٣

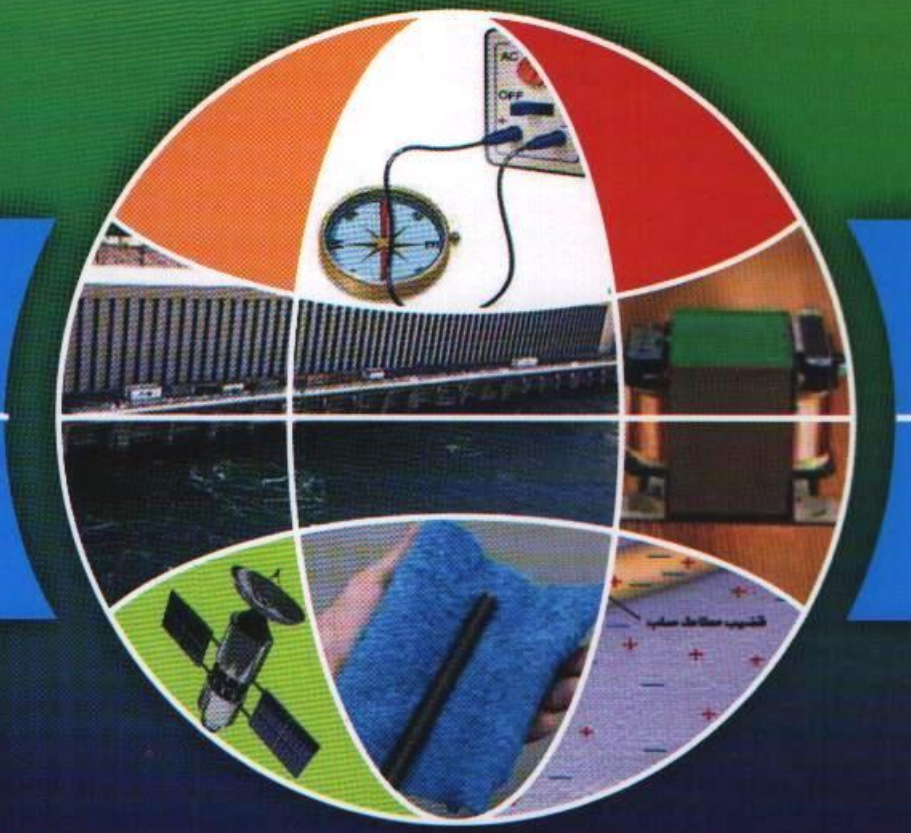
طبقًا للمنهج المطور

تبسيط الفيزياء

للصف الثالث الثانوي

الفصل الدراسي الأول

بنين - بنات



تأليف
يحي محمود دبور

الفهرس

- الفصل الأول : الكهرباء الساكنة.
- الفصل الثاني: المجالات الكهربية.
- الفصل الثالث:الكهرباء التيارية
- الفصل الرابع: الدوائر الكهربية.
- الفصل الخامس: المغانط.
- الفصل السادس: الحث الكهرومغناطيسية

الفصل الأول

الكهرباء الساكنة

الشحنة الكهربية

تعريف

الكهرباء الساكنة (الكهروسكونية) : وهي دراسة الشحنات الكهربية التي تتجمع وتحتجز في مكان ما، ويمتد أثر الكهربية الساكنة عبر نطاق واسع، ابتداءً من البرق ووصولاً إلى المستوى المجهري (الدقيق جداً إلى أبعاد تقدر بوحدتي الميكرو والنانومتر) للذرات والجزئيات.

ولبيان ما يدل عليه التعريف أعلاه، لعل كل واحد منا مشى يوماً ما على سجادة، واحتك حذاؤنا بنسيج السجادة، مما ولد شرارة كهربية عندما لمسنا أشخاصاً آخرين، فهل من تشابه بين هذه الشرارة والبرق؟ ولاختبار ذلك، قام العالم بنيامين فرانكلين عام 1752م بإجراء تجربة على طائرة مصنوعة من الورق، حيث طير تلك الطائرة، وقام بربط مفتاح في نهاية الخيط المتصل بالطائرة.

وحينما اقتربت عاصفة رعدية من الطائرة، لاحظ بنيامين أن ألياف الخيط الرخوة قد انتصبت واعتدلت وابتعد بعضها عن الآخر (أي تنافرت).

وعندما قرب بنيامين إصبعه من المفتاح، لاحظ حدوث شرارة كهربية وبالرغم من أن تلك التجربة كانت رائعة إلا أنها تعد مجازفة خطيرة، ومن حسن حظ فرانكلين أنه نجا، فقد حاول أحد العلماء إعادة إجراء التجربة ذاتها إلا أنه مات صعقاً من شدة تفريغ الشحنات الكهربية عندما لامس المفتاح في جسده. وبعد ذلك استهلت سلسلة من البحوث طرقها في مجال الكهرباء، لاسيما بعد أن أظهرت تجربة فرانكلين أن البرق يشبه الشرر الناجم عن الاحتكاك. وتلك التأثيرات الكهربية المتولدة بتلك الطريقة تسمى بالكهرباء الساكنة.

الأجسام المشحونة:

هل لاحظت انجذاب شعرك نحو المشط عند تمشيطه في يوم جاف، أو انتصاب شعرك بعد دلكه ببالون؟ لعلك لاحظت أيضا التصاق الجوارب أحيانا بعضها ببعض عند إخراجها من مجففة الملابس .ولعلك لاحظت أيضا انجذاب قصاصات الورق إلى المسطرة البلاستيكية الموضحة في التجربة الاستهلالية من المؤكد وجود قوة جديدة كبيرة نسبيا سببت تسارع القصاصات إلى أعلى بمقدار أكبر من تسارعها إلى أسفل الناتج عن قوة الجاذبية الأرضية.

