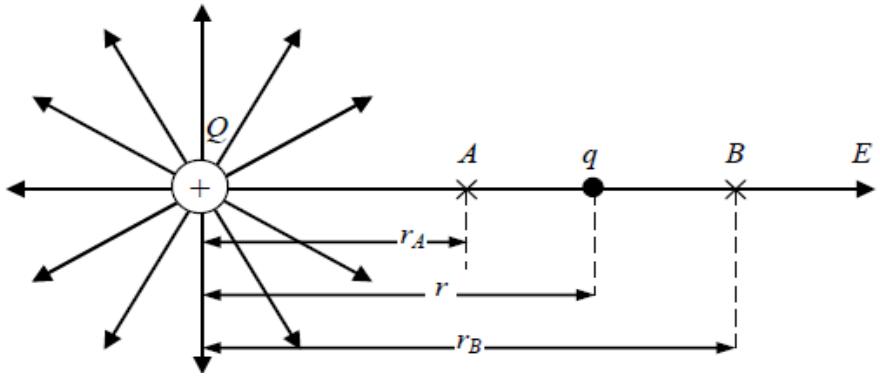
أذن تعريف الجهد الكهربى عند أى نقطه ما هو عباره عن الشغل المبذول لوحدة الشحنه لنقل شحنه اختباريه موجبه صغيره من مالانهايه الى تلك النقطه.



شكل (٢)

الجهد الكهربي لنقطة مشحونة

لإيجاد فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين، مثل A, B واقعتين في المجال الكهربائي E لشحنة نقطية Q، على امتداد الخط المار في مركز الشحنة شكل(٣)،



شكل (٣)

يعطى المجال الكهربائي E لشحنة نقطية موجبة Q عند أية نقطة (على بعد r منها) بالمعادلة:

$$E = k\frac{Q}{r^2}$$

فرق الجهد بين النقطتين B,A (الواقعتين على بعد r_A, r_B من الشحنة Q، حيث $\theta = 0$ يعطى بالعلاقة

$$V_A - V_B = -\int_B^A E\cos\theta dr - \int_{r_B}^{r_A} E dr$$

$$= -kQ\int_{r_B}^{r_A}\left(\frac{1}{r^2}\right).dr = -kQ\int_{r_B}^{r_A}\frac{dr}{r^2}$$

و بالتالي يصبح الجهد V_{BA} مساوياً:

$$V_A - V_B = kQ\,\frac{1}{r}\Big|_{r_B}^{r_A} = kQ\left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right)$$

$$V_A = k\frac{Q}{r_A}$$

$$V_B = k\frac{Q}{r_B}$$

وهذا يمثل الجهد عند أى نقطه

الجهد الكهربي لمجموعة من الشحنات النقطية

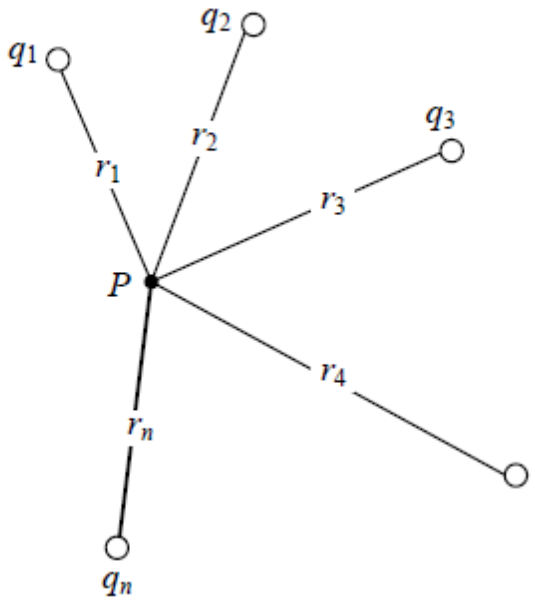
حساب الجهد الناتج عن عدد n من الشحنات النقطية عند نقطة مثل P، كما في الشكل (٤)، نحسب الجهد الناتج عن كل شحنة على حدة، متجاهلين وجود الشحنات الأخرى، ثم نجمع قيم هذه الجهود جمعاً جبرياً بسيطاً، لأن الجهد كمية قياسية (غير متجهة)، فنحصل على الجهد الكهربائي عند النقطة المطلوبة.

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

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

أي أن:

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



شكل (٤)

مثال (١)

شحنه $q_1 = 3x10^{-9}C$ تحركت من النقطه a الى النقطه b فى خط مستقيم مسافه $d=0.5m$ فى مجال منتظم شدته $E=200NC^{-1}$

إحسب القوه المؤثره على الشحنه وفرق الجهد V_{ab}

الحل

$F=qE = 3x10^{-9}x200 = 600x10^{-9}$ N

وفى نفس إتجاه المجال

الشغل W الذى يبذله المجال

$W= Fd=600x10^{-9}\ x0.5= 300x10^{-9}\ J$

$V_{ab}= W/q=300x10^{-9}/3x10^{-9}=100JC^{-1}= 100V$

او بطريقة التعريف

الشغل المبذول على وحدة الشحن لتحريكها من a الى b

$V_a - V_b$ يساوى حاصل ضرب القوه المؤثره على وحدة الشحن (أى شدة المجال E) فى المسافه d

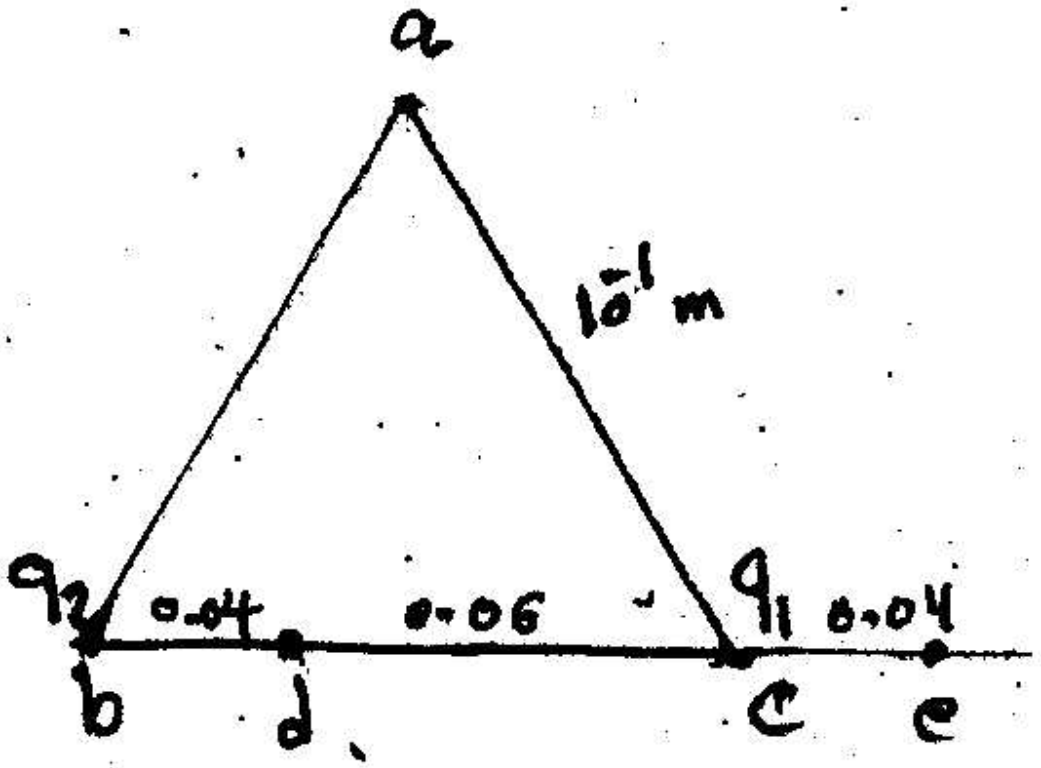
$V_a - V_b= Ed= 200x0.5=100V$

<u>مثال(٢)</u>

مثلث abc متساوى الاضلاع طول ضلعه $10^{-1}m$ وضعت الشحنتان

$q_1= 12x10^{-9}C$, $q_2= -12x10^{-9}C$ عند الرأسين b,c على الترتيب

شكل (٥)



شكل (٥)

إحسب جهد النقاط الأتيه

١-d على الضلع bc وعلى مسافه $4x10^{-2}m$ من b

٢-e على إمتداد الضلع bc وعلى مسافه $4x10^{-2}m$ من c

٣-a رأس المثلث

<u>الحل</u>

$V_d= k\Sigma q_i/ r_i= 9x10^9[(12x10^{-9}/0.06) –(12x10^{-9}/ 0.04)]=$

$-900V$

$V_e= k\Sigma q_i/ r_i= 9x10^9[(12x10^{-9}/0.04) –(12x10^{-9}/ 0.14)]=1930V$

$V_a = k\Sigma q_i / r_i = 9x10^9[(12x10^{-9}/0.1) - (12x10^{-9}/0.1)] = 0\ V$

الجهد الناشئ بين لوحين منوازين

لإيجاد فرق الجهد بين النقطتين a,b فى الشكل(٦) فإن القوه F المؤثره على شحنه q تساوى qE والشغل المبذول على الشحنه بإنتقالها من a إلى x

$W_{ax} = Fx = Eqx, \quad V_a - V_x = W_{ax}/q = Ex, \quad \therefore V_x = V_a - Ex$

أى أن فرق الجهد يتغير خطيا مع وضع النقطه x

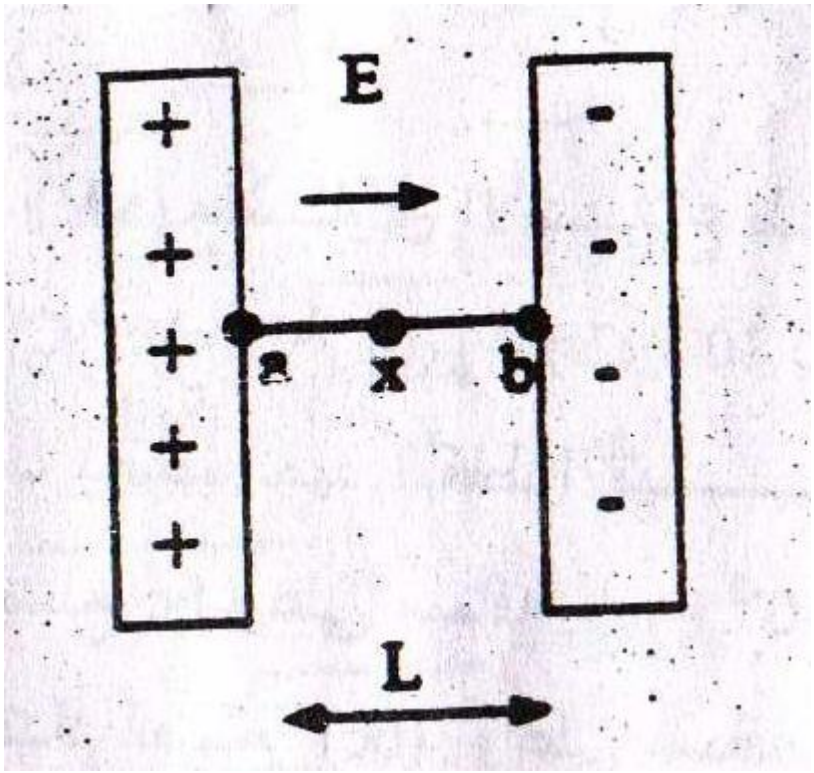
فرق الجهد بين اللوحين أى بين النقطتين a,b أى عندما x=L

$V_b = V_a - EL \qquad \therefore V_a - V_b = EL$

أى ان شدة المجال الكهربى بين لوحين متوازين معزولين بينهما مسافهL ومشحونين بشحنتين مختلفتين

$E = V_{ab}/L$

أى أن المجال يساوى فرق الجهد مقسوما على المسافه وهى معادله ذات أهميه لأنها تعطى قيمة المجال وذلك بقياس فرق الجهد بواسطة فولتميتر ولكن من الصعب قياس الكثافه السطحيه للشحنه

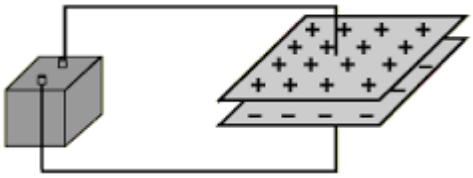


شكل (٦)

المكثفات

المكثف الكهربى هو جهاز يستخدم فى تخزين الشحنات الكهربيه

يتكون المكثف الكهربى من لوحين من ماده موصله بينهما ماده عازله كما هو مبين بالشكل(١) ويتحدد نوع المكثف على حسب الماده العازله المستخدمه



شكل (١)

فى صناعته فاذا كانت الماده العازله الموجوده بين لوحى المكثف هى الهواء فيطلق على المكثف فى هذه الحاله اسم المكثف الهوائى واذا كانت مصنوعه من مادة البلاستيك سمى مكثف بلاستيك واذا كانت الماده العازله من الميكا أطلق على المكثف اسم مكثف ميكا واذ كانت الماده العازله من السيراميك اطلق على المكثف اسم المكثف السيراميك اما اذ استخدم محلول كيماوى كماده عازله بين لوحى المكثف اطلق على المكثف اسم المكثف الكيماوى

كل مكثف له سعه معينه تعتمد على الشكل الهندسى للمكثف وعلى الماده العازله التى تفصل بين الموصلين

عند شحن مكثف بشحنه كهربيه q فيتولد بين لوحيه فرق جهد V وتكون سعة المكثف عباره عن مقدار الشحنه على كل موصل مقسوما على فرق الجهد بينهما

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

وحيث ان المجال منتظما وموازيا لمسار الشحنه $V=E.r$

وشدة المجال الكهربى بين اللوحين تعطى

$$E=k\frac{Q}{r^2}$$

$$\therefore\ V=k\frac{Q}{r}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\ \frac{Q}{r}$$

حيث r المسافه بين لوحين المكثف

من المعادلات السابقه يمكن استنتاج قيمة السعه C

$$C=4\pi\varepsilon_0 r$$

ما سبق يعنى ان سعة المكثف تعتمد على

١-أبعاد لوحى المكثف ٢- الوسط العازل بين اللوحين

وحدة قياس سعه المكثف هى (الفاراد= كولوم/ فولت)

أنواع المكثف

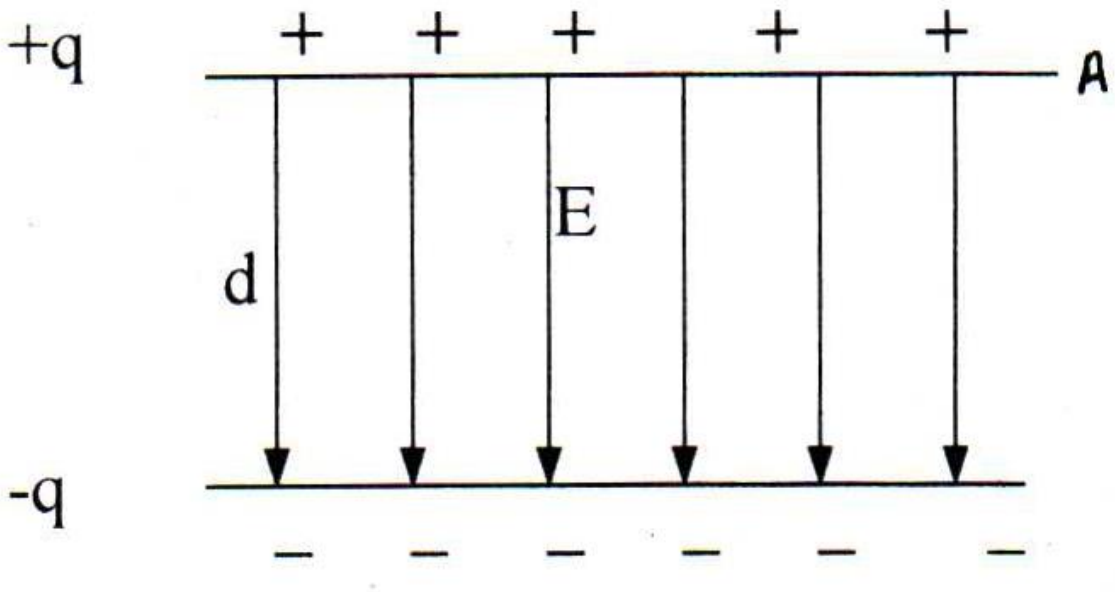
١--المكثف متوازى اللوحين

٢-المكثف الكروى

٣-المكثف الاسطوانى

سعة المكثف المتوازى اللوحين

وهذا النوع من المكثفات واسع الأنتشار يتكون كما بالشكل (٢) من لوحين متوازين مساحة كل منها A والمسافه بينهما d وشحنة إحدهما q + وشحنته الأخرى q- وذلك بتوصيلها بقطبى بطارية تعطى فرقا فى الجهد بينهما قدره V وحيث ان شدة المجال المنتظم بين اللوحين



شكل (٢)

$E=V/d$ (1)

وحيث ان شدة المجال بين لوحين متوازيين

$E=k(4\pi\sigma)=k(4\pi q/A)$ (2)