هناك اختلافات أخر بين هذه القوة الجديدة وقوة الجاذبية الأرضية؛ فقصاصات الورق لا تنجذب إلى المسطرة إلا بعد دلك المسطرة، كما أن المسطرة تفقد خاصية الجذب هذه بعد فترة قصيرة .أما قوة الجاذبية الأرضية فلا تحتاج إلى دلك حتى تتولد، كما أنها لا تفقد خاصية الجذب هذه .لاحظ قدماء الإغريق آثارا مماثلة للمسطرة المدلوكة عندما دلكوا العنبر الكهرمان . وكلمة العنبر في العربية تكافئ كلمة "إلكترون" في الإغريقية، و تسمى خاصية الجذب هذه الآن الكهرباء. وتسمى الأجسام التي تبدي تفاعلا كهربائيا بعد الدلك الأجسام المشحونة.

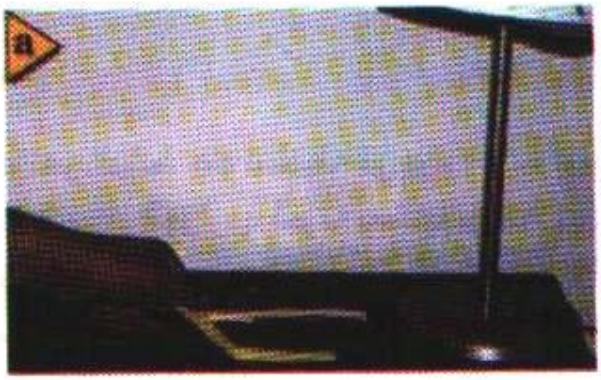
الشحنات المتماثلة:

يمكنك استكشاف التفاعلات الكهربائية باستخدام أجساك بسيطة، مثل شريط لاصق شفاف. اطو 5mm تقريباً من الشريط حتى يخذ ذلك الجزء مقبضاً ثم ثبت الجزء المتبقي من الشريط -8 12cm على سطح جاف وأملس كسطح الطاولة. بالطريقة نفسها، ثبت شريطاً آخر مماثلاً للشريط الأول بالقرب منه، ثم اسحب الشريطين بسرعة عن شطح الطاولة وقرب أحدهما إلى الآخر. ستلاحظ أن هناك خاصية جديدة تجعلهما يتنافران، فلقد أصبحا مشحونين كهربائياً. ولأنهما أعدا بالطريقة نفسها، فيجب أن يكون لهما النوع نفسه من الشحنات، وهكذا تتوصل إلى أن الجسمين اللذين لهما النوع نفسه من الشحنة يتنافران.

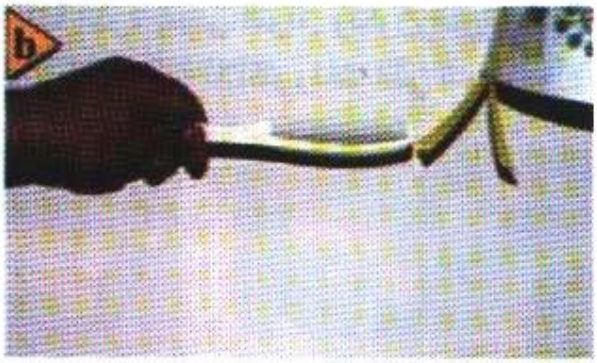
الشحنات المختلفة:

ألصق الآن شريطاً على سطح الطاولة ثم ضع الشريط الثاني فوق الأول. كما هو موضح بالشكل، استخدم مقبض الطرف السفلي لكلا الشريطين لسحبهما معاً عن سطح الطاولة، ثم ادلكهما بأصابعك حتى تختفي قوة التجاذب بينهما وبين يدك، لقد أزلت كل الشحنات الكهربائية عنهما. أمسك مقبض كل شريط بيد، وبسرعة اسحب الشريطين أحدهما بعيداً عن الآخر، ستجد أنهما قد شحنا، وانجذبا ثانية إلى يديك، فهل سيتنافران؟

لا، سيتجاذبان الآن لان لهما شحنتين مختلفتين، إلا أنهما لن يبقيا مشحونين فترة طويلة، لأنهما سيلتصقان معاً.



هل الشريط هو الجسم الوحيد الذي يمكنك شحنه؟ ألصق مرة أخرى شريطا لاصقا على سطح الطاولة، وضع شريطاً آخر فوقه، علم الشريط السفلي بالرمز B والشريط العلوي بالرمز T ثم اسحب الشريطين معاً، فرغهما من الشحنات، ثم اسحب أحدهما بعيداً عن الآخر، وألصق طرف مقبض كل منهما في طرف طاولة أو أسفل غطاء مصباح أو أي جسم مماثل. ينبغي أن يعلقا بحيث يتدليان إلى أسفل، على أن تكون بينهما مسافة قصيرة. أخيراً ادلك مشطاً بلاستيكياً أو قلم حبر بقطعة صوف، وقربه إلى أحد الشريطين، ثم قربه إلى الشريط الآخر. ستلاحظ أن أحد الشريطين ينجذب إلى المشط، بينما يتنافر الآخر معه، كما هو موضح بالشكل أدناه، يمكن الآن استكشاف تفاعلات الأجسام المشحونة مع الأشرطة اللاصقة.