لأن σ هى الشحنه لوحدة المساحه وتساوى q/A وبمساواة طرفى المعادلة فى (2و1) فان

$V=k(4\pi qd/A)$

وحيث أن $C=q/V$

$\therefore \quad C = A/k(4\pi d) \quad (3)$

وهى سعة المكثف ذو اللوحين المتوازين أى ان سعة المكثف تتناسب طرديا مع مساحة اللوح وعكسيا مع المسافة بين اللوحين

وباستخدام الوحدات العملية فى المعادلة(3) فانها تأخذ الصورة التالية

أ-فى حالة الفراغ / $k=1/4\pi\varepsilon_o$ حيث ε_o معامل سماح الفراغ

$$C_o = \varepsilon_o A/d \qquad (4)$$

حيث C_o السعة فى حالة وجود فراغ بين اللوحين

ب-فى حالة وضع عازل يملا الفراغ بين اللوحين فان $k=1/4\pi\varepsilon_o\varepsilon$ حيث ε ثابت عزل المادة

$$C = \varepsilon\varepsilon_o A/d \quad (5)$$

حيث C السعة فى حالة وجود العازل بين اللوحين

وفى المعادلتين (4, 5) تكون السعه بالفاراد والمساحه بالمتر المربع والمسافه بالمتر. وحده عمليه $\varepsilon_o=8.85x10^{-12}$

وبمقارنة هاتين المعادلتين فان

ثابت العزل ε = السعة فى حالة وجود الماده/السعة فى حالة وجود الفراغ

$\therefore \quad \varepsilon = C / C_o$

وبهذا فأن ثابت العزل ε نسبه ليس لها ابعاد

سعة مكثف كرى كرته الداخليه مشحونه والخارجيه متصله بالارض

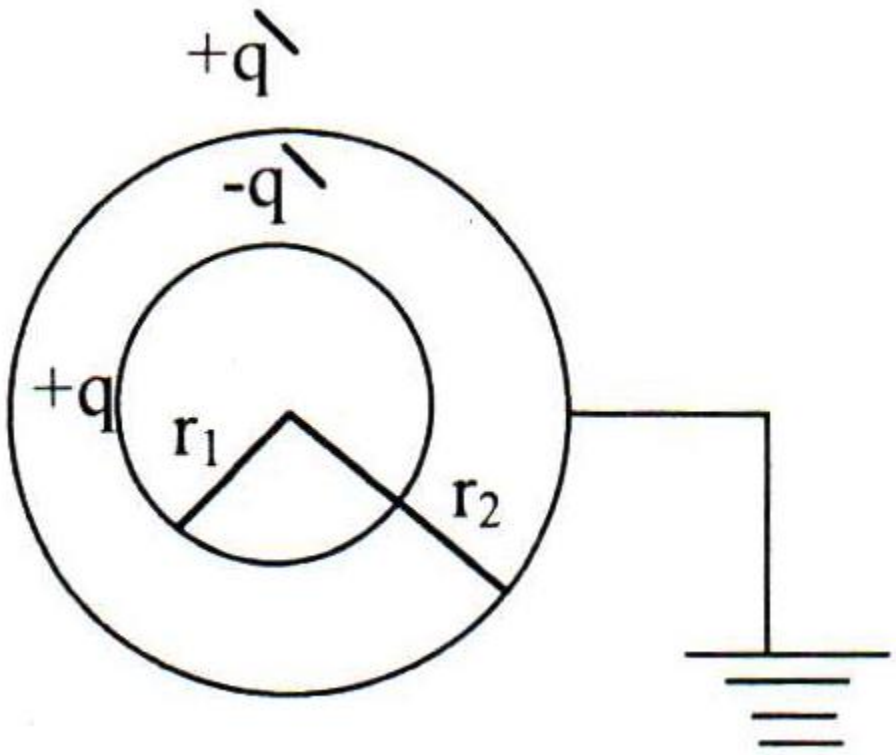
نفرض كره مشحونه بشحنه موجبه +q ونصف قطرها r_1 موجوده داخل كره أكبر منها نصف قطرهاr_2 ومتحدة معها فى المركز ومتصله بالارض شكل(٣)

نفرض أن الشحنه التأثيريه المتولده على سطح الكره الخارجيه يساوى $\acute{q}$ وحيث أن جهد هذه الكره يساوى صفرا لاتصالها بالارض .

صفر= الجهد الناشئ من الشحنه +q الجهد الناشئ من الشحنه $\acute{q}$

$0=k(q/r_2+ \acute{q}/r_2)$

$\acute{q} =-q$



شكل (٣)

أى ان الشحنه التأثيريه المقيده هى شحنه سالبه مساويه فى المقدارللشحنه الموجبه المؤثره والموجوده على سطح الكره الداخليه أما الشحنه التأثيريه الموجبه الطليقه تسربت للارض أما جهد الكره الداخليه فهو محصلة الجهد الناتج عن شحنتها الذاتيه kq/r_1 والجهد الناتج عن الشحنه التأثريه المقيده $\acute{q}$ الموجوده على الكره الخارجيه ولما كان جهد الكره الخارجيه الناتج عن الشحنه المقيده $k\acute{q}/r_2$ وهو ثابت لجميع النقط الواقعه داخل هذه الكره ويساوى جهدها الذاتى فأن قيمة الجهد عند سطح الكره الداخليه نتجة هذه الشحنه التأثريه يكون مساويا $k\acute{q}/r_2$

$$V=k(q/r_1- \acute{q}/r_2)=kq(r_2-r_1)/r_1r_2$$

وبالتعويض عن $\acute{q}=-q$

$$V=k(q/r_1- q/r_2)=kq(r_2-r_1)/r_1r_2$$

$$C=q/V \qquad C=k(r_1r_2/r_2-r_1) \qquad (1)$$

ومن هذه المعادله نرى أن سعة المكثف الكروى تزداد كلما نقصت المسافه بين الموصلين نتيجة لنقص الجهد كلما اقتربت الشحنه السالبه على الكره الخارجيه من الشحنه الموجبه على الكره الداخليه. كما ان السعه تقل كلما ازدات المسافه بين الكرتين حتى تصبح أقل ما يمكن عندما تصبح الكره الخارجيه لانهائيه فى الكبر وفى هذه الحاله تمثل حالة الموصل الكروى المعزول الذى يتكون من موصل كروى معزول من أى موصل أخر وهذا يصبح مثل المكثف الكروى حيث تكون كرته الخارجيه لا نهائيه السعه فى هذه الحاله تساوى

$$C=q/V=q/(q/kr)=kr \qquad (2)$$

ويمكن الوصول الى نفس النتيجه بالتعويض فى المعادله(1) حيث يهمل قيمة r_1 بالنسبه لقيمة r_2 التى تساوى ما لا نهايه وفى هذه الحاله نحصل على

$C=qr_1r_2/r_2=kr_1$

من المقارنه(1,2) نلاحظ أن سعة الموصل الكروى تزداد زياده كبيره جدا اذا حيط موصل كروى أخر متصل بالارض (أى أننا كونا مكثف كروى)

مثال(١)

مكثف متوازى اللوحين مساحة كل من لوحية $2m^2$ والمسافة بينهما 5mm والوسط الفاصل بينهما فراغ فاذا كان الجهد بين اللوحين 10000V

احسب بالوحدات العملية

أ-سعة المكثف ب- شحنة كل من اللوحين ج- شدة المجال بين لوحية
د-سعة المكثف عندما يملا الحييز بين ا للوحين بعازل ثابت عزلة 5 ثم احسب فرق الجهد الجديد

<u>الحل</u>

$C_o = \varepsilon_o A/d= 8.85x10^{-12}x2/5x10^{-3}=3.54 x10^{-9}$ F

ولإيجاد الشحنه فإن

$q= C_o V_o =3.54x10^{-9}x10000=3.54x10^{-5}C$

ولإيجاد شدة المجال فإن

$E_o= kx4\pi\sigma=\sigma/\varepsilon_o= q/A\varepsilon_o$
$= 3.54x10^{-5}/2x8.85x10^{-12}=20x10^5$ NC^{-1}

أو

$E_o=V_o/d= 10000/5x10^{-3}=20x10^5$ V/m

ولإيجاد السعه عند وضع العازل فأن

$\varepsilon = C/C_o \quad \therefore C= 5x3.54x10^{-9} = 17.70x10^{-9}$ F

أى أن السعه تزداد بوضع العازل

ولإيجاد فرق الجهد الجديد فإ نه من المعروف أن الشحنه ستظل ثابته على الإلواح عند وضع العازل وبهذا فإن

$C_o V_o = CV \quad \therefore \varepsilon = C/C = V_o/V \quad \therefore \quad 5 = 10000/V \quad \therefore \quad V = 2000V$

أى أن فرق الجهد يقل بوضع العازل

المكثفات متغيرة السعه

المكثف المتوازى اللوحين يستخدم احيانا كمكثف متغير السعه وذلك بتغير المساحه A بجعل أحد اللوحين عباره عن عدة الواح معدنيه ثابته بينما اللوح الأخر مجموعه من الألواح المعدنيه التى يمكن جعلها تدخل وتخرج داخل المجموعه الثابته وبهذاتتغير المساحه للمجموعه المتحركه والمواجه للالواح الثابته وهذا النوع من المكثفات المتغيره السعه تستخدم فى ضبط استقبال محطات الأذاعه المختلفه المراد سماعها وتتكون الألواح من النحاس أو الألومنيوم وبينهما الهواء

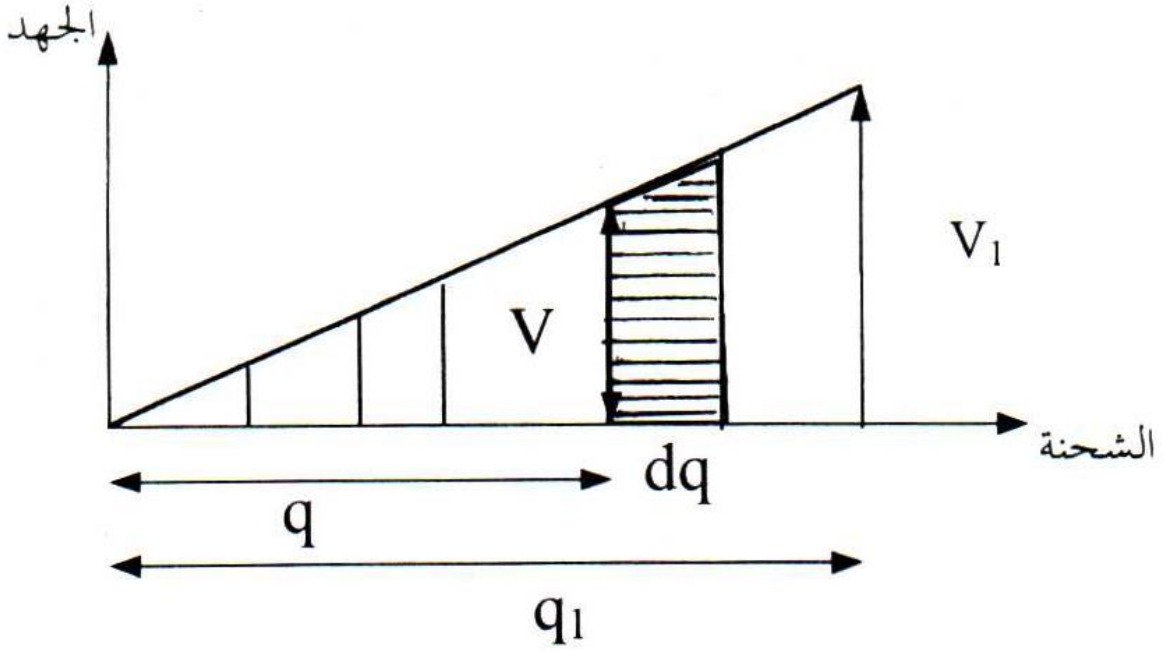
طاقة الموصل المشحون

حيث أن السعه مقدار ثابت يعتمد على أبعاد وشكل الموصل وأن الشحنه q تتناسب طرديا مع الجهدV فأننا بذلك لو قمنا بشحن موصل ما فان جهده يرتفع ولو مثلنا العلاقة بين شحنة الموصل وجهده لوجدناه علاقة خط مستقيم يمر بنقطة الاصل كما بالشكل (٤) فلو فرضنا انه فى لحظة ما كان جهد الموصل V وشحنته q واردنا ان ننقل الية شحنة قدرها dq فان عنصر الشغل المبذول (لنقل عنصر الشحنه dq فى هذه الحاله الى الموصل) يكون

$dW = qV , \quad V = q/C \quad \therefore dW = qdq/C$

حيث C سعة الموصل لو بدأنا بالموصل عندما كانت شحنته صفر ثم نقلنا الية عنصرا بعد أخر حتى وصل جهده فى النهاية الى V_1 وشحنته q_1 الى فان

$$\therefore W=\int_0^{q1} qdq \;/\; C = 1/\,C\,(q^2/2) = 1/2(q_1{}^2/\,C)$$



شكل (٤)

وهذا الشغل المبذول فى شحن الموصل يختزن فية على هيئة مجال كهربى حول الموصل وبالتعويض فى العلاقة الاخيرة حيث $C=q/V$

فان طاقة الموصل المشحون

$= 1/2q_1{}^2/\,C = 1/2\;C\;V_1 = 1/2q_1V_1$

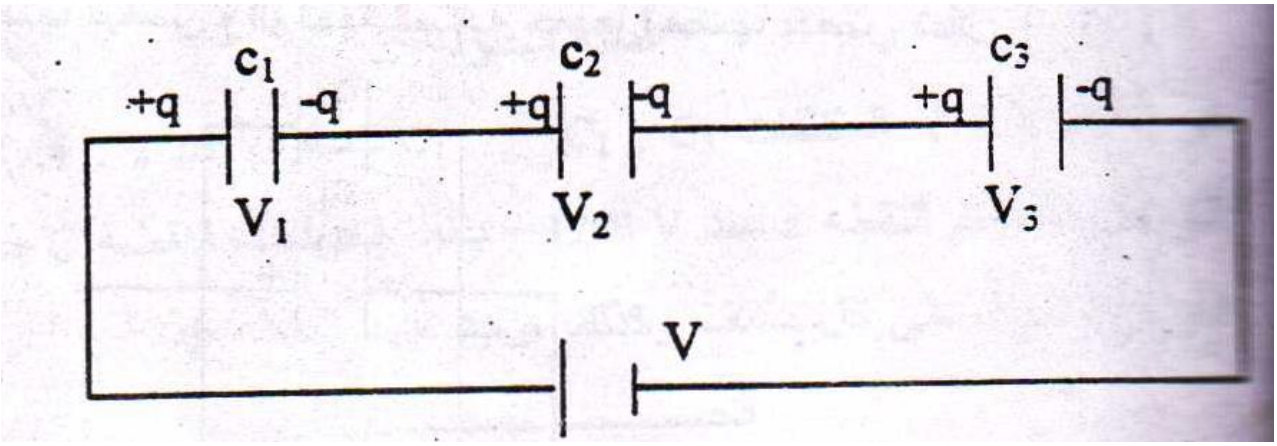
ويمكن الوصول للمعادله الاخيره بطريقه أخرى إذا أعتيرنا أن الشغل الكلى عباره عن مجموعه عناصر الشغل أى مجموعه مساحة الشرائط أى مساحة المنطقة الواقعه تحت الخط المستقيم كما بال**شكل** وهو عباره مساحة مثلث طول قاعدته q_1 وارتفاعه V_1 أى ان$(1/2q_1V_1)$

وتكون الطاقه بالجول إذا كانت باقى الوحدات عمليه أى السعه بالفاراد والجهد بالفولت والشحنه بالكولوم

توصيل المكثفات

أ-التوصيل على التوالى

يكون توصيل المكثفات على التوالى اذا وصل اللوح السالب من الأول باللوح الموجب من الثانى واللوح السالب من الثانى باللوح الموجب للثالث وهكذا شكل(٥)



شكل (٥)

اذا وصلت هذه المجموعه بمصدر جهد Vعبر طرفيها فان فرق الجهدهذا يكون مساويا لمجموع فروق الجهد عبر المكثفات المكونه للمجموعه أى أن

$$V=V_1+V_2+V_3 \quad (1)$$

واذا أصبحت q+ شحنة اللوح الموجب الأول والمتصل بالقطب الموجب بمصدر الجهد فان اللوح السالب لهذا المكثف تظهر عليه شحنه تأثيريه q - كذلك تتولد شحنه q+ على اللوح الموجب للمكثف الثانى وq- على اللوح السالب له وq + على اللوح الموجب للمكثف الثالث وهكذا وحيث أن

السعه المحصله أو الكليه $C=q/V$

كذلك تكون

$$C_1=q/V_1,\ C_2=q/V_2,\ C_3=q/V_3$$

بالتعويض فى(١)