التجريب بالشحنات:

حاول شحن أجسام أخرى، مثل كؤوس زجاجية، وأكياس بلاستيكية، ادلكهما بمواد مختلفة مثل الحرير والصوف والأغلفة البلاستيكية، وإذا كان الجو جافاً فحك حذاءك وأنت تمشي بالسجاد وقرب إصبعك إلى قطعتي الشريط اللاصق. ولاختبار الحرير أو الصوف، ضع يدك في كيس بلاستيكي، ثم ادلك الكيس بقطعة الصوف أو الحرير، ثم أخرج يدك من الكيس، وقربه هو والقطعة التي دلكتها إلى الشريطين اللاصقين.

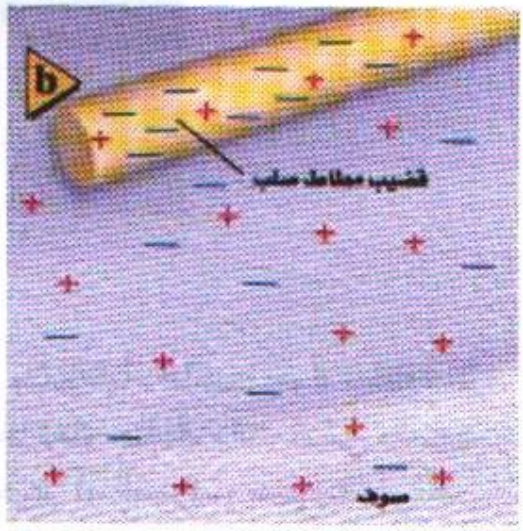
ستجذب معظم الأجسام المشحونة أحد الشريطين، وتتنافر مع الآخر، ولن تجد أبداً جسماً يتنافر مع كلا الشريطين، إلا أنه يمكن أن تجد بعض الأجسام تجذب كلا الشريطين، فمثلاً ستجد أن إصبعك يجذب كلا الشريطين.

أنواع الشحنات:

يمكنك من خلال تجاربك إعداد قائمة بالأجسام المعلمة ب B، التي لها نفس شحنة الشريط الملصق على سطح الطاولة. كما يمكنك إعداد قائمة أخرى للأجسام المعلمة ب T التي لها شحنة مماثلة لشحنة الشريط العلوي، ستلاحظ أن هناك قائمتين فقط، لأنه لا يوجد إلا نوعان من الشحنات، أطلق عليهما فرانكلين الشحنة الموجبة والشحنة السالبة. ووفق تسمية فرانكلين فإن المطاط والبلاستيك يشحنان بشحنات سالبة عند دلهكما أما الزجاج والصوف فيشحنان بشحنات موجبة.

الصورة المجهرية للشحنة

توجد الشحنات الكهربائية في الذرات. وقد اكتشف ج.ج. طومسون عام 1897م أن المواد جميعها تحتوي على جسيمات صغيرة جداً سالبة الشحنة تسمى الالكترونات. وبين عامي 1909 و 1911م اكتشف أرنست رذرفورد – تلميذ طومسون من نيوزلندا – أن هناك جسماً مركزياً ذا شحنة موجبة تتركز فيه كتلة الذرة يسمى النواة. وتكون الذرة متعادلة عندما تكون الشحنة الموجبة في النواة مساوية للشحنة السالبة للإلكترونات التي تدور حول النواة.



يمكن إزالة إلكترونات المدارات الخارجية للذرات المتعادلة بإضافة طاقة إليها، وعندها تصبح هذه الذرات التي تفقد إلكترونات موجبة الشحنة، وأي مادة تتكون من هذه الذرات الفاقدة للإلكترونات تكون موجبة الشحنة، ويمكن أن تبقى الإلكترونات المفقودة حرة غير مرتبطة أو أن ترتبط مع ذرات أخرى منتجة جسيمات سالبة السحنة، إن اكتساب الشحنة من وجهة النظر المجهرية ماهي إلا عملية انتقال للإلكترونات.

فصل الشحنة:

إذا دلك جسمان متعادلان معاً فقد يصبح كل منهما مشحوناً. ففي حالة دلك المطاط بالصوف تنتقل الإلكترونات من ذرات الصوف إلى ذرات المطاط، كما هو موضح بالشكل أعلاه، وتعمل الإلكترونات التي اكتسبها المطاط على جعل شحنته الكلية سالبة، في حين تجعل الإلكترونات التي فقدها الصوف شحنته الكلية موجبة. أما المجموع الكلي للشحنة على الجسمين فيبقى هو نفسه. أي أن الشحنة محفوظة وهذا يعني أن الشحنات المفردة لا يمكن أن تفنى أو تستحدث وكل ما يحدث هو أن الشحنات الموجبة والسالبة تنفصل من خلال عملية انتقال الإلكترونات.

العمليات المعقدة التي تؤثر في إطارات سيارة أو شاحنة متحركة يمكن أن تؤدي إلى أن تصبح الإطارات مشحونة. كما أن العمليات التي تحدث داخل السحب الرعدية تجعل أسفل السحابة

سالب الشحنة، وأعلاها موجب الشحنة، وفي كلتا الحالتين السابقتين لا تستحدث الشحنة بل تنفصل.