$\therefore q/C=q/C_1+q/C_2+q/C_3$

$\therefore\ 1/C=1/C_1+1/C_2+1/C_3$

ب-التوصيل على التوازى

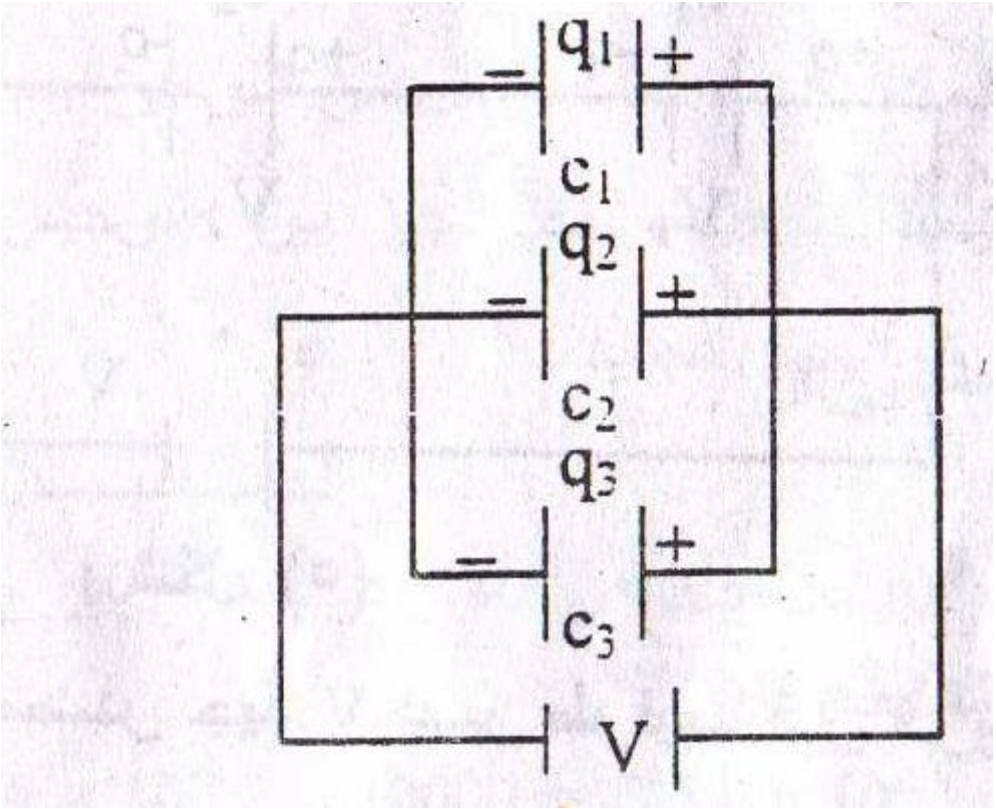
يكون توصيل المكثفات على التوازى اذا وصلت الواحها الموجبه جميعا بعضها ببعض والواحها السالبه جميعا بعضها البعض شكل (٦) عندئذ يمكن اعتبارها مكثف واحد مساحة أى من لوحيه تساوى مجموع مساحة الواح المكثفات المفرده وعند توصيل هذه المجموعه بمصدر جهدV فان فرق الجهد عبر طرفى المجموعه يكون هو نفسه فرق الجهد بين لوحى أى مكثف

أى ان

$V=V_1=V_2=V_3$

وتكون الشحنه الكليه المحصله مساويه مجموع الشحنات على المكثفات المكونه للمجموعه أى ان

$q=q_1+q_2+q_3$



شكل (٦)

وحيث ان السعه= الشحنه / فرق الجهد

$$\therefore q=C/V$$

كذلك $q_1=C_1V_1,\ q_2=C_2V_2,\ q_3=C_3V_3$

بالتعوض

$$\therefore CV=C_1V+C_2V+C_3V$$

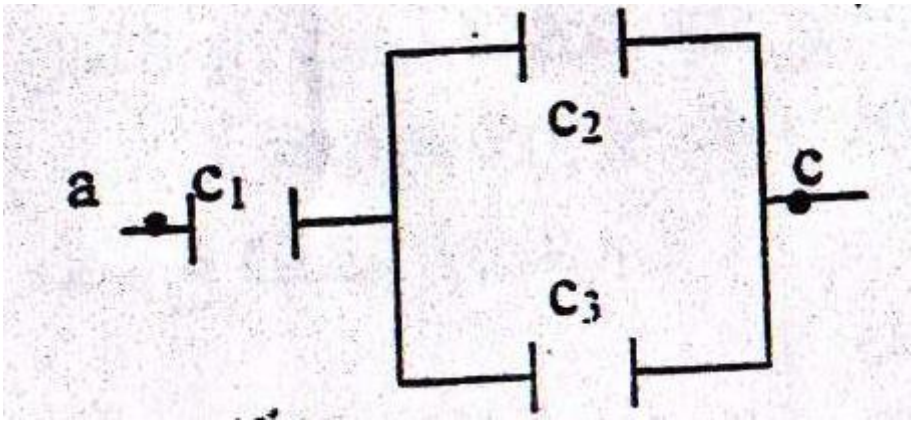
أى أن

$$C=C_1+C_2+C_3$$

مثال(٢)

فى الشكل(٧) المكثفات C_1,C_2,C_3 تساوى $3,4,2\ \mu F$ على الترتيب حفظت النقطه a عند $+1200V$ بينما النقطه C بالارض فأوجد الشحنه على كل مكثف وكذلك أوجد جهد النقطه b

الحل



شكل (٧)

المكثفان C_2,C_3 متصلان على التوازى

السعه المكافئه لها

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

وهذه متصله على التوالى بالمكثف C_1

وبذلك فان السعه المكافئه يمكن حسابها من المعادله

$1/2=1/6+1/3 \quad \therefore C=2\ \mu F$

وبذلك فان الشحنه على المكثف المكافئ C هى

$q=CV=2x10^{-6}x1200=2.4x10^{-3}C$

∴ الشحنه q تساوى الشحنه q_1 على المكثف C_1 وتساوى أيضا مجموع الشحنتين $_2$ للمكثفين C_2,C_3

$V_{a,b}=q_1/C_1=2.4x10^{-3}/3x10^{-6}=800\ V$

$V_{a,b}=V_a-V_b \therefore\ 800=1200-V_b \quad \therefore\ V_b=400\ V$

$V_{b,c}= V_b-V_c=400-0 = 400V$

وهذا هو فرق الجهد بين طرفى كل من المكثفين $C_2, C3_2$

$\therefore\ q_2=C_2V_2=4x10^{-6}\ x400=1.6x10^{-3}\ C$

$\therefore\ q_3=C_3V_3=2x10^{-6}\ x400=0.8x10^{-3}\ C$

وتكون الشحنه المكافئه

$q=q_2+q_3 = 1.6x10^{-3}+0.8x10^{-3}= 2.4x10^{-3}\ C$

أو

$q=q_1=C_1V_1=3x10^{-6}x800=2.4x10^{-3}\ C$

مثال(٣)

مكثف سعته 1µF وفرق الجهد بين لوحيه100V ومكثف أخر سعته2µF وفرق الجهد بين لوحيه 200V فاذا اتصل المكثفان على التوازى احسب الطاقه قبل التوصيل وبعده

<u>الحل</u>

الطاقه الأبتدائيه للمكثف الأول

$= 1/2C_1V_1=1/2x10^{-6}x100= 0.005\ J$

والطاقه الأبتدائيه للمكثف الثانى

$= 1/2C_2V_2=1/2x2x10^{-6}x200=4x10^{-4}=0.04J$

مجموع الطاقه الأبتدائيه

$= 0.005 + 0.04 + 0.05 = 0.45J$

وعند التوصيل على التوازى فان

السعه المكافئه

$$C = C_1 + C_2 = 1 + 2 = 3\ \mu F$$

الشحنه

$$q = q_1 + q_2 = C_1V_1 + C_2V_2$$

$$= (1x10^{-6}x100) + (2x10^{-6}x200) = 5x10^{-4}\ C$$

الطاقه النهائيه

$$1/2q^2/C = 5x10^{-4}/3x10^{-6} - 0.041J$$

ويلاحظ أن الفرق فى الطاقتين يتحول عادة الى حراره فى أسلاك التوصيل

مثال(٤)

مكثفان سعتهما ميكروفاراد(2,8µF) وصلا على التوالى فاذا كان فرق الجهد على المجموعه 300V

احسب الشحنه وفرق الجهد على كل مكثف

اذا وصلا المكثفان على التوازى احسب الشحنه وفرق الجهد على كل مكثف

الحل

$$C = C_1C_2/C_1 + C_2 = 2x8/2 + 8 = 1.6\mu F$$

$q=CV=1.6x10^{-6}x300=4.8x10^{-4}C$

المكثفان على التوالى فتكون الشحنه متساويه ولكن فرق الجهد يختلف

$q_1=q_2=q=4.8x10^{-4}$ C

$V_1=q/C_1=4.8x10^{-4}/2x10^{-6}=240$ V

$V_2=q/C_2=4.8x10^{-4}/8x10^{-6}=60V$

عند توصيل المكثفان على التوازى

$C=C_1+C_2=2+8=10$ µF

$V_1=V_2=V=300V$

$\therefore q_1=C_1V=2x10^{-6}x300=6x10^{-4}$ C

$q_2=C_2V=8x10^{-6}x300=2.4x10^{-4}$ C

الكهربية التيارية

تتضمن الكهربية الديناميكية كل الظواهر المترتبة على حركة الشحنات الكهربية خلال موصل. ويتم نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية بوساطة نواقل من انواع ومقاسات مختلفة. تتكون هذه النواقل من قلب وغلاف. فالقلب عبارة عن مادة موصلة للكهرباء ، والغلاف عبارة عن مادة عازلة للكهرباء. وعموما تقسم المواد من حيث توصيلها للتيار الكهربائي الى ثلاث اقسام، هي:

المواد الموصلة: وهى المواد التى تسمح بمرور التيار الكهربائي عبرها مثل المعادن بمختلف أنواعها. ويرجع السبب فى ذلك إلي تركيبها الذرى حيث تحتوى على عدد هائل من الالكترونات الحرة القابلة للحركة تحت تأثير قوة خارجية كمصدر جهد كهربائي او بطارية. ان الفضة والنحاس والذهب والالومنيوم هى من الموصلات الممتازة. ولكن من النادر ما تستخدم الفضة او الذهب فى عمل الموصلات بسبب ارتفاع ثمنها. اما النحاس فستخدم فى شبكات التمديدات الداخلية والاجهزة الكهربائية والالكترونية. فى حين يستخدم الالومنيوم فى شبكات نقل وتوزيع الكهرباء الخارجية.

المواد العازلة:- وهى المواد التى لاتسمح بمرور التيار الكهربائي عبرها مثل الخشب والزجاج والمطاط والبلاستك. ويرجع السبب فى ذلك إلي تركيبها الذرى حيث تحتوى علي عدد قليل جدا من الالكترونات الحرة القابلة للحركة تحت تاثير جهد كهربائي. للمواد العازلة أهمية كبيرة فى الأنظمة الكهربائية نظرا لاستعمالاتها المتعددة. فمثلا، يستخدم البلاستيك فى تغطية الأسلاك الكهربائية لحماية الانسان من الصدمة الكهربائية.

اشباه الموصلات: هى مواد وسط بين المواد العازلة والمواد الموصلة، اى إنها فى حالتها النقية عند درجة حرارة الصفر المطلق تكون عازلة للكهرباء

ويتم التحكم بموصليتها عن طريق اضافة بعض الشوائب اليها. ولاشباه الموصلات أهمية خاصة فى مجال الهندسة الالكترونية الحديثة حيث تستخدم فى صناعة جميع العناصر الالكترونية مثل الترانزستورات والدارات المتكاملة. ومن أهم المواد شبة الموصلة المستخدمة فى هذا المجال: السيليكون ومن ثم الجرمانيوم.

وفى الفلزات توجد بعض الالكترونات التى تعرف بالالكترونات الحرة لضعف ارتباطها بذراتها. لذلك يمكن لهذه الالكترونات ان تتحرك متجولة داخل الفلز.

لذلك يكون التيار الكهربي فى الفلز ناتجا عن موجهة لهذه الالكترونات، ومع ذلك فهذه الحركة يوجد مايعوقها وتسمي المقاومة وسوف نتحدث عنها لاحقا.

فوضع موصل فى مجال كهربي ينتج عنه انتقال لبعض الالكترونات الحرة من طرف لطرف آخر فى عكس اتجاه المجال المؤثر، بينما تظل الايونات الموجبة ثابتة، وقد اصطلح على ان حركة إلكترونات وهي فى عكس اتجاه المجال تكافىء تيارا فى اتجاه المجال.

وينشأ عن مقاومة التيار داخل موصل إنتقال جزء من الطاقة الكهربية للالكترونات إلي ذرات الموصل والتى تقوم بدورها بالتخلص منها الي الوسط صورة إشعاع، وبالتالي لكي نحصل على انتقال مستمر للشحنات الموصل لابد ان نوفر له ما يلي:

١. تزويد احد طرفيه بشحنات كهربية.
٢. سحب هذه الشحنات من طرفه الآخر.

ويتطلب هذا بدوره:

١. وجود مصدر كهربي.
٢. وجود مسار مغلق تنتقل خلاله الشحنات متصل دورة كاملة تسمي الدائرة الكهربية بحيث يكون التيار متواصلا وثابتا فى الدائرة.

التيار الكهربى

فيما سبق كانت درستنا قاصرة على الظواهر الناتجة عن الشحنة الكهربية الساكنة واذا أمكن استمرار انتقال الشحنات الكهربية داخل موصل عن طريق الابقاءعلى مجال كهربى داخل الموصل أى فرق جهد بين طرفية فان حركة الشحنات تصبح مستمرة وتسمى حركة الشحنات المستمرة هذه بالتيار الكهربى. ويعرف التي التيار الكهربى بمعدل سريان التيار الكهربى او كمية الشحنه الكهربيهالماره فى موصل فى الثانيه الواحده

فاذا كانت Δq هى كمية الشحنه الماره فى زمن Δt فان التيار I يعطى من المعادله

$$I=\Delta q/\Delta t \qquad \text{أمبير} = \text{كولوم/ ثانيه}$$

لذا فالتيار الكهربى يقاس بوحدة الأمبير(كولوم/ ثانيه) ويرمز له بالرمزِA وبذلك يمكن تعريف الأمبير كما يلى هو شدة التيار الكهربى الماره فى موصل عندما تكون كمية الشحنه الكهربيه الماره قدرها واحد كولوم فى زمن قدره واحد ثانيه

أتجاه التيار الكهربى

الشحنات التى تمر خلال الموصل يمكن أن تكون موجبه أو سالبه أو الاثنين معا. واذا تم توصيل الموصل ببطاريه كهربيه فنجد أن الشحنات الموجبه تتحرك نحو القطب السالب للبطاريه(أى فى نفس أتجاه المجال الكهربى الناتج) بينما تتجه الالكترونات السالبه نحو القطب الموجب(أى عكس أتجاه المجال الكهربى). ولقد تم الاتفاق على اعتبار أن التيار الكهربى يأخذ نفس أتجاه تدفق الشحنه الموجبه(أى من القطب الموجب للبطاريه الى القطب السالب للبطاريه خلال الموصل) ومن ثم فهوفى أتجاه المجال الكهربى الناتج فى الموصل وهو عكس أتجاه حركة الالكترونات المسببه له. وهذا ما يسمى بالاتجاه التقليدى للتيار الكهربى

كم عدد الالكترونات التى تمر بنقطه حاجز موصل فى زمن قدره 1Sec ثانيه اذا كانت شدة التيار بهذه النقطه 50A

$q=Ixt=50x1=50\ C$

$q=eN$

$N=q/e=50/1.6x10^{-19} = 3.125x10^{20}\ \ e/Sec$

كثافة التيار الكهربى J

تعرف كثافة التيار الكهربى بانها شدة التيار الكهربى المار فى وحدة المساحات من الموصل وبذلك فاذا كانت مساحة موصل A فأن كثافة التيار J نتيجة التيار الكهربى شدته I تعطى من العلاقه

$$J=I/A \quad Amp./m^2$$

وهى كميه متجه وتأخذ نفس أتجاه التيار الكهربى المار بالموصل أى أتجاه حركة الشحنات الموجبه

التوصيليه الكهربيه σ وقانون أوم

عندما يكون هناك فرق جهد بين طرفى موصل فأنه ينشأ مجال كهربى وكثافة تيار داخل الموصل واذا كان فرق الجهد ثابت فان التيارالمار بالموصل يكون ثابت وغالبا ما يوجد علاقه تناسب بين كثافة التيار والمجال الكهربى حيث

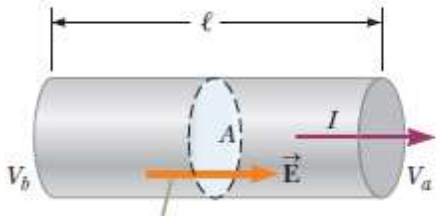
$$J \alpha E \qquad \therefore \qquad J= \sigma E$$

حيث σ هى ثابت التناسب وتسمى التوصيليه الكهربيه. ووحدتها العمليه (أمبير/فولت.متر وتعرف هذه العلاقه بقانون اوم وهو "عند ثبوت درجة الحراره تتناسب كثافة التيار الكهربى الماره فى موصل تناسب طرديا مع شدة المجال الناشىء عليه "

المقاومه R

قانون أوم ليس قانونا أساسيا من قوانين الطبيعه ولكنه علاقه تجريبيه صحيحه فقط لمواد معينه ويمكن الحصول على صيغه أخرى لقانون أوم تفيد فى التطبيقات العمليه كما يلى

بافتراض انه لدينا جزءا من سلك مستقيم ذى مقطع منتظم مساحته A وطوله L فاذا كان فرق الجهد بين طرفيه هوV بحيث يتسبب هذا الجهد فى تولبد مجال كهربى شدته E وتيارا كهربيا I فى السلك كما **بالشكل** (١) وبافتراض أن المجال الكهربى منتظم فأن الجهد الكهربى يعطى من العلاقه V=EL



شكل (١)

وبذلك يمكن التعبيرعن كثافة التيار J بالعلاقه

$J= \sigma E=\sigma (V/L)$

وبما أن كثافة التيارترتبط بشدة التيار من خلال العلاقه J=I/A لذلك يمكن كتابة فرق الجهد على الصوره

$V=LJ/\sigma= LI/\sigma A=(L/\sigma A)I$

ويسمى المقدار $(L/\sigma A)$ بالمقاومه R للموصل ويمكن تعريف المقاومه على انها "المعاوقه التى يلاقيها التيار الكهربى عند مروره فى موصل أو النسبه بين فرق الجهد بين طرفى موصل والتيارالكهربى المارخلاله"

$$R=(L/\sigma A)=V/I$$

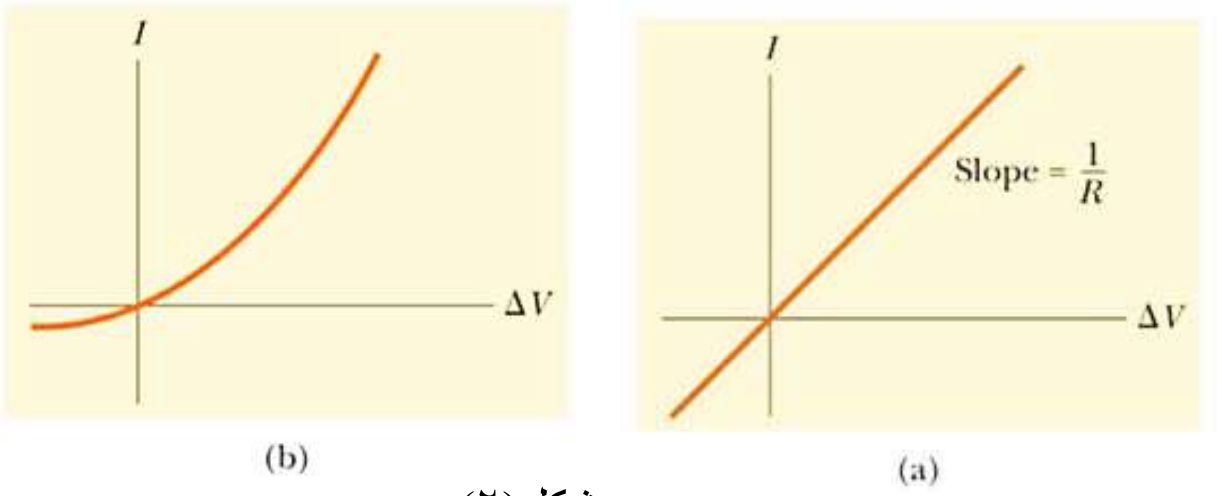
وتعتبر هذه المعادله صوره أخرى لقانون أوم والذى يمكن تعريفه من خلال هذه المعادله كما يلى

"عند ثبوت درجة الحراره يتناسب فرق الجهد بين طرفى موصل تناسب طرديا مع شدة التيارالكهربى المار به"=

وحدة المقاومه هى(فولت/ أمبير) او تسمى Ω

ويعرف الأوم على أنه "مقاومة موصل يمر به تيار كهربى شدته واحد أمبيرنتيجة وجود فرق حهد بين طرفيه مقداره واحد فولت"

المواد التى تتبع قانون أوم كما بالشكل(٢) يقال عنها انها مواد أوميه ووجد أنه ليس لكل المواد هذه الخاصيه حيث ان المواد التى لا تتبع قانون أوم كما بالشكل يقال انها مواد غير أوميه



(b) (a)

شكل(٢)

المقاومه النوعيه لماده

تعرف المقاومه النوعيه لماده على انها مقلوب التوصليه الكهربيه وبذلك يمكن أن تعطى من العلاقه

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

وبذلك يمكن استنتاج أن وحدة المقاومه النوعيه هى أوم.متر(Ω m) ويمكن أستخدام هذا التعريف للتعبير عن المقاومه كالتالى

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

وكل ماده اوميه لهل مقاومه نوعيه خاصه بها تعتمد على حصائص الماده وعلى درجة الحراره. كما تعتمد المقاومه على الشكل الهندسى للماده مثلما تعتمد على مقاوكتها النوعيه

التفسير النظرى لقانون أوم

فى الشكل (١) السابق نفرض ان N عدد الالكترونات الحرة فى وحدة الحجوم من هذا الموصل وان e شحنة الالكترون فان كل الكترون يتأثر بقوة قدرها eE بمجرد خضوعة للمجال الكهربى E المسلط على الموصل وينتج عن ذلك أن يكتسب كل الكترون حر سرعه دفعيه v_d وهذه السرعه تختلف عن السرعه العشوائيه التى يتحرك بها الالكترون الى داخل الموصل قبل تأيثره بالمجال الكهربى وتتحرك الالكترونات الحرة بهذه السرعة الدفعية v_d فى اتجاه مضاد لاتجاه المجال وينشأ بذلك سريان التيار الكهربى

وحيث ان سريان التيار الكهربى يكون منتظم خلال مقطع الموصل فلا بد وان يكون هناك قوة مضاده لاتجاه الحركة وهذة القوة تنشأ عن اصطدام الالكترونات الحرة بأيونات الموصل وتتناسب مع السرعة الدفعية وتسبب ما

يسمى بمقاومة الموصل . وبهذا فانه فى حالة الاتزان بين القوتين تكون السرعة v_d منتظمة ويمر تيار كهربى منتظم

$\therefore eE=Dv_d$

حيث D ثابت الاحتكاك (لان قوة الاحتكاك تتناسب مع v_d)

$\therefore v_d=e/De=\mu E \quad (1)$

حيث μ ثابت يسمى بقابلية الحركة ويساوى e/D

وتعرف بانها متوسط السرعه الدفعيه التى يكتسبها الكترون تحت تأثير مجال كهربى شدته الوحده

الان لو فرضنا ان كل الكترون سوف يتحرك بهذه السرعة v_d فانه سوف يقطع مسافة داخل الموصل قدرها vdt فى زمن قدره dt ويكون عدد الالكترونات المارة خلال مقطع الموصل فى هذا الزمن مساويا $NAv_d\,dt$ وتكون الشحنة dq المارة خلال مقطع الموصل فى هذا الزمن dt هى

$dq=NAev_d\,dt$

وحيث ان شدة التيار $I=dq/dt$ فان $I=NAev_d$

أو كثافة التيار $J=I/A \ =Nev_d$

وبالتعويض عن v_d من(١) مع اعتبار $E=V/L$

$\therefore I=(NAe\mu/L)V \quad (2)$

وحيث ان المقدار بين القوسين فى المعادله الاخيره ثابت يعتمد على نوع وابعاد الموصل $\therefore I\alpha V$

وهذا اثبات لصحة قانون اوم وبمقارنة المعادلة (٢) بالمعادلة $R=V/R$ فان مقاومة الموصل

$R=L/NAe\mu$

وبمقارنة هذه المعادلة مع المعادلة $R=L\rho/A$

$\therefore \ \rho=1/Ne\mu \ , \ \sigma=Ne\mu$

حيث ρ هى مقاومة النوعية σ التوصيل النوعى للموصل

ويمكن حساب أى عدد الالكترونات الحره فى وحدة الحجوم من الموصل باستخدام العلاقه

N = عدد أفوجادرو x كثافة المعدن/ الوزن الذرى

تغير المقاومة بتغير درجة الحراره

تتوقف المقاومه النوعيه للموصلات على قابلية تحرك الالكترونات الحره فى هذه الموصلات وأرتفاع درجة الحراره يؤدى الى زيادة المقاومه النوعيه وذلك لأن قابلية التحرك تقل بأرتفاع درجة الحراره نظرا لازدياد فرص التصادم بسبب ارتفاع سعة الاهتزاز الأيونات الموجبه للموصل

وقد وجد بالتجربه أن المقاومه لموصل فلزى تتغير بتغير درجة الحراره وفقا للمعادله

$R=R_0(1+\alpha T)$

حيث R_0 مقاومة الموصل عند درجة صفر وكذلك R مقاومة الموصل عند درجة حراره T وα المعامل الحرارى للمقاومه ووحدته (درجه مئويه)$^{-1}$ وهذه العلاقه تصلح فقط للمعادن أما فى حالة السوائل الموصله فان المقاومه تنخفض بارتفاع درجة الحراره نتيجة انخفاض لزوجة المحلول بارتفاع الحراره مما يؤدى الى زيادة سرعة حركة الأيونات

ولهذا فان المعامل الحرارى للمقاومه يكون سالب وفى حالة أشباه الموصلات تقل المقاومه بارتفاع الحراره بسبب زيادة الألكترونات الحره والجدير بالذكر

أن هناك طائفه تسمى المواد فائقة التوصيل الكهربى والتى تختفى فيها المقاومه تقريبا عند درجة حراره معينه تعرف بالدرجه الحرجه وتبذل محاولات عديده للوصول بهذه الدرجه الى درجة حرارة الغرفه لكى تفتح أفاق مجالات عديده أهمها مجال توفير الطاقه المستهلكه

والمقاومه تتأثر أيضا بعوامل أخرى مثل المجال المغناطيسى والضوء وتستخدم خاصية تغير المقاومه بتغير درجة الحراره فى صنع الترمومترات

مثال(١)

أحسب قابلية التحرك للالكترونات الحره داخل معدن النحاس الذى مقاومته النوعيه $1.7x10^{-6}\ \Omega.m$ ووزنه الذرى 63.6 وكثافة مادته $8.9\ gm/cm^3$ علما بأن عدد أفوجادرو $6.02x10^{23}$ وأن شحنة الالكترون $1.6x10^{-19}\ C$

الحل

$N=6.02x10^{23}x8.9/63.6= 8.43x10^{22}\ e/cm^3$

$\mu=1/Ne\rho= 1/8.43x10^{28}x1.6x10^{-19}x1.7x10^{-8}$

$= 43x10^{-4}\ m^2/\Omega.C$ or $(m/sec)/(Vol/m)$

مثال(٢)

اذا مر تيار شدته 2A فى موصل نحاسى اسطوانى قطره 1 cm فاحسب متوسط السرعه الدفعيه للالكترونات الحره نتجة تأثرها بالمجال الكهربى واحسب أيضا شدة المجال اذا علم ان N للنحاس $8.5x10^{22}\ e/cm^3$ والمقاومه النوعيه للنحاس $1.72x10^{-8}\Omega cm$ وشحنة الألكترون $1.6x10^{-19}\ C$

الحل

$I=NAev_d$

$2=8.5x10^{28}x3.14x(0.01/2)^2 \times 1.6x10^{-19}xv_d$

$V_d= 1.9x10^{-6}$ m/sec

ولايجاد شدة المجال

$\mu = \sigma E \qquad 2/3.14(0.012)^2=1/1.72x10^{-8} E$

$E=4.37x10^{-4}$ V/m

مثال(٣)

اذا كانت مقاومة سلك من النحاس طولة 314m هى 32Ω وقطر السلك 0.04m احسب المقاومة النوعية للسلك

الحل

$A=\pi d^2/4=\pi(4x10^{-4})^2/4$

$R=L\rho/A \ \therefore \rho=RA/L=32x\ \pi(4x10^{-4})^2/314x4$

$=128\ x10^{-10}\ \Omega m$

مثال (٤)

مقاومة سلك فى درجة $20\ ^oc$ هى 5.4Ω ومقاومته فى درجة $100\ ^oc$ هى 0.7Ω احسب مقاومته فى درجة الصفر وكذلك المعامل الحرارى للمقاومه 8.6Ω

الحل

نفرض أن R_1 مقاومة السلك فى درجة حراره T_1 و R_2 مقاومة السلك فى درجة T_2 وR_2 مقاومة فى درجة الصفر

$\therefore R_1=R_o(1+\alpha T_1),\ R_2=R_o(1+\alpha T_2)$

$\therefore\ R_1/R_2=1+\alpha T_1/1+\alpha T_2$

$5.4/7=1+20\ \alpha\ /1+100\ \alpha$

$\therefore\quad \alpha\ =0.004\ (^{o}c)^{-1}$

وبالتعويض عنα فى المعادله الأولى

$5.4=R_o(1+0.044x20)\quad \therefore\quad R_o=5$

وتطبيق نفس المعادله لايجاد الدرجه المجهوله T

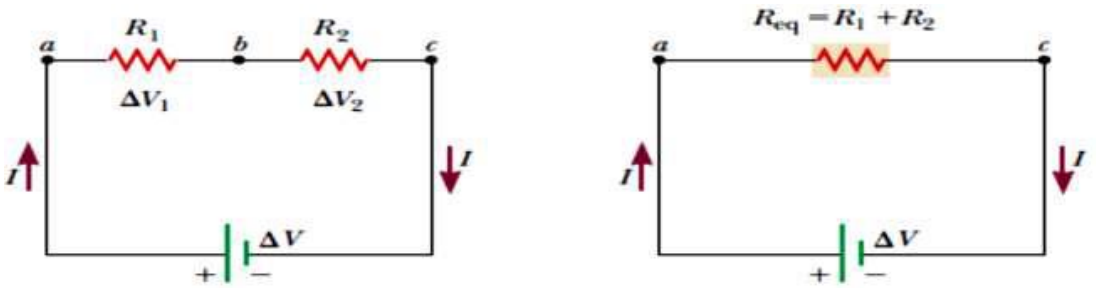
$8.6=5(1+0.004T)\qquad \therefore\ T=180\ ^{o}c$

توصيل المقاومات

توصل المقاوملت فى الدوائر الكهربيه بطريقتين هما التوالى والتوازى ولكل طريقه فوائد مختلفه

١-التوصيل على التوالى

ويتم توصيل المقاومات فيه بحيث نهاية المقاومه الاولى مع بداية المقاومه الثانيه وهكذا كما فى شكل (٣)



شكل (٣)

ويتميز هذا التوصيل على التوالى بما يلى

١-التيار ثابت لا يتجزأ $I=I_1=I_2$

٢-فرق الجهد يتوزع على المقاومات $\Delta V =\Delta V_1+\Delta V_2$

وبما أن التيار المار فى كل مقاومه واحد فيكون

$\Delta V = IR_{eq}$, $V_1= IR_1$, $V_2=IR_2$

$\Delta V = IR_1+IR_2 =I(R_1+R_2)$

بالتعويض $IR_{eq}\ I=I(R_1+R_2)$

المحصله $R_{eq} = R_1+R_2$

أى ان المقاومه الكليه لعدة مقاومات متصله على التوالى تساوى مجموع هذه المقاومات

فوائد التوصيل على التوالى

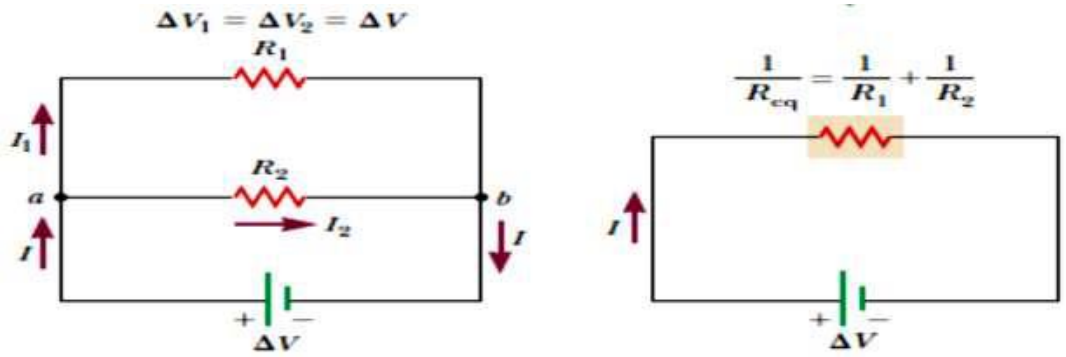
١-الحصول على مقاومه كبيره غير متوفره من مجموعة مقاومات صغيره

٢-تقليل شدة التيار فى جهاز معين

٣-يستخدم فى أجهزة الأنذارضد السرقه حيث تتعطل كل مكونات الدائره عندما يتعطل أحد مكوناتها

التوصيل على التوازى

ويتم توصيل المقاومات فيه بحيث تكون نهاية المقاومات معا وبداية المقاومات معا شكل(٤)



شكل (٤)

ويتميز هذا التوصيل بأن

١- فرق الجهد ثابت لا يتجزأ $\Delta V = \Delta V_2 = \Delta V_1$

٢- شدة التيار التيار يتوزع على المقاومات $I = I_1 + I_2$

ولان فرق الجهد ثابت فأن

$I = \Delta V / R_{eq}, \quad I_1 = \Delta V / R_1, \quad I_2 = \Delta V / R_2$

$I = \Delta V / R_1 + \Delta V / R_2 = \Delta V (1/R_1 + 1/R_2)$

$\Delta V / R_{eq} = \Delta V \ (1/R_1 = 1/R_2)$

وتكون المحصله

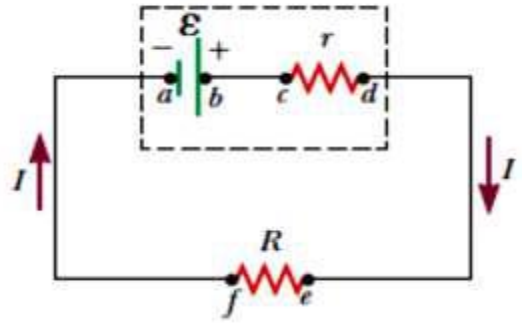
$1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2$