الموصلات والعوازل

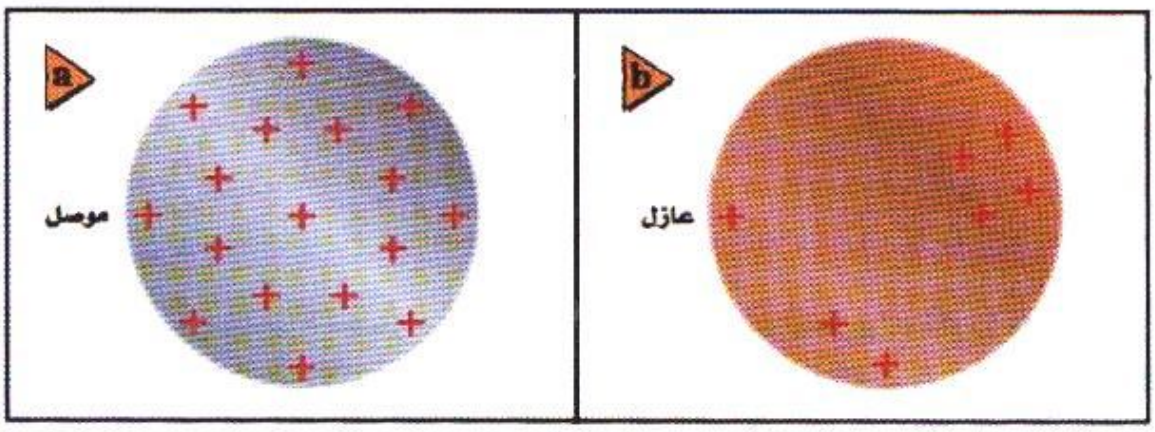
تعريف

١. الموصلات: هي مواد جيدة التوصيل للكهربية لوفرة الالكترونات الحرة (ضعيفة الارتباط بالنواة وتتواجد في المدارات الخارجية للذرة) بها، مثل الفضة والنحاس والحديد والرصاص، والألمونيوم والجرافيت.

٢. **العوازل:** وهي مواد رديئة (بطيئة) التوصيل للكهربية لندرة الالكترونات الحرة بها، مثل الزجاج والبور سلين، والخشب الجاف والملابس والجو الجاف، وغيرها.

فلو أمسكت قضيباً بلاستيكياً أو مشطاً من منتصفه، وقمت بدلك أحد طرفيه (التكهرب بالدلك) ستجد أن الطرف المدلوك فقط هو الذي أصبح مشحوناً، بمعنى أن الشحنات التي انتقلت إلى البلاستيك وبقيت في المكان الذي وضعت فيه ولم تتحرك (كهرباء سكونية) فهذه المواد التي لا تنتقل خلالها الشحنة بسهولة هي وصف للمادة العازلة.

ولو قمنا بوضع قضيب فلزي (معدني) فوق قضيب بلاستيكي بحيث تم عزله، أو أحيط تماماً بعوازل، فإذا لمست بعد ذلك أحد طرفي القضيب الفلزي بمشط مشحون، فستجد أن الشحنة تنتشر بسرعة داخل القضيب، ويطلق على المادة التي تسمح بانتقال الشحنات عبرها بسهولة وصف المادة الموصلة، حيث تعمل الالكترونات الحرة بالمادة الموصلة على حمل ونقل الشحنة الكهربية أو توصيلها خلال الفلز. ومن هنا فإن الفلزات تعتبر موصلات جيدة للكهرباء.



وبما أن ما تم ذكره متعلق بالجوامد (المواد الصلبة) ، فإنه من الممكن الحصول على غازات موصلة، فمن المعروف أن الغاز عازل للكهرباء، ولكي يصبح الغاز موصلاً، نقوم بتطبيق فرق جهد على غاز محصور يؤدي إلى توليد مجال كهربي بين طرفي الجهد يعمل على تسريع أيونات الأشعة الكونية، والأشعة الطبيعية الموجبة الساقطة نحو الغاز، فتتسارع باتجاه الكاثود (القطب السالب) فتصدم بالكتروناته وتسلمها طاقة حركية تخرج بها الالكترونات متجهة نحو المصعد (الآنود) (القطب الموجب) وتعمل هذه الالكترونات في طريقها على تأيين الغاز، وبذلك أصبح الغاز موصلاً للكهربية وكذلك الأمر بالنسبة للهواء، فمع أن الهواء يعد عازلاً إلا أنه تحت ظروف معينة تتحرك الشحنات خلاله كما لو أنه موصلا فالشرارة الكهربية التي تحدث بين إصبعك وبين مقبض الباب الفلزي بعد دلك قدميك بالسجاد تفرغ الشحنات من جسمك فيصبح جسمك متعادلاً كهربياً لأن الشحنات الزائدة الموجودة على جسمك قد انفصلت عنه وبهذه الكيفية يفرغ البرق شحنات السحب الرعدية.

وفي كلتا الحالتين يصبح الهواء موصلاً لفترة زمنية معينة (فترة تفريغ الشحنات الزائدة) ولكن من المعروف أن الموصل يحتوي على شحنات حرة الحركة، فمن أين تأتي الشحنات في حالة العوازل؟ لكي تحدث الشرارة أو البرق يجب أن تتكون جسيمات مشحونة حرة الحركة في الهواء المتعادل، وفي حالة البرق تكون الشحنات الزائدة في الغيمة وعلى الأرض كبيرة بشكل يكفي لفصل الالكترونات من جزئيات الهواء.

ونتيجة ذلك تتكون البلازما (غاو متأين بدرجة كبيرة) والتي تتألف من الالكترونات والذرات الموجبة الشحنة والذرات السالبة الشحنة، والتي تعد موصل جيد للشحنة الكهربية، ويولد تفريغ الشحنات الذي يحدث بين الأرض والسحب الرعدية من خلال هذه الموصلات، قوساً مضيئاً ولامعاً يسمى البرق، وفي المقابل في حالة إصبعك والمقبض الفلزي فيسمى التفريغ الكهربي بالشرارة الكهربية.

حلول (1-1) مراجعة

١. بعد دلك مشط بسترة مصنوعة من الصوف يمكنه جذب قصاصات ورق صغيرة. لماذا يفقد المشط هذه القدرة بعد عدة دقائق؟

بسبب انتهاء عملية التفريغ الكهربي للشحنات الكهربية الزائدة من المشط المشحون كهربياً إلى قصاصاً الورق، فيصبح المشط حينها متعادل كهربياً لأنه خسر الشحنات الزائدة التي أكسبته الشحنة بموجب دلكه.