وبذلك يكون مقلوب المحصله يساوى مجموع مقلوب المقاومات

القوة الدافعة الكهربيه

يمر التيار الكهربى بالدائره نتيجة لمرورالشحنات الكهربيه خلالها والتى تتحرك بسبب الازاحه بواسطة الشحنات المندفعه من مصدر الطاقه الكهربيه بالدائره(البطاريه أو المولد) ويسمى أيضا بمصدر القوه الدافعه الكهربيه

ويمكن تصورمصدرالقوه الدافعه الكهربيه كمضخه للشحنات تعمل على استمرارمرور التيارالكهربى فى الدائره الكهربيه. وعند توصيل مصدر للقوه الدافعه الكهربيه(بطاريه) بمقاومه كهربيه شكل(٥) فعند أهمال المقاومه الداخليه للبطاريه وبافتراض أن مقاومة الاسلاك تساوى صفرا فيكون فرق الجهد الكهربى خلال البطاريه(يسمى جهد القطبين) مساويا للقوه الدافعه الكهربيه للبطاريه. ولكن فى الحقيقه أى بطاريه يكون لها مقاومه داخليه r



شكل (٥)

لذلك فان الجهد الكهربى خلال البطاريه لا يساوى القوه الدافعه الكهربيه للبطاريه ويمكن فهم ذلك من خلال تعريف كلا من القوه الدافعه الكهربيه وفرق الجهد كما يلى

القوه الدافعه الكهربيه ε هى الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات (كولوم) فى الدائره الكهربيه كلها خارج المصدر وداخله

ومن تعريف فرق الجهد V

هو الشغل المبذول لنقل وحدةالشحنات بين نقطتين فى الدائره خارج المصدر.وبذلك يمكن تقسيم القوه الدافعه الكهربيه الى قسمين

١-جهد خارجى وهو خاص بنقل الشحنات خلال المقاومه الخارجيه R
٢-جهد داخلى وهو خاص بنقل الشحنات خلال المقاومه الداخليه للمصدر r

$\varepsilon = IR+Ir=I(R+r)$

وحيث أن تكون $V=IR$ لذلك القوه الدافعه الكهربيه للمصدر هى

$\varepsilon = V+Ir$ or $V=\varepsilon -Ir$

قانونا كيرشوف

كثيرمن الدوائر الكهربيه التى لا تحتوى على مقاومات متصله فى مجموعات بسيطه على التوالى او التوازى لايمكن اختزالها الى تراكيب ابسط بأستخدام الطريقه الأعتياديه المتبعه مع المقاومات فى حالة ربط التوالى أوالتوازى أى طريقة المقاومات المكافئه كما درسنا سابقا. أضف الى ذلك قد تحتوى هذه الدوائر على خلايا للقوه الدافعه الكهربيه فى أكثر من مسار من مسار واحد من مسارات الدائره. ولمعالجة مسائل من هذا النوع والتمكن من حساب قيم التيارات المختلفه الماره فى كل المسارات الممكنه بالدائره سنتعرض الى مبدأين أساسيين يعرفا بقانونى كيرشوف

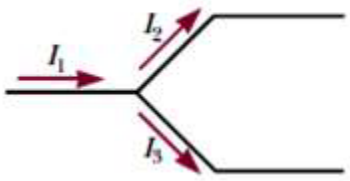
قانون كيرشوف الأول

يسمى بقاعدة النقطه لكيرشوف وهو نابع من مبدأحفظ الشحنه الكهربيه وينص قانون كيرشوف الأول على أن "المجموع الجبرى لجميع التيارات المتفرعه من أى نقطه تفرع فى دائره مغلقه يساوى صفر" أو "مجموع التيارات الداخله لنقطه فى دائره كهربيه يجب ان يساوى مجموع التيارات الخارجه منها" أى أن

$$\sum I = 0$$

or

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$



شكل (١)

ولغرض تطبيق هذه القاعده على أى نقطة تفرع فى دائره سنكتب التيارات الداخله الى نقطة التفرع فى الدائره أشاره موجبه والخارجه باشاره سالبه

لذلك ففى الشكل(١) المقابل يكون

$$I_1-I_2-I_3=0 \quad \text{or} \quad I_1= I_2+I_3$$

قانون كيرشوف الثانى

ينص قانون كيرشوف الثانى وهو نابع عن قانون حفظ الطاقه على أن "المجموع الجبرى لتغيرات الجهد حول أى دائره كهربيه مغلقه يساوى صفر" أى

$$\sum V = 0$$

وبتعبير أخر فى أى دائره مغلقه يكون المجموع للقوى الدافعه الكهربيه مساويا للمجموع الجبرى لحاصل ضرب التيار فى المقاومه فى جميع اجزاء الدائره المغلقه

ملاحظات حول تطبيق قانون كيرشوف

١-يجب تبسيط الدائره ما أمكن

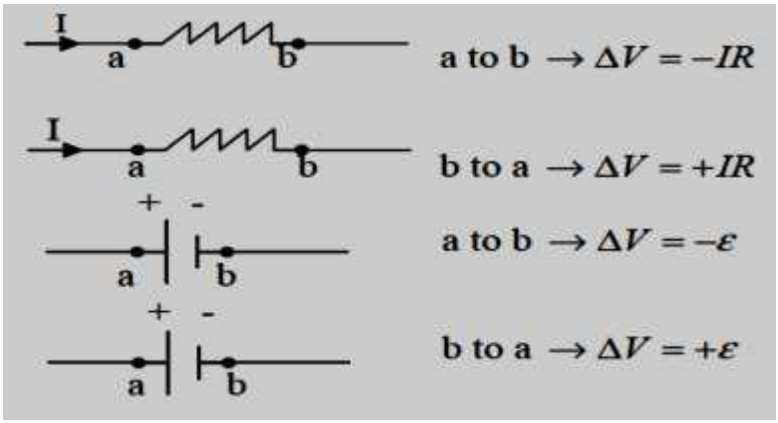
٢-نفرض أتجاهات للتيار فى أفرع الدائره والنتائج تثبت صحة أو خطأ الأتجاه

٣-طبق القانون الأول على أى نقطه تفرع للحصول على العلاقه بين التيارات

٤-تفرض أتجا ه أصطلحى موجب فى أى مسار مغلق وما يوافقه موجب وما يخالفه سالب

٥-نطبق القانون الثانى على أى مسار مغلق

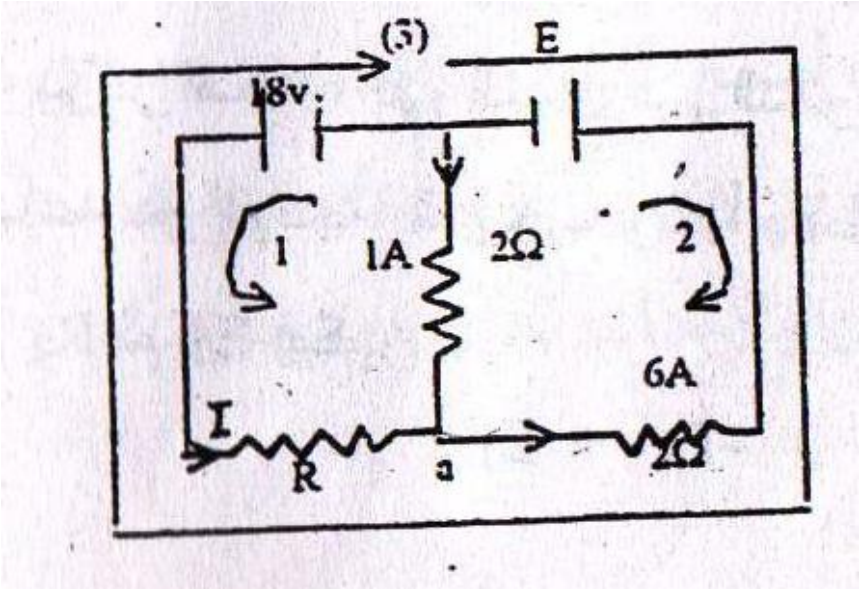
ولا بد هنا من تبنى طريقه معينه فى وضع الاشارات والطريقه المتبعه هى أن نعين أولا أتجاه التيار فى الدائره ونعتبره الاتجاه الموجب وان تكون القوه الدافعه الكهربيه ذات القيمه الأكبر هى التى تحدد أتجاه التيارفى الدائره وبالاتجاه من القطب السالب الى القطب الموجب داخل المصدر وعليه تكون اشارة ε موجبه عند أجتيازها من قطبها السالب الى قطبها الموجب وتكون سالبه عند اجتيازها بالاتجاه المعاكس. أما المقاومات فعند أجتيازها باتجاه التيار يحدث هبوط فى الجهد قدره IR- واذا كان الاجتياز بعكس أتجاه اتجاه التيار فيكون هناك ارتفاع فى الجهد قدره IR+ ويوضح الشكل التالى(٢) الحالات التى اصطلح عليها لغرض حساب التيار وفرق الجهد فى دائره كهربيه



شكل(٢)

مثال(١)

فى الدائرشكل(٣) أوجد التالى



شكل (٣)

١-شدة التيار I

٢-المقاومه R

٣-القوه الدافعه الكهربيه E

الحل

بتطبيق قانون كيرشوف الأول عند النقطه a فيكون

$$-6A+I+1A=0$$
$$\therefore I=5A$$

وهى قيمة التيار I

ولتعين المقاومه R سوف نعتبر الدائره المغلقه (١)

$$\Sigma E= 18V=\Sigma IR=(5A)R -1A(2\Omega)$$
$$18V-5R+2=0 \qquad \therefore R=4\Omega$$

ولتعين E سوف تعتبر الدائره المغلقه (٢)

$$\Sigma E=E =\Sigma IR=-6A(2\Omega) -1A(2\Omega)$$
$$\therefore E= -14\ V$$

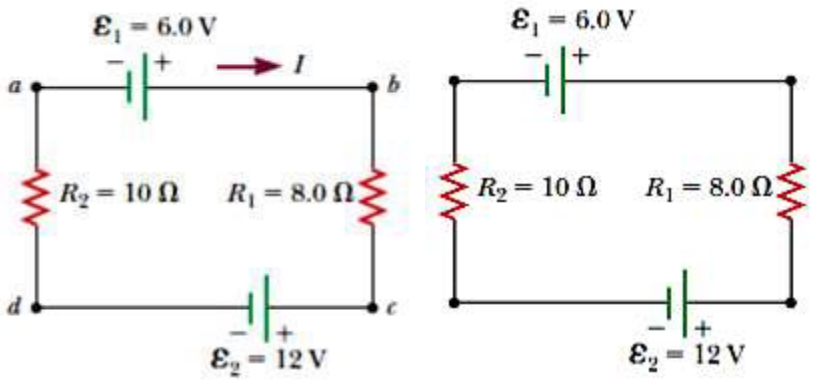
وهذه النتيجه السالبه للقوة الدافعه تبين أن أقطاب البطاريه معكوسه كما هو مفروض فى الرسم والاصح أن يكون القطب الموجب ناحية اليسار فى الشكل

وباستخدام الدائره المغلقه الثالثه نحصل على نفس النتيجه

$$E=(2\ \Omega)(6A)+5A(4\Omega)-18=0$$
$$E=-14V$$

مثال(٢)

فى الدائره المبينه بالشكل(٤) أوجد التيار الكهربى المار فى الدائره مع أهمال المقاومه الداخليه لكلا البطاريتين



شكل (٤)

الحل

لاحظ أنه لن نستخدم قانون كيرشوف الأول وذلك لعدم وجود عقده(نقطة تفرع)

نفرض أولا أن التيار فى أتجاه عقارب الساعه كما بالشكل المقابل وبذلك نجد أن من a→b يمثل تغيرا فى الجهد مقداره $+\varepsilon_1$ ومن b→c يمثل تغيرا فى الجهد مقداره $-IR_1$ ومن c→d يمثل تغيرا فى الجهد مقداره $-\varepsilon_2$ ومن d→a يمثل تغيرا فى الجهد مقداره $-IR_2$ وبتطبيق قانون كيرشوف الثانى

$$\sum V = 0$$

$$\varepsilon_1 - IR_1 - \varepsilon_2 - IR_2 = 0$$

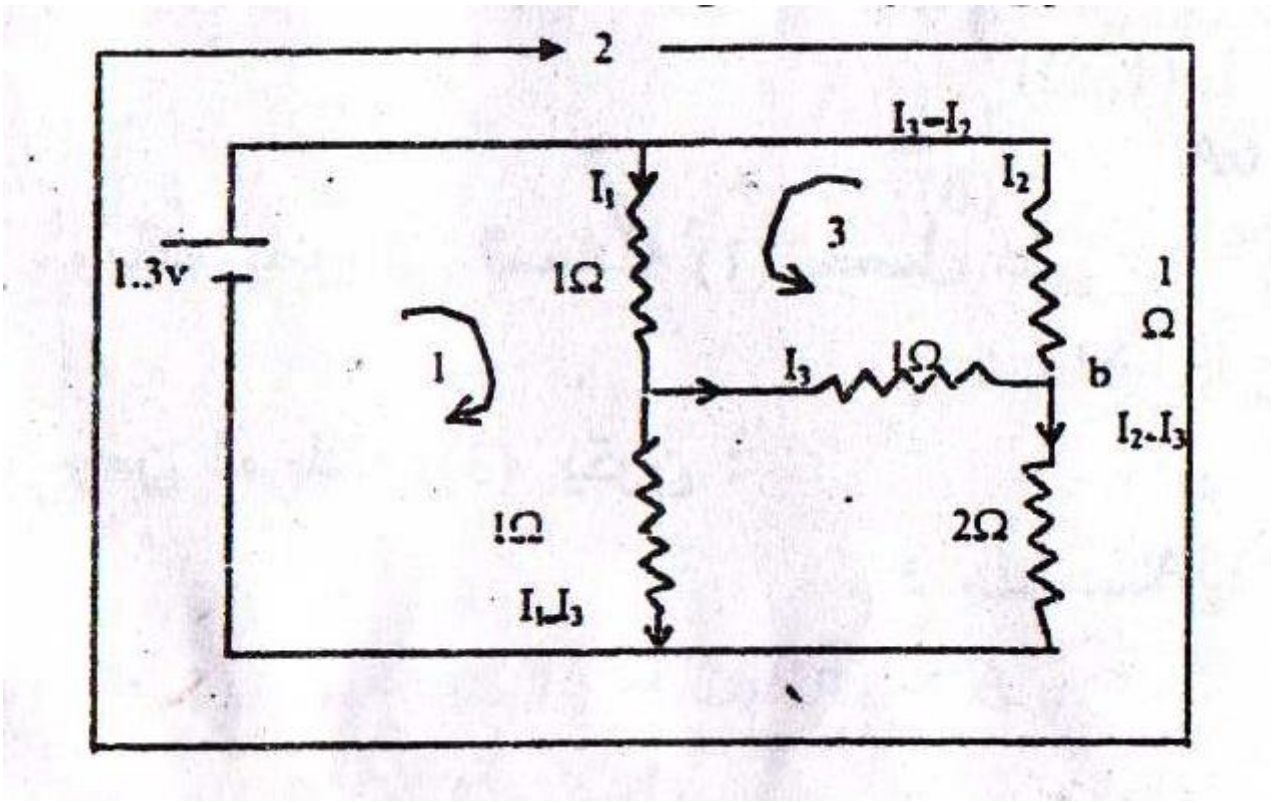
وبحل هذه المعادله يمكن الحصول على قيمة التيار حيث

$$I = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 / R_1 + R_2 = 6 - 12/8 + 10 = -0.33\ \text{A}$$

وتشير الاشاره السالبه الى أن أتجاه التيار عكس الاتجاه المفترض

مثال(٣)

فى الدائره المبينه شكل (٥) أوجد قيمة التيار فى كل مقاومه كذلك قيمة المقاومه المكافئه للدائره



شكل (٥)

الحل

كما هو موضح فى الشكل فقد تم اختصار التيارات المجموعه الى ثلاث تيارات فقط فأن تيار البطاريه هو عباره عن I_1+I_2

وبتطبيق قانون كيرشوف الثانى على الثلاث دوائر المغلقه المبينه فى الشكل نحصل على

من الدائره الاولى

$$\Sigma E=13V=\Sigma IR=I_1(1\Omega)+(I_1-I_3)(1\Omega)$$

$13V=I_1(1\Omega)+(I_1-I_3)1\Omega$

$13V-I_1(1\Omega)-(I_1-I_3)(1\Omega)=0$ (1)

من الدائره الثانيه يكون

$13V=I_2(1\Omega)+(I_2+I_3)(2\Omega)$

$13V-I_2(1\Omega)-(I_2+I_3)(2\Omega)=0$ (3)