3. كرة البيلسان صغيرة مصنوعة من مادة خفيفة، مثل البوليسترين وتكون عادة مطلية بطبقة من الجرافيت أو الألمونيوم. كيف يمكنك أن تحدد ما إذا كانت كرة البيلسان المعلقة بخيط عازل متعادلة كهربائياً أو ذات شحنة موجبة أو ذات شحنة سالبة؟

نقوم بإحضار كرة بيلسان أخرى نعلم أنها مشحونة بشحنة مثلا سالبة ونضعها بالقرب من كرة البيلسان مجهولة الشحنة فإذا تنافرتا فإن كرة البيلسان لم تعد مجهولة الشحنة بل سالبة الشحنة، وإذا تجاذبتا فإن كرة البيلسان لم تعد مجهولة الشحنة بل موجبة الشحنة، وإذا يم يظهر أي تأثير متبادل (تنافر أو تجاذب) بين الكرتين فهذا يعني أن الكرة مجهولة الشحنة متعادلة كهربيا (ليس لها شحنة).

4. يشحن قضيب مطاط بشحنة سالبة عند دلكه بالصوف. ماذا يحدث لشحنة الصوف؟ ولماذا؟

بما أن الصوف قبل الدلك متعادل كهربيا، إلا أنه حين يتم دلك قضيب المطاط بقطعة الصوف فيشحن القضيب بشحنة سالبة، فإنه في المقابل يشحن الصوف بشحنة موجبة وذلك لأنه فقد (خسر) من شحنته السالبة (التي كانت في حالة تعادل قبل الدلك مع شحنته الموجبة) لصالح قضيب المطاط، فيختل التعادل الكهربي للصوف فتطغى كمية الشحنة الموجبة على كمية الشحنة السالبة فيصبح الصوف ذو شحنة كلية غالبة موجبة.

5. افترض أنك علقت قضيبا فلزيا طويلا بخيوط حرير بحيث أصبح القضيب معزولا، ثم لامست أحد طرفي القضيب الفلزي بقضيب زجاجي مشحون، فصف كيف يشحن القضيب الفلزي؟ وما نوع الشحنات عليه؟

يشحن القضيب الفلزي بواسطة اللمس أو التوصيل، فبما أن القضيب الفلزي غير مشحون (متعادل كهربيا، بمعنى عدد الشحنات السالبة فيه يساوي عدد الشحنات الموجبة) فإنه عند لمسه بقضيب زجاجي مشحون، فإن الشحنات تنتقل من على القضيب الزجاجي إلى شحنات القضيب الزجاجي الملامس له.

6. يمكنك شحن قضيب مطاط بشحنة سالبة بدلكه بالصوف. ماذا يحدث عند دلك قضيب نحاس بالصوف؟

عند دلك قضيب نحاس بالصوف، فإن النحاس يكتسب شحنة موجبة إذ تنتقل الالكترونات من ذرات النحاس إلى ذرات الصوف وتعمل الالكترونات الإضافية التي اكتسبها الصوف على جعل شحنته الكلية سالبة، في حين تجعل الالكترونات التي فقدها النحاس شحنته الكلية موجبة، أما المجموع الكلي للشحنة على الجسمين فيبقى هو نفسه.

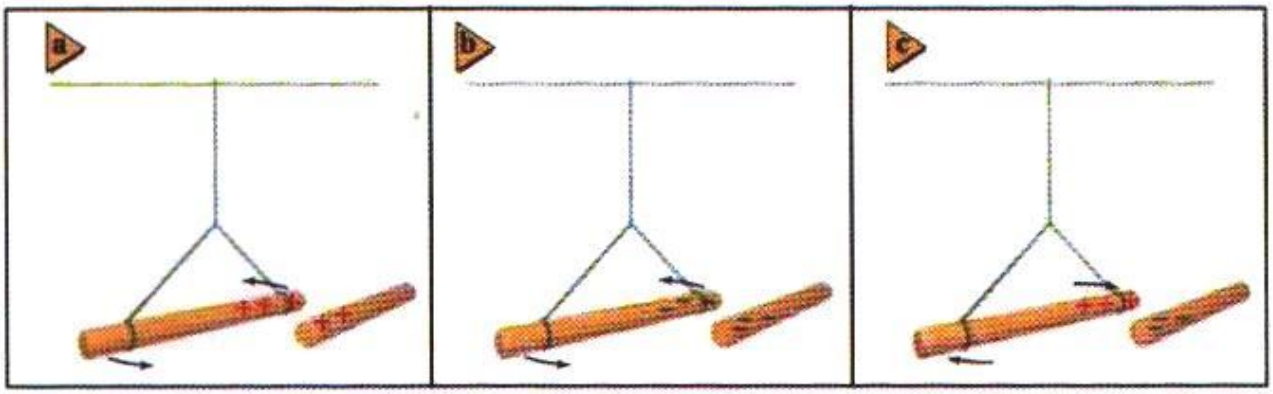
7. يمكن أن يفترض أحدهم أن الشحنة الكهربائية نوع من الموائع تتدفق من أجسام لديها فائض في المائع إلى أجسام لديها نقص فيه لماذا يكون نموذج التيار الثنائي الشحنة أفضل من نموذج المائع الأحادي؟

يعد نموذج التيار الثنائي الشحنة أفضل من نموذج المائع الأحادي، لأن نموذج المائع الأحادي أحادي الاتجاه (غير عكسي) في حين أن التيار الثنائي للشحنة يمكن من خلاله نقل الشحنة من أجسام لديها نقص في الشحنة إلى أجسام لديها فائض في الشحنة وليس فقط نقل وتدفق الشحنة من اتجاه الفيض إلى اتجاه النقص (الغيض) ويتم ذلك مثلا عن طريق تلامس الأجسام المشحونة (التوصيل) أو بالدلك.