من الدائره الثالثه يكون

$\Sigma E=0=\Sigma IR=I_1(1\Omega)+ I_3(1\Omega)-I_2(1\Omega)$

$\Sigma E=\Sigma IR=-I_1(1\Omega)-I_3(1\Omega)+I_2(1\Omega)=0$ (3)

وبحل المعادلات هذه الثلاث بأى طريقه من الطرق يمكن ايجاد قيم التيارات فمثلا من المعادله ٣ يمكن أن نحصل

$I_2=I_1+I_3$

وبالتعويض عن I_2 فى المعادلتين ١و ٢ نحصل على

$13V=I_1(2\Omega)-I_3(1\Omega)$ (4)

$13V=I_1(3\Omega)+I_3(5\Omega)$ (5)

بضرب المعادله٤ فى ٥ والجمع يكون

$78V=I_1(13\Omega)$ $I_1=6A$

وبالتعويض فى المعادله ٤ نحصل على

$I_3=-1A$

ومن المعادله٣ يكون

$I_2=5A$

ويلاحظ أنI_3 قيمتها سالبه وهذا يعنى أن فرض التيار فى هذا الأتجاه خاطئ والصحيح أن يكون اتجاه التيار فى الدائره بالنسبه ل I_3 وهو العكس والتيار الكلى فى هذه الدائره هو

$I_1+I_3=11A$

والجهد الكلى هو 13V وبذلك فان المقاومه المكافئه هى

$R=13V/11A=1.18\Omega$

قنطرةهويتستون ومقياس الجهد

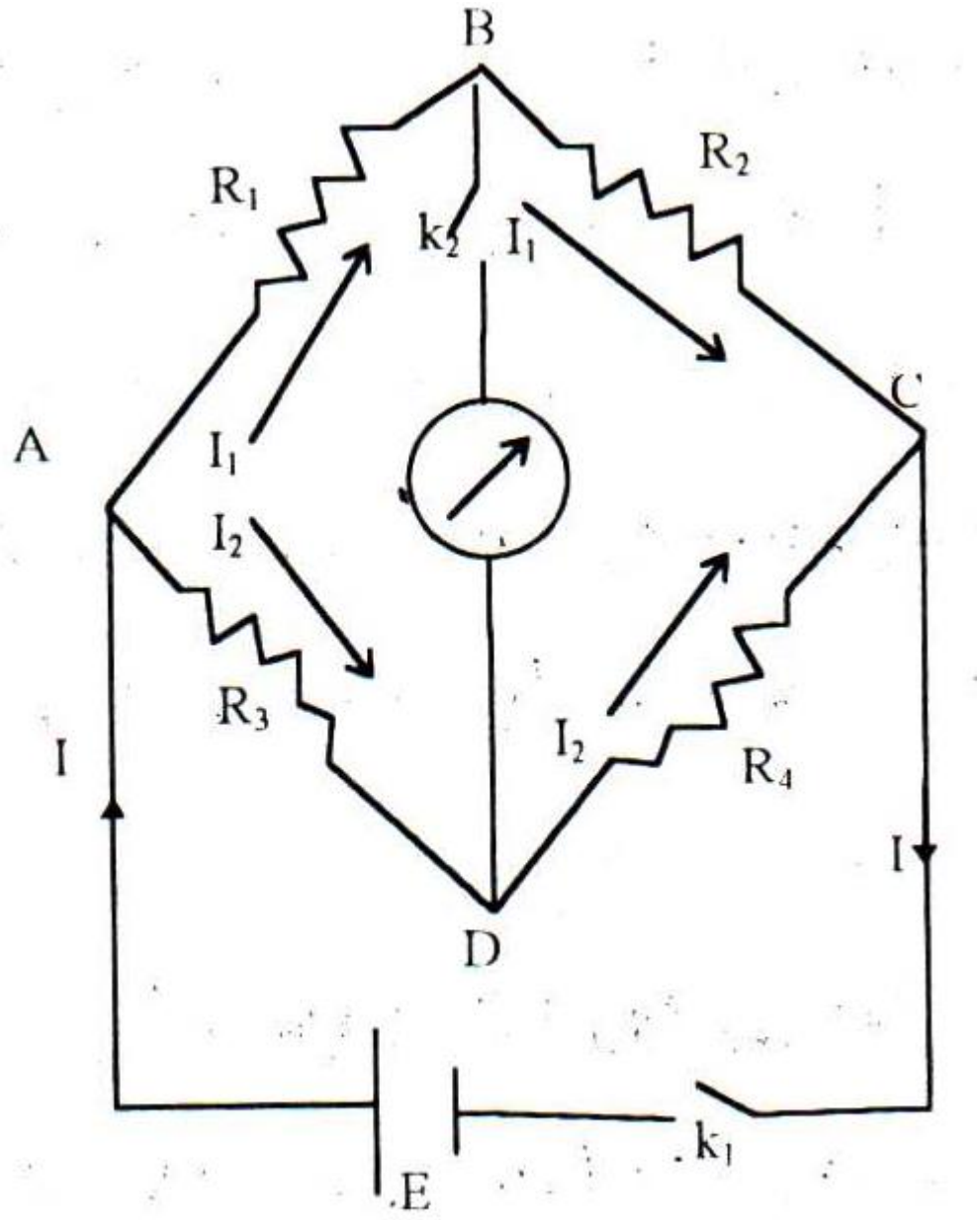
قنطرةهويتستون

نتيجة للاخطأء التى قد تنشأ عند استخدام الاميتر والفولتميتر لقياس التيار وفرق الجهد من ثم المقاومة فانه توجد عدة طرق أخرى تستخدم لذلك دون الاعتماد على قراءة المقايس الخاطئة وذلك بأحداث اتزان فى الدائرة الكهربية بحيث ينعدم التيار المار فى أحد فروعها اي يصبح التيار فى أحد الفروع صفر. ومن أشهر الدوائر التى ينعدم فيها ا التيار دائرة قنطرة هويتستون

نفرض R_1,R_2,R_3,R_4 أربعة مقاومات متصله على الترتيب فى الاذرع AB,BC,CD,DCبالقنطرة المبينة بالشكل(١) فاذا اتصلت النقطتان B,D بجلفانومتر خلال مفتاح k_2 واتصلت النقطتان A,C بقطبى بطارية قوتها الدافعة E خلال مفتاح k_1 فأنه بغلق المفتاحين يتوزع التيار الكهربى فى هذه الشبكه بحيث اذا كان التيار المار فى الجلفانومتر صفرا فان التيار الكلى I سيوزع الى قسمين فقط هى

١-التيار I_1 ويمر فى الفرع ABC

٢- التيار I_2 ويمر فى الفرع ADC



شكل (١)

و بذلك لايمر تيار فى الجلفانومتر اي تكون القنطرة متزنه وفى هذه الحالة جهد النقطة B = جهد النقطة D

$V_{AB}=V_{AD} \quad \therefore I_1 R_1 = I_2 R_3$

وكذلك فرق الجهد

$V_{BC}=V_{DC} \quad \therefore I_1 R_2 = I_2 R_4$

وبقسمة المعادلتين

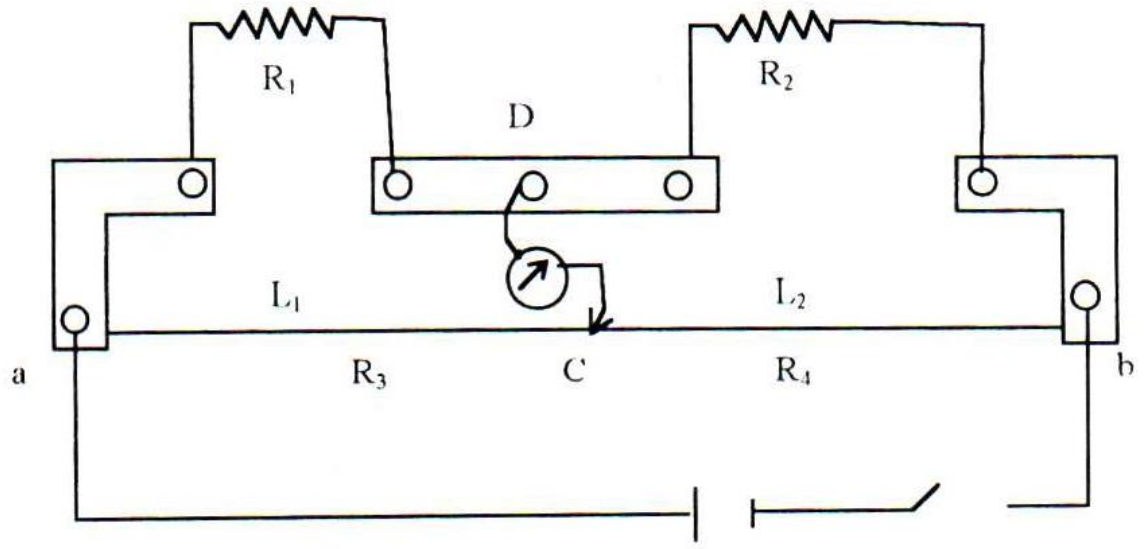
$\therefore R_1 / R_2 = R_3 / R_4$

وهذا هو شرط عدم مرور تيار فى الجلفانومتر(شرط الاتزان)

وتسمى المقاومات الاربع بأذرع القنطرة كما تسمى المقاومتان R_1 وR_2 بذراعى النسبه فى القنطره ولقنطرة هويتستون صور أخرى مثل القنطرة المترية وصندوق البريد وكلاهما تستخدم فى قياس مقاومات مجهوله او المقارنة بين مقاومات بطريق يسهل معها أحداث الاتزان فى الدائرة.

القنطرة المترية

تتكون القنطرة المترية كما بالشكل(٢) من سلك معدنى منتظم المقطع طوله متر ومشدود من نهايته a,b عند قائمتين غليظتين من النحاس (مقاومتها مهملة) وذلك على تدريج طوله متر وتوضع المقاومة R_1 فى أحد الفتحتين والمقاومة الاخرى R_2 المجهولة فى الفتحه الاخرى وتوصل البطارية E بين النقطتين a,b ويوصل أحد طرفى الجلفانومتر بالنقطة D بينما يوصل الطرف الاخر له بزالق يتحرك يمينا ويسارا على السلك ab الى ان نحصل على حالة الاتزان عند النقطة C مثلا



شكل (٢)

وبالمقارنة بقنطرة هوتيستون وتطبيق شرط الاتزان

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\text{مقاومة السلك } ac \text{ التى تناظر المقاومة } R_3}{\text{مقاومة السلك } bc \text{ التى تناظر المقاومة } R_4}$$

واذا كانت ρ مقاومة وحدة الاطوال من سلك القنطرة ab

$\therefore R_1/R_2=L_1\rho/L_2\rho \quad \therefore \quad R_1/R_2=L_1/L_2$

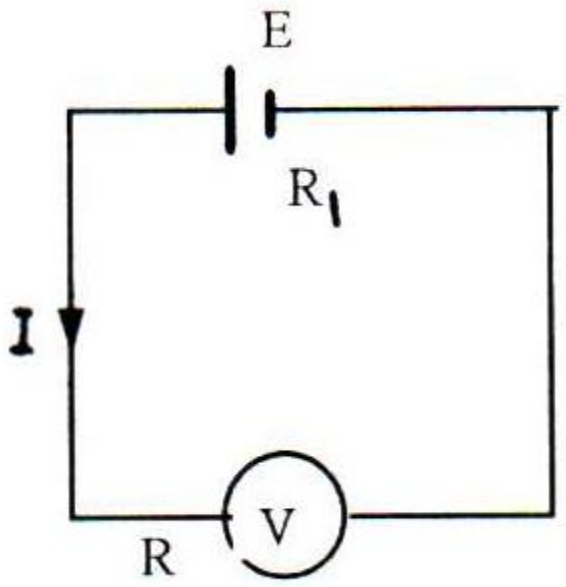
وهذا هو قانون الاتزان فى القنطره المترية ومنه نستنتج قيمة R_2 المجهوله بمعلومية L_2 , L_1, R_1

مقياس الجهد

من المعروف ان فرق الجهد بين نقطتين يقاس بواسطة جهاز يسمى الفولتميتر وان حساسية هذا الجهاز تتأثر بتغير المقاومة لهذا الجهاز ولقياس فرق الجهد بين نقطتين او القوة الدافعة الكهربية لبطارية بطريقة دقيقة يستعمل جهاز يسمى مقياس الجهد

لو نظرنا للدائرة المبينة بالشكل(٣) المجاور حيث E هى القوة الدافعة الكهربية للعمود الذى مقاومتة الداخلية R_1 والمقاومة الداخلية للفولتميتر R نجد ان التيار المار عباره عن $I=E/R+R_1$ وفرق الجهد الذى يقرأه الفولتميتر $V=IR$

$$\therefore V= [E/R+R_1]\, R = E\frac{R}{R+R_1}$$

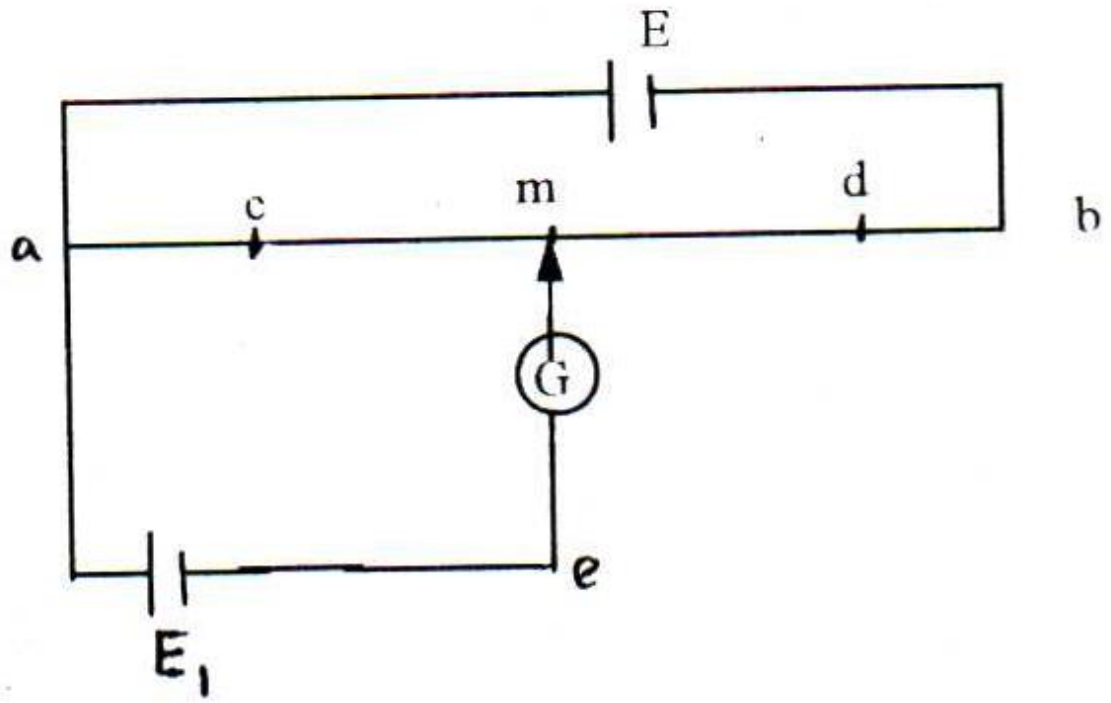


شكل (٣)

من ذلك نرى ان الفولتميتر يسجل قيمة فرق الجهد مساويا تماما للمقدار E فى حالة واحده فقط وهى ان يكون المقدار $\frac{R}{R+R_1}$ يساوى الوحده وهذا لا يتأتى الا اذا كانت R_1 تساوى صفرا اي ان شرط الحصول على قيمة صحيحة ومطابقة لقيمة القوه الدافعة الكهربية هو استعمال مصدر مقاومته الداخلية تساوى صفرا وهذا فى الواقع غير ممكن وبذلك فان القيمة المسجلة بواسطة الفولتمتير دائما ما تكون أقل من الواقع لذا يفضل دائما ان يكون مقاومة الفولتميتردائما لا نهائية حتى تكون R أكبر بكثير جدا من R_1 ولذلك فأن

مقياس الجهد يستعمل لقياس القوة الدافعة الكهربية من العمود أو فرق الجهد بين طرفى دائره وذلك دون أخذ تيار من العمود أو الدائره.