القوة الكهربية

القوى الكهربية هي قوة كبيرة جداً مقارنة بقوة الجاذبية الأرضية وذلك لأن القوى الكهربية تنتج تسارعاً للأجسام (المشحونة) (تنافر أو تجاذب) أكبر من التسارع الذي ينتج بفعل قوة الجاذبية الأرضية وفي سياق المقارنة بين القوتين، فإن القوة الكهربية إما أن تكون قوة تنافر (للشحنات المتماثلة) أو قوة تجاذب (للشحنات المختلفة) في حين أن قوة الجاذبية الأرضية عبارة عن قوة تجاذب فقط، حين تجذب الأجسام عامة باتجاه الأرض (مصدر الجذب). وعلى مر السنوات الماضية أجرى العديد من العلماء محاولات متعددة لقياس القوة الكهربية فأجرى العالم دانيال برلوني صاحب الأعمال المتعلقة بالموائع عدة قياسات بسيطة عام 1760. وبين هنري كافندس في سبعينيات القرن الثامن عشر أن القوى الكهربية يجب أن تخضع لقانون التربيع العكسي إلا أن خجله الشديد دفعه إلى عدم نشر عمله، ولقد اكتشفت مخطوطاته لاحقاً بعد أكثر من قرن، بعد أن كرر علماء آخرون عمله.

- القوة المؤثرة في الأجسام المشحونة:



كما يتضح من الشكل المبين أعلاه، إذا ما قربنا قضيباً ذو شحنة سالبة من قضيب مطاطي ذو شحنة سالبة، فإن القضيب المعلق سيتحرك مبتعداً حيث تتنافر الشحنات السالبة على القضيبين، وليس من الضروري أن يحدث تلامس بين الجسمين (القضيبين) ليظهر هذا التأثير ، إنما يكتفي بتقريبهما مسافة معينة من بعضها البعض بتبادل التأثير، فالقوة التي يؤثر بها قضيب مشحون على قضيب آخر مشحون يحمل شحنة إما معاكسة أو مماثلة بالقوة الكهربائية والتي قد تكون قوى تنافر كهربية وتكون بين الشحنات المتماثلة (سالب مع سالب، أو موجب مع موجب) عند تقريبهما من بعضهما إلى حد كافٍ يسمح بظهور الأثر الناتج عن تقارب الشحنات. وإما تكون القوى الكهربية قوة تجاذب، ففي حال قربنا قضيباً مشحوناً بشحنة سالبة من قضيب آخر مشحون بشحنة موجبة فسينجذب كل منهما نحو الآخر. وبوجه عام فإن القوى الكهربية تكون أكبر كلما تقاربت الشحنات الكهربية من بعضها البعض لتتبادل التأثير.

ويمكن إيجاز ما سبق التوصل إليه من تجارب الأشرطة اللاصقة وسلوك القضبان المشحونة كما يلي:

- هناك نوعان من الشحنات الكهربية: موجبة وسالبة.
- تؤثر الشحنات بعضها في بعض بقوى دون التلامس بينهما (هناك مسافة تفصل بين الشحنات التي تتبادل التأثير).
- تكون القوة أكبر عندما تكون الشحنات متقاربة.
- الشحنات المتشابهة تتنافر والشحنات المختلفة تتجاذب.

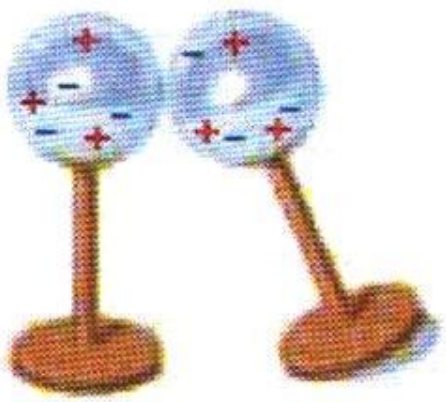
لا تعتبر طريقة الكشف عن نوع وماهية الشحنات الكهربية بواسطة الأشرطة اللاصقة والقضيب المعلقة في الهواء طريقة دقيقة جدا، ولذا عوضاً عن ذلك يستخدم جهاز يدعى الكشاف الكهربي الذي يكشف عن نوع الشحنات ونوع التأثير المتبادل (قوى تنافر أو تجاذب) ويتكون الكشاف الكهربي من قرص معدني مثبت على ساق معدنية متصلة بقطعتين معدنيتين خفيفتين رقيقتين تسميان ورقتي الكشاف . ويبين الشكل التالي كشافاً كهربياً متعادلاً. لاحظ أن الورقتان معلقتان بصورة حرة داخل وعاء زجاجي شفاف (لرؤية ما يحدث للورقتين من تجاذب أو تنافر) ونعلق للحد من تأثير تيارات الهواء على الورقتين المشحونتين).