ويتركب مقياس الجهد فى أبسط صوره من سلك مقاومة طوله متر منتظم المقطع مشدود على لوحه خشبيه عليها مسطرة مدرجه ويتصل طرفاه بمصدر جهد ثابت يسمح بان يمر تيار ثابت طول مدة التجربه ويعتبر مقياس الجهد أداه هامه ودقيقة فى قياس القوة الدافعه الكهربية أو فرق الجهد عبر موصل كهربى اذ لايمرفيه قدر من التيار يمكن ان يؤثر على صحة القياس فأذا مر تيار كهربى فى دائره الشكل(٤) وكانت (c,d) نقطتين على سلك المقياس بعدهما L_1, L_2 على الترتيب



شكل (٤)

فأن فرق الجهد بين النقطتين (a,b) V_{ab} هو $V_{ab}=iL\rho$ حيث ρ هى مقاومة وحدة الاطوال من سلك مقياس الجهد

$V_{ac}=iL_1\rho$, $V_{ad}=iL_2\rho$

حيث $L_1\rho$ هى مقاومة وحدة الاطوال من سلك ac

$L_2\ \rho$ هى مقاومة وحدة الاطوال من سلك ad

$$\therefore\ V_{ac}/V_{ad}= L_1 /L_2$$

فأذا وصلنا النقطة a بالقطب الموجب لعمود كهربى E_1(أصغر من E) بحيث ان فرق الجهد بين طرفى السلك ae والدائره مفتوحه أكبر منه بين ac وأصغرمنه بين ad فأن e ستكون اعلى جهدا من c وأقل جهدا من d فأذا وصلت النقطة e بالنقطة c بواسطة جلفانومتر فأن التيار يسرى من e الى c فى حين ان توصيل النقطة e بالنقطة d سيؤدى الى مرور تيار من d الى e ولابد ان هناك نفطة مثل m تقع على السلك بين d الى c يكون عندها فرق الجهد بين am مساويا فرق الجهد بينae والدائره مفتوحه أو يساوى القوه الدافعة الكهربية للعمود E_1 وعندئذ يكون جهد النقطة m مساويا الجهد النقطة e ولن يمر تيار بينهما اذا وصلا بجلفانومتر وتسمى النقطة m عندئذ نقطة الاتزان الخاصة بالعمود E_1 والذى لن يخرج منه تيار وبهذا نكون قد عادلنا فرق الجهد بين ea أو القوه الدافعه الكهربية للعمود مع فرق الجهد بين am وتيين لنا ما سبق ان لمقياس الجهد ميزه عن الفولتميتر فى أنه يقيس فرق الجهد والدائره مفتوحه أى بدون أن يأخذ تيار

بعض تطبيقات على مقياس الجهد

المقارنة بين قوتين دافعتين كهربيتين لعمودين

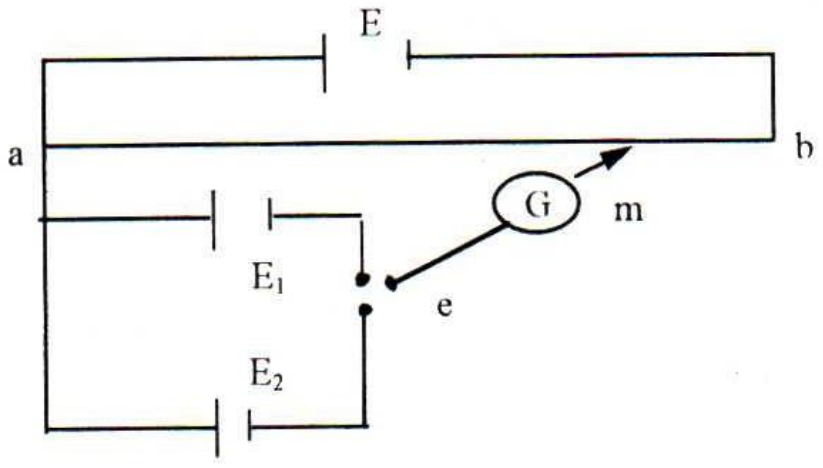
صل طرف السلك ab ببطارية ذو مقاومة داخلية صغيره بحيث تعطى تيارا ثابتا ثم صل أحدى البطاريتين ولتكن E_1 كما فى الشكل(٥) بحيث يكون طرفيها الموجب متصل بالطرف a المتصل بالقطب الموجب للبطارية E(ذات قوه دافعة كهربية أكبر من كل من البطاريتين المراد المقارنه بينهما) والطرف الاخرللبطارية متصل بزالق فأننا نجد أنه عند نقطة معينه m على سلك المقياس ينعدم الانحراف فى الجلفانومتر دلالة على عدم مرور تيار فى

دائرة الجلفانومتر ويحدث هذا عندما يكون جهد النقطه e مساويا جهد القطب السالب للعمود الكهربى المكون للدائره الفرعيه(السفلى) ويكون عندها فرق الجهد بين النقطتين الناشئ عن مرور التيار فى الدائره الاساسية مساويا للقوه الدافعه الكهربية E_1 للعمود أى أن$E_1=i(L_1\rho)$ حيثL_1 هو طول الجزء من السلك am وتسمى النقطه التى ينعدم عندهاانحراف الجلفانومتر بنقطة الاتزان حيث تقع هذه النقطه على بعد L_1 من النقطه a فى حالة العمود E_1 ونقطة الاتزان مع العمودE_2 تقع على بعد L_2 من النقطة a وعلى ذلك فأن $E_1=i(L_2\rho)$

وحيث أن التيار i المار فى سلك المقياس لن يتغير فى الحالتين طالما أن الجلفانومتر لن يمر به تيار وبقسمة المعادلتين

$E_1 /E_2 =L_1 /L_2$

وبهذا يمكن المقارنه بين قوتين دافعتين كهربيتين وكذلك يمكن تعين كل منهما على حده اذا عرفنا شدة التيار i و ρ(مقاومة وحدة الاطوال)



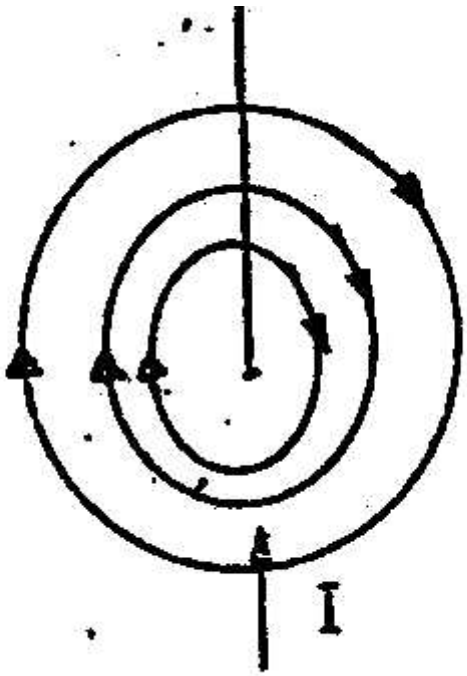
تأثيرات التيار الكهربى

التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى

كان يعتقد ان الظواهرالمغناطيسيه لا علاقة لها بالظوهر الكهربيه حتى لاحظ العالم اروستد علم ١٨١٩ انحراف ابره مغناطيسيه نتيجة لمرور تيار كهربى فى سلك قريب منها فأجرى تجربه بأن أحضر سلك يمر يمر به تيار كهربى ووضعه عموديا فوق إبره مغناطيسيه فلم يشاهد أى تأثيرولكنه عندما وضع الأبره موازيه للسلك وجد ان الأبره إنحرفت عن موضعها فى إتجاه_يكاد يكون عموديا على إتجاه السلك ثم عندما عكس اتجاه التيار لاحظ انحراف الابره فى الاتجاه المضاد وهذا يدل على ان هناك قوه مؤثره على الأبره المغناطيسية نتيجه لمرور التيار ووجود هذه القوه يدل على أن هناك مجال مغناطيسى ناتج عن مرور التيار

ويتحدد إتجاه المجال المغناطيسى بالنسبه لاتجاه التيار المار فى سلك بواسطة قاعدة اليد اليمنى التى تنص بأنه اذا أمسك السلك باليد اليمنى بحيث يشير الابهام الى انجاه التيار كان اتجاه الاصابع الاخرى حول السلك هو اتجاه المجال

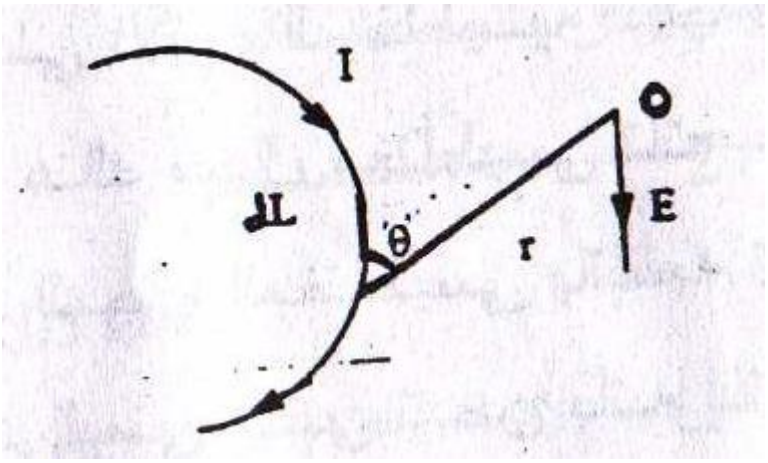
نتبين من ذلك أن خطوط القوه للمجال المغناطيسى لتيار مار فى سلك طويل مستقيم هى دوائر متحده المركز فى مستوى عمودى على اتجاه التيار ويقع مركزها المشترك على السلك نفسه شكل(١)



شكل (١)

شدة المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى ملف دائرى مستوى عند نقطة على محور الملف

من دراستهما على المجال المغناطيسى الناشئ عند نقطة قريبه من سلك يحمل تيارا كهربيا إستنتج لابلاس وأمبير قاعدتهما التى تقضى بأن شدة المجال المغناطيسى عند نقطة o الناشئ عن مرور تيار كهربى I فى طول صغير dL من سلك يتناسب طرديا مع كل من التيار و dL, Sinθ وعكسيا مع r^2 حيث r بعد النقطة عن السلك المار فيه التيار θ الزاويه بين السلك والخط الواصل إليه من النقطه شكل(٢)



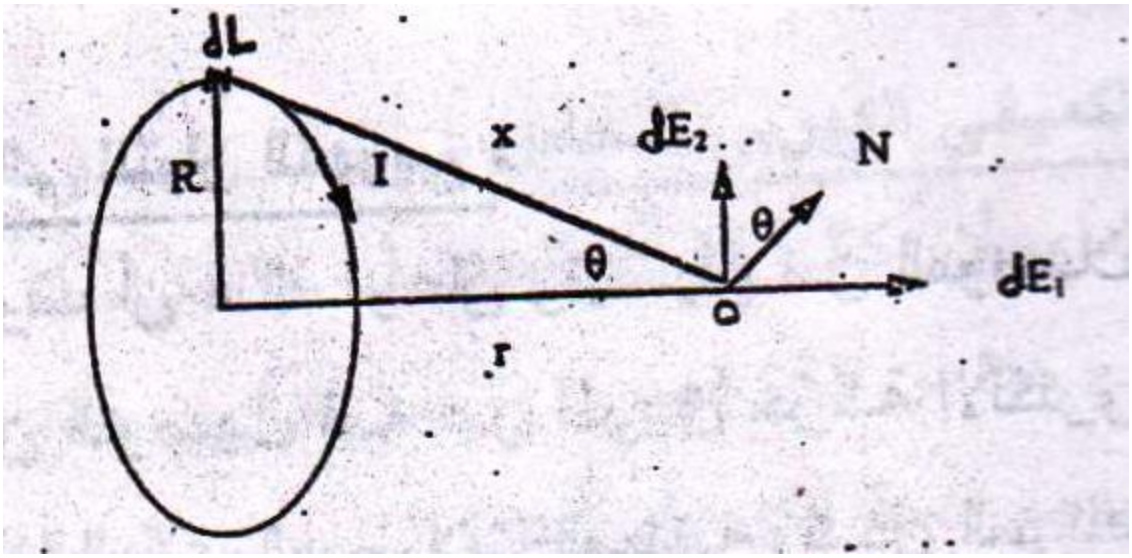
شكل (٢)

أى أن $E=K(IdL\ Sin\theta/r^2)$

ويكون إتجاه المجال عموديا على المستوى الذى يجمع r وdL ولإيجاد شدة المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى ملف دائرى مستوى عند نقطة على محور الملف نفرض أن ملف دائريا عدد لفاته n نصف قطره R يمر فيه تيار شدته I ولتكن نقطه o على محور الملف تبعد مسافه r عن مركزه شكل(٣) ونفرض عنصرا صغيرا dL من هذا الملف وبذلك فأن شدة المجال dE الناشئه عن مرور التيار فى هذا العنصر عند نقطه o طبقا للمعادله $E=K(IdL\ Sin\theta/x^2)$

وبما ان الزاوية بين x وإتجاه المماس للعنصر dL تساوى 90 فإن

$E=K(IdL/x^2)$ وإتجاه هذا المجال هو الخط ON العمودى على كل من dL,x وبتحليل dE الى مركبتين متعامدتين إحدهما رأسية $dE_2=dE\cos\theta$ والأخرى أفقيه $dE_1=dE\sin\theta$ فإن المركبات الناشئه dE_2 العموديه على محور الملف والناشئه عن جميع عناصر الملف يلاشى بعضها بعضا لأن لكل عنصرعنصر نظير مضاد يقابله فى الطرف الأخر من الملف أى أن$\int dE_2=0$ وتبقى المركبات الأفقية dE_1 الموجوده فى إتجاه المحور



شكل (٣)

شدة المجال المغناطيسى عند فى إتجاه محور الملف والناشئه عن مرور التيار فى الملف كله هى

$$E=\int dE_1=\int dE\sin\theta =\int K(IdL/x^2)\sin\theta$$

$$= \int KIR/x^3 \int dL=KIR/x^3(2\pi Rn)=2\pi nIR^2/x^3$$

بالتعوض عن $x^3=(r^2+R^2)^{3/2}$

$$\therefore E=K\,2\pi nIR^2/(r^2+R^2)^{3/2}$$

إذا كانت o فى مركزالملف فأن $r=0$ ويؤول المجال إلى $2\pi nI/R$

التأثير الكيميائى للتيار الكهربى

من المعروف أن هناك نوعان رئيسيان من الموصلات الكهربية النوع الأول يمكن التوصيل فيه عن طريق حركة الألكترونات خلال موصل ويسمى هذا النوع بالموصلات المعدنيه وتدخل السبائك تحت هذا النوع أيضا وبعض المواد مثل الكربون والجرافيت أما النوع الثانى فيتم التوصيل فيه عن طريق

التفاعل الكيميائى نتيجة لحركة الماده من خلال سائل موصل ويسمى بالتوصيل إلالكتروليتى أو الأيونى فعند مرور التيار الكهربى فى بعض محاليل الأملاح والقواعد والأحماض فأن هذه المحاليل توصل التيار الكهربى ويحدث لها تغيرات كيميائيه تعرف بالتحليل الكهربى ويعرف المحلول الموصل بالألكتروليت الذى يتكون عاده من أيونات موجبه وأيونات سالبه . فلو كان لدينا ملح كبريتات النحاس مثلا أذبناه فى الماء فأن جزئ كبريتات النحاس تتأين بمجرد الذوبان مكونا أيونات نحاس موجبه وأيونات كبريتات سالبه وهذه الأيونات تكون حره الحركه فى أى إتجاه قبل مرور التيار الكهربى

وعند مرور التيار فى الإلكيتروليت فأن أيونات النحاس الموجبه تتجه للقطب السالب المسمى بالمهبط حيث تفقد شحنتها ويترسب النحاس على المهبط وأما أيونات الكبريتات السالبه تتجه للقطب الموجب المسمى بالمصعد وتفقد شحنتها ويسمى الإناء المحتوى على محلول كبريتات النحاس وقطبى التحليل بالفلتامتر ويستخدم التحليل الكهربى فى تحضير وطلاء وتنقية المعادن وكذلك تحليل المياه وفى إعادة شحن البطاريات

تعين المكافئ الكيميائى الكهربى للنحاس

إستنتج فاراداى أن كتلة الماده المنفصله W أثناء التحليل الكهربى تتناسب طرديا مع كلا من شدة التيارI وزمن مرور هذا التيارt أى أن تتناسب طرديا مع كمية الكهرباء It الماره فى المحلول

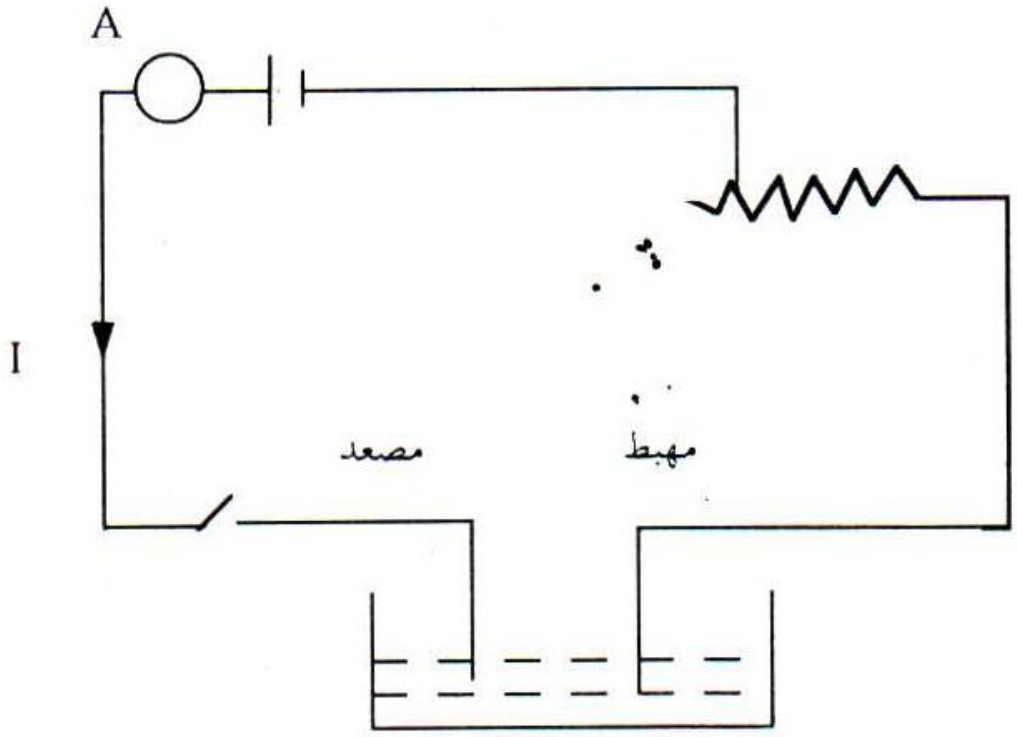
$$W \propto It \qquad \therefore \quad W=kIt$$

حيث k ثابت يعتمد على نوع الماده المنفصله من عملية التحليل ويسمى المكافئ الكيميائى الكهربى ويعرف بأنه وزن الماده المترسبه أو المنفصله بامرار كمية كهربية قدرها ١كولوم أى بإمرار تيار شدته ١ أمبير لمدة ثانية

ولتعين المكافئ الكيميائى الكهربى للنحاس توصل دائره كما بالشكل(٤) وينظف المهبط جيدا ويوزن ثم تمرر التيارات بغلق المفتاح وفى نفس الوقت تسجل زمن التيارt وبعد هذا الزمن توقف التيار وتزن المهبط بعد تجفيفه

نوجد وزن النحاس المترسب w تم نطبق المعادله $W=kIt$

ومنه نحسب k



التأثير الحرارى للتيار الكهربى

سبق أن ذكرنا أن فرق الجهد بين نقطتين فى مجال كهربى يقدر بالشغل المبذول لنقل وحدة الشحن من إحدى النقطتين الى النقطة الأخرى فى عكس إتجاه المجال

كذلك يعرف فرق الجهد بين نقطتين فى دائره كهربية بالشغل المبذول لنقل وحدة الشحن من النقطه الأقل جهدا إلى النقطة الأعلى جهدا أى أن
الشغل W = V الجهد

ولما كانت حركة وحدة الشحن من النقطة الأقل جهدا إلى النقطه الأعلى جهدا فإن ذلك يترتب عليه أن تزداد طاقة الشحنه الكهربيه بهذا المقدار نفسه أى طاقة وحدة الشحن تزداد بمقدار V أى أن الشغل اللازم بذله لنقل كولوم واحد عبر طرفى موصل فرق الجهد بين طرفيه واحد فولت هو جول واحد

فأذا مر تيارفى سلك شدته I لمده من الزمن t كانت مقدار الشحنه الكليه الماره مساويه It كولوم إذن يكون الشغل المبذول فى نقلها W=Itv هذا الشغل الذى يبذل على حساب المصدر الكهربى يتحول الى طاقه qv أو Itvمكتسبه بواسطة الشحن أوالالكترونات المتحركه فى الموصل وتصطدم الألكترونات الحره بذرات الموصل أثناء حركتها فتفقد إليها طاقتها ثم تكتسب الالكترونات طاقه جديده أثناء مسارها الحر حتى يكرر التصادم ثانيه وهكذا وبذلك تنتقل الطاقة المكتسبه بواسطة الالكترونات الحره والتى تشكل الشحنه الكهربيه المتحركه فى إتجاه واحد فى الموصل أما جزيئات الموصل فإن إكتسابها للطاقه يجعلها تتذبذب حول موضع إتزانها وتزداد سعة ذبذبة الذرات بإذدياد الطاقه المكتسبه ويظهر ذلك فى شكل حراره تتولد فى السلك المار فيه التيار الكهربى

أى أن الطاقه الكهربية تحولت هنا إلى طاقه حراريه ولكن وحدات الطاقه الكهربيه وهى الجول لا تساوى وحدات الطاقه الحراريه وهو السعر ولإيجاد العلاقه بين الجول والسعر فإن معادلة تكتب فى الشكل التالى

الطاقه الكهربيه بالجول= ثابتx الطاقة الحراريه بالسعر

وهذا الثابت يسمى بالمعامل الحرارى الكهربى أو المكافئ الميكانيكى الحرارى وقد وجد بالتجربه أن الحراره المتولده فى سلك يمر فيه التيار الكهربى تتناسب مع:-

أ- شدة التيار المار فى السلك $Q\alpha I$

ب- فرق الجهد عبرطرف الموصل $Q\alpha v$

ج- زمن مرور التيار $Q\alpha\ t$

ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادله

$$Q\alpha Ivt$$

$$Q=JIvt \quad or\ Ivt=JQ$$

حيث J مقدار ثابت ويسمى المكافئ الميكانيكى الحرارى

$$W=JQ$$

ويعرف المكافئ الميكانيكى الحرارى بالشغل لتوليد كميه من الحراره تساوى واحد سعر ويساوى ٤,١٨ جول / سعر

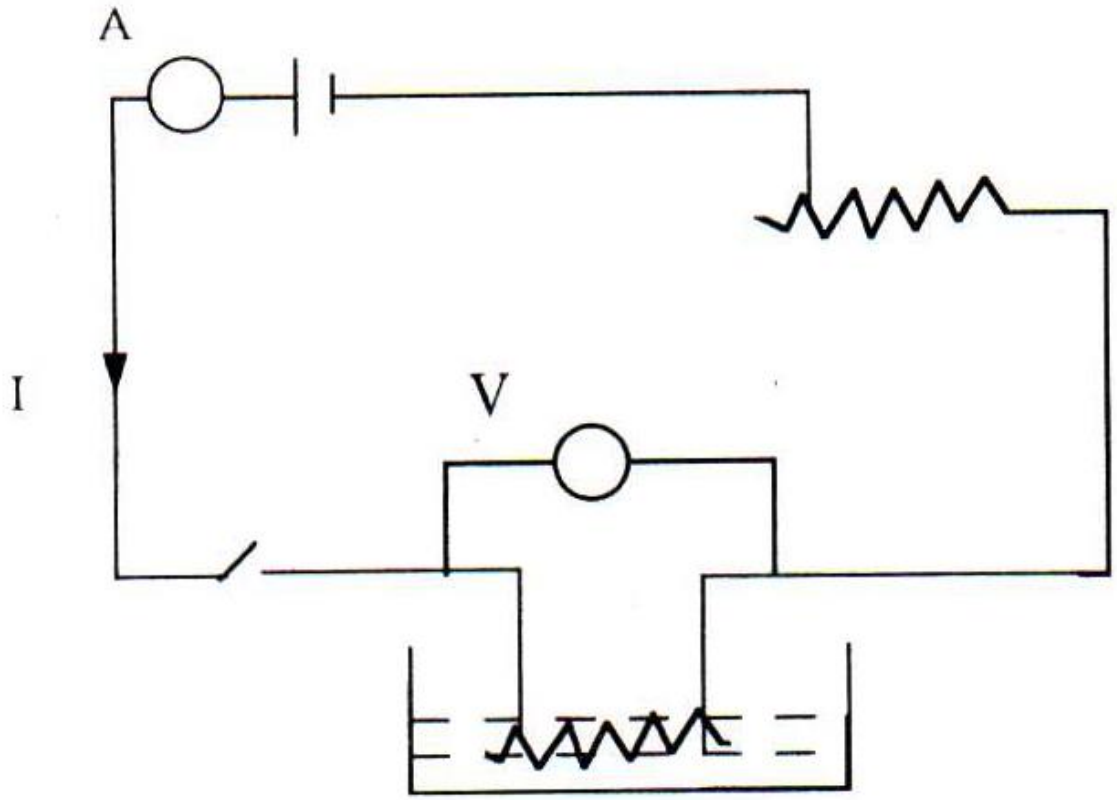
تعيين المكافئ الميكانيكى الحرارى

نوصل على التوالى ملف تسخين وأميتر وبطاريه ومقاومه متغيره ومفتاح ضاغطِ شكل (٥) يغمر الملف فى كميه معلومه الوزن m من الماء كافيه لتغطيته داخل مسعر معزول حراريا ونعين درجة حرارة الماء T_1.
يمرر فى الملف التيار الكهربى ثابت I لمدة t ثانيه مع إستمرار تحريك الماء. يعين فرق الجهد عبر طرفى الملف بواسطة فولتميتر متصل معه على التوازى. نعين درجة حرارة المسعر ومحتوياته فى نهاية الزمن t ولتكن T_2

$vIt=J(ms+m_1 s_1)(T_2 -T_1)$

$J=vIt/(ms+m_1 s_1)(T_2-T_1)$ J/Cal

حيث m_1 وزن المسعر فارغ وs_1 الحراره النوعيه وكذلك m وs وزن الماء وحرارته النوعيه على الترتيب



شكل(٥)

القدره الكهربيه

عرفنا أن المقاومه الكهربيه تنتج من تصادم الألكترونات الحره بأيونات الموصل مما يؤدى الى إتساع إهتزاز هذه الأيونات حول موضع إستقرارها وبذلك ترتفع درجة حراره الموصل وتتحول الطاقه الكهربيه الى طاقه

حراريه فلو مر تيار شدته I فى زمن قدره t خلال مقاومه R فرق الجهد بين طرفيها V فإن الشغل المبذول W يساوى eV حيث e الشحنه الماره وتساوى It وحيث أن V=IR.

الشغل أو الطاقه الكهربيه المبذوله W لإمرار التيار المذكور هى

$W=IV.t=I^2Rt=V^2/Rt$

وتعرف القدره P بأنها معدل إستنفاذ الطاقه أوهى الطاقه المستنفذه فى وحدة الزمن وحيث أن الطاقه الكهربيه أو الشغل الكهربى

$W=VIt, \quad P=IVt/t=IV, \quad V=IR \quad \therefore P=I^2R=V^2/R$

واذا قسنا شدة التيار فى دائره بالأمبير وفرق الجهد بالفولت كانت قدرة الدائره بالوات والوات= جول/ ثانيه

فى محطات توليد الكهرباء يلزم نقل الطاقه الكهربيه لأماكن بعيده بطريقتين إما بجهد عالى وتيار منخفض أو جهد منخفض وتيار عالى حيث أن P=VI

وحيث أن الحراره الناتجه فى موصل نتيجه مرور تيار فيه تتناسب مع مربع التيار حسب قانون جول فأن الحراره الناتجه فى الأسلأك أو الكابلأت الناقله للتيار من محطة التوليد إلى المناطق الأخرى فى حالة نقلها بتيار عالى وجهد منخفض ستكون كبيره جدا

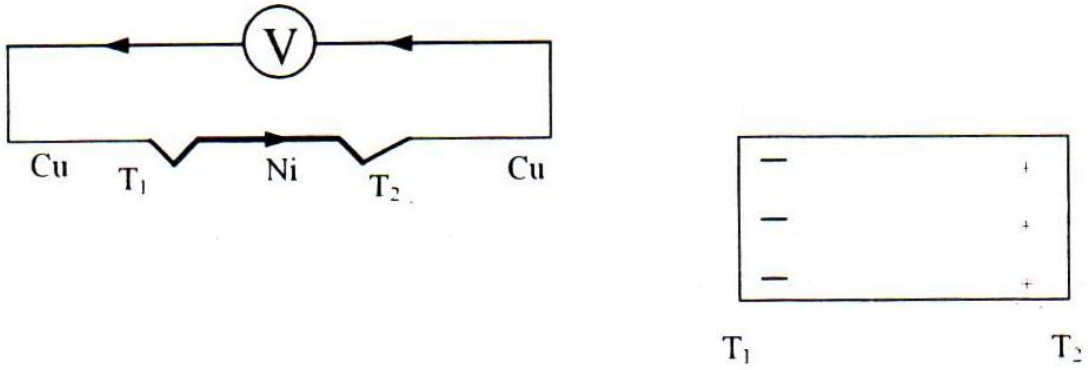
ولتقليل كمية الحراره الناشئه عن ذلك يلزم نقلها بصوره جهد عالى وتيار منخفض ولذلك فأن التيار التجارى ينقل إلى مسارات بعيده بجهد عالى وتيار منخفض وتسمى هذه العمليه بخطوط الجهد العالى

الظواهر الكهروحراريه

تتضمن الظواهر الكهروحراريه ظاهرة سيبك وبلتيه وطومسون وسوف نتعرض لكل منهم بايجاز

ظاهرة سيبك

حقبقة ظاهرة سيبك تنحصر فى أنه اذا سخنت أحد نقطتى اتصال معدنيين مختلفين (النيكل والنحاس مثلا) يكونان دائره مغلقه كما بالشكل(١) بينما تبقى نقطة الاتصال الأخرى بارده ينشأ نتيجه لذلك تيارا كهربيا وتعرف القوه الدافعه الكهربيه الناشئه بالقوه الدافعه الكهروحراريه وهذه القوه تتوقف على نوع الموصلين وعلى الفرق بين درجتى حرارة نقطتى الاتصال ويسمى المعدنان المكونان لنقطتى الاتصال بالازدواج الحرارى



شكل (١)

ولهذه الظاهره أغراض تطبيقيه٠ هامه منها

١- تصميم مقاييس لدرجات الحراره تسمى الأزدواج الحرارى وعلاوه على تميزها فى دقة القياس فانها تصلح لأغراض لايصلح معها استخدام الترمومتر العادى مثل درجات الحراره المرتفعه جدا والمنخفضه جدا ويتم اختيار نوع المعدنين طبقا للمدى المراد قياسه فى درجات الحراره

٢-فى تصميم جهاز الثرموبيل

وهو من الاجهزه التى تستخدم فى قياس الأشعاع الحرارى حيث يتكون من عدة ازدواجات حراريه(بهدف مضاعفة القوه الدافعه الناشئه) المتصله على التوالى)

ظاهرة بلتيه

هذه الظاهره هى عكس ظاهرة سيبك فعند مرور تيار كهربى فى سلسله مكونه من عدد من المعادن المختلفه فانه عند أحد طرفى السلسله يحدث ارتفاع فى درجة الحراره فى حين تنخفض درجة حرارة موضع الاتصال الأخر

فمثلا عند مرور تيار كهربى من بطاريه فى سلكين احدهما من النحاس والأخرمن النيكل فأن موضع الاتصال الذى يمر فيه التيار من النحاس الى النيكل ترتفع درجة حرارته أى تتحول فيه الطاقه الكهربيه الى طاقه حراريه فى حين تنخفض درجة حرارة موضع الأنصال الاخر وهذا يؤكد أن ظاهرة بلتيه ليست تاتجه من مقاومة السلك لمرور التيار لان ذلك يتسبب فى ارتفاع درجة الحراره عند كل من موضعى الاتصال على السواء بالاضافه الى ان درجة حرارة الاتصالين يعتمد على اتجاه مرور التيار فعند عكس اتجاه التيار يصبح الطرف البارد ساخنا والطرف السخن بارد

ظاهرة طومسون

جوهر هذه الظاهره ينحصر فى أنه فى المعدن الوحد يمكن أن تنشأ قوه دافعه كهروحراريه اذا اختلفت درجة حرارة أجزائه بعضها عن بعض (أى وجود انحدار حرارى على طول القضيب). اذا سخن أحد طرف ساق من النحاس وبرد الطرف الأخر ينشأ عن ذلك فرق فى الجهد بين الطرفين وتنشأ القوه الدافعه الكهروحراريه فى هذه الحاله من تراكم الشحنات الحره عند أحد طرفى القضيب دون الأخر وبالتالى يصبح جهد الطرف البارد سالب نظرا

لان كثافة الالكترونات الحره تكون أكبر عند الطرف البارد من المعدن ويكون جهد الطرف السخن موجبا نظرا لكثافة الالكترونات الحره عنده

وتفسر ظاهرة سيبك وبلتيه بفرض وجود تغير فجائى فى الجهد عند وصلة فلزين فعند اتصال فلزين ويكون أحد الفلزين أعلى حهدا من الأخر وعندما تكون درجة حرارة الوصلتين واحده فان القوه الدافعه الكهروحراريه فى الدائره تساوى صفر ولكن اذا سخنت احدى الوصلتين يزيد فرق الجهد عندها عنه عند الوصله البارده ويمر تيار فى الدائره (ظاهرة سيبك)

وعند مرور تيار كهربى فان الألكترونات فى الفلز الذى دالة شغله أكبر تملك طاقه أكبر وتنتقل هذه الألكترونات ذات الطاقه الأكبر الى الفلز الذى طاقة الكتروناته أقل وعند حدوث ذلك فأن الألكترونات ذات الطاقه العاليه تعطى جزاءا من طاقتها الزائده الى الفلز الثانى ويكون نتيجة ذلك اشعاع وطاقه حراريه عند نقطة الاتصال بين مادتى الفلز وعلى العكس عند مرور التيار الكهربى فى اتجاه عكسى أى ان الألكترونات ذات الطاقه المنخفضه سوف تنتقل عبر نقطة الاتصال الى الفلز الأخر الذى به الكترونات ذات طاقه عاليه فأن هذه الأالكترونات ذات الطاقه المنخفضه عند انتقالها سوف تزداد طاقتها على حساب ذرات الفلز الثانى ونتيجة لذلك سوف يحدث امتصاص للطاقه الحراريه عند نقطة الاتصال