فإذا تلامست ورقتي الكشاف فهذا يعني أن الورقتين تحملان شحنات مختلفة (تجاذب) وإذا انفرجت الورقتان فإنهما يحملان شحنات متماثلة (تنافر) ولتوضيح ذلك، عندما يلمس قضيب مشحون بشحنة سالبة قرص كشاف كهربي باللمس (التوصيل) فإن الالكترونات تنتقل من القضيب إلى القرص وتتوزع هذه الشحنات السالبة (الالكترونات) على جميع سطوح الفلز وكما هو موضح في الشكل أعلاه تشحن الورقتان بشحنات سالبة وتتنافران، لذا تنفرجان، ويصبح الكشاف الكهربي مشحوناً، ويسمى شحن الجسم المتعادل بملامسته جسماً آخر مشحوناً الشحن بالتوصيل. وبنفس الكيفية تنفرج الورقتان أيضاً عند شحن الكشاف بشحنات موجبة، والسؤال هو كيف يمكن تحديد نوع الشحنة التي يحملها الكشاف الكهربي (هل سالبة أم موجبة؟) والإجابة هي أنه يمكن تحديد نوع الشحنة بملاحظة ورقتي الكشاف المشحون عبر الإناء الزجاجي الشفاف عند تقريب قضيب بشحنة معلومة من قرصه، إذ يزداد انفراج الورقتين أكثر عند

تقريب جسم شحنته مشابهة لشحنة الكشاف وسيقل انفراج ورقتي الكشاف إذا كانت شحنة الكشاف مخالفة لشحنة الجسم المقرب كما في الشكل الآتي:

علمنا سابقاً أن الشريط اللاصق المشحون قد انجذب نحو إصبعك عند تقريب لإصبعك منه. وبالطبع كان الإصبع متعادلاً كهربياً. بمعنى فيه عدد من الشحنات الموجبة يساوي عدد الشحنات السالبة. كما وعلمنا أيضاً أن الشحنات الكهربية تتحرك بسهولة في الموصلات الكهربية، كما أن القوى الكهربية في حالة الشرارة الكهربية قد حولت المادة العازلة كالهواء إلى مادة موصلة. وللبحث عن نموذج مناسب للقوة التي أثر فيها إصبعك في الشريط (افترض أنك قربت إصبعك أو أي جسم آخر متعادل (غير مشحون) إلى جسم ذي شحنة موجبة، فإن الشحنات السالبة في إصبعك المتعادل كهربياً ستنجذب نحو الشحنات الموجبة للجسم، وتتنافر الشحنات الموجبة للإصبع مع الجسم الموجب الشحنة. ويبقى إصبعك متعادلاً كهربياً، إلا أن الشحنات الموجبة فيه تفصل عن الشحنات السالبة وتكون القوة الكهربية كبيرة بين الشحنات القريبة بعضها إلى بعض، وبناءً على ذلك فإن فصل الشحنات الموجبة والسالبة للجسم المتعادل كهربياً يكون ناتج و بشكل أساسي عن قوى تجاذب الشحنات السالبة للأصبع مع الشحنات الموجبة للجسم المشحون.

و هناك طريقة لشحن الأجسام غير التوصيل تسمى الشحن بالحث (التأثير) افترض لديك كرتين فلزيتين متماثلتين متعادلتين معزولتين قد تلامستا كما في الشكل الآتي:



فعند تقريب قضيب مشحون إلى إحداهما تنتقل الالكترونات من الكرة الأولى إلى الكرة الثانية البعيدة عن القضيب بسبب قوى تنافر مع الشحنات السالبة التي على القضيب وتصبح سالبة الشحنة في حين تصبح الكرة الأولى (القريبة من القضيب) موجبة الشحنة كما في الشكل الآتي:

وإذا تم فصل الكرتين عن بعضهما والقضيب قريب، فإنهما ستشحنان بشحنتين متساويتين مقداراً ومختلفتين نوعاً كما في الشكل الآتي:-

وتسمى عملية شحن الجسم دون ملامسته الشحن بالحث.

كما يمكن شحن جسم مفرد بالحث عن طريق التأريض، وهي عملية توصيل جسم بالأرض للتخلص من الشحنات الفائضة، حيث تعتبر الأرض بمثابة كرة كبيرة، لها القدرة على استيعاب كمية كبيرة من الشحنة دون أن تظهر عليها آثار الشحنة. فإذا لامس جسم مشحون الأرض فإن كل شحناته غالباً تنتقل إلى الأرض.

فلو قربنا قضيباً مشحوناً بشحنة سالبة من قرص كشاف كهربي متعادل، فإن الشحنات السالبة (الالكترونات) تتنافر مع شحنات القضيب وتتحرك مبتعدة نحو الورقتين، وإذا أرضنا (لامسنا) الطرف الآخر للقرص البعيد عن القضيب المشحون فإن الالكترونات تنتقل من الكشاف إلى الأرض إلى أن تتعادل الورقتان أي تنطبقا . وبفصل التأريض قبل إبعاد القضيب المشحون تصبح شحنة الكشاف موجبة (لأنه فقد الكترونات لصالح الأرض) ويمكن استخدام التأريض كمصدر للالكترونات فعند تقريب قضيب موجب الشحنة من قرص كشاف كهربائي على أن يكون قرصه متصلاً من الطرف المقابل بالأرض (مؤرض) فإن الالكترونات تنجذب من الأرض نحو الكشاف الكهربائي ويصبح سالب الشحنة. وعند القيام بهذه الخطوة فغن الشحنات المستحثة على الكشاف الكهربي تكون مخالفة لشحنة الجسم المؤثر الجسم المشحون الذي يقترب

من قرص الكشاف) ولأن القضيب المشحون لم يلمس قرص الكشاف الكهربي فإن شحنة القضيب لم تنتقل ولذلك يمكن استخدامه أكثر من مرة لشحن الأجسام بالحث.

قانون كولوم

وينص قانون كولوم على أن: القوة الكهربية المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين تساوي ثابت كولوم مضروبا في حاصل ضرب مقداري الشحنتين مقسوماً على مربع المسافة بينهما.

وبصيغة رياضية:

$$F = \frac{K\, q_A\, q_B}{r^2}$$

حيث K: ثابت كولوم ويساوي $9\times 10^9 \ \frac{N.m^2}{c^2}$

q_A: مقدار الشحنة الأولى بوحدة الكولوم (C)

q_B : مقدار الشحنة الثانية بوحدة الكولوم (C)

r: المسافة الفاصلة بين الشحنتين وتقاس بوحدة المتر (m)

F: القوة الكهربية (إما تنافر في حال كانت الشحنتين q_A، q_B متماثلتين، وإذا كانت مختلفتين فإن القوة الكهربية هي قوة تجاذب) وتقاس القوى الكهربية بوحدة نيوتن (N)

ومن العلاقة السابقة يتضح أنه كلما قلت المسافة الفاصلة بين الشحنتين q_A، q_B كلما زادت القوة الكهربية بينهما والعكس صحيح، حيث العلاقة العكسية التي تجمع بين مربع المسافة الفاصلة والقوة الكهربية.

تقاس الشحنة الكهربية بوحدة الكولوم (c) (نسبة إلى العالم كولوم) والكولوم هي كمية معيارية أو قياسية (ليس لها اتجاه) للشحنة بدلالة مقدار القوة التي تولدها وسميت بذلك الاسم وفق النظام العالمي للوحدات (SI) والكولوم الواحد يساوي مقدار شحنة 6.24×10^8 إلكترون أو بروتون ومقدار شحنة الإلكترون المفرد تساوي 1.6×10^{-19} ويسمى مقدار شحنة الإلكترون الشحنة الأساسية.

ويمكن من خلال قانون كولوم أن نحسب مقدار القوة الكهربية التي تؤثر بها الشحنة q_A في الشحنة q_B، كما يمكن في المقابل حساب القوة الكهربية التي تؤثر بها الشحنة q_B على الشحنة q_A .

القوة الكهربية كمية متجهة شأنها في ذلك شأن جميع القوى الأخرى المتواجدة والمعروفة في الطبيعة، لذا تحتاج متجهات القوة إلى تحديد المقدار والاتجاه. وبما أن قانون كولوم يزودنا بمقدار القوة فقط، فإننا بحاجة إلى تحديد اتجاهها، وذلك برسم مخطط للشحنات وتفسير العلاقات بينها بدقة، فإذا قرب جسمان B, A مشحونان بشحنتين موجبتين (متماثلتين) احدهما إلى الآخر فإن كلاً منهما سيؤثر في الآخر بقوة تنافر، أما إذا كانت شحنة الجسم B مثلا سالبة فستكون القوة التي يؤثر بها كل منهما في الآخر قوة تجاذب، كما هو مبين في الشكل أعلاه.

استراتيجيات حل المسألة:

مسائل القوة الكهربائية:

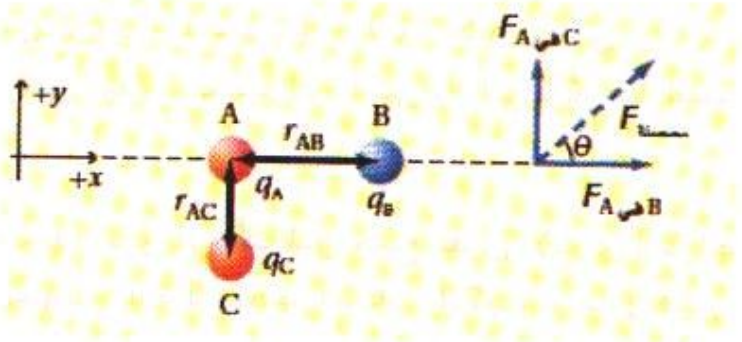
استخدم هذه الخطوات لإيجاد مقدار واتجاه القوة المتبادلة بين الشحنات:

١. ارسم مخططاً للنظام مبيناً فيه المسافات والزوايا جميعها بمقياس رسم مناسب.
٢. ارسم متجهات القوى في النظام.
٣. استخدم قانون كولوم لإيجاد مقدار القوة.
٤. استعمل مخططك والعلاقات المثلثية لإيجاد اتجاه القوة.
٥. نفذ العمليات الجبرية على كل من الأرقام والوحدات. وتحقق أن الوحدات متوافقة مع المتغيرات في السؤال.
٦. تأمل إجابتك جيداً، هل هي منطقية؟

إذا كانت الكرة A مشحونة بشحنة مقدارها $+6.0\mu C$ ، وموضوعة على بعد 4.0cm إلى يسار كرة أخرى B بشحنة مقدارها μC 3.0- فأجب عما يلي:

a. احسب مقدار واتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A
b. إذا وضعت كرة ثالثة C مشحونة بشحنة مقدارها μC 1.5+ مباشرة أسفل الكرة A، وعلى بعد 3.0cm منها فما مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A؟

- أنشئ المحاور الإحداثية، وارسم الكرات عليها.
- بين المسافات الفاصلة بين الكرات، وسمها، ودونها على الرسم.
- ارسم متجهات القوة، وسمها، ودونها على الرسم.



$$F_{A\text{ في }B} = K\frac{q_A q_B}{r_{AB}^2}$$

$$=(9.0\times10^{9}\,\mathrm{N.\frac{m^2}{C^2}})\,\frac{(6.0\times10^{-6}\,\mathrm{C})\,(3.0\times10^{-6}\,\mathrm{C})}{(4.0\times10^{-2}\,\mathrm{m})^2}$$

$$=1.0\times10^{2}\,\mathrm{N}$$

$$F_{A\text{ في }C} = K\frac{q_A q_C}{r_{AC}^2}$$

$$=(9.0\times10^{9}\,\mathrm{N.\frac{m^2}{C^2}})\,\frac{(6.0\times10^{-6}\,\mathrm{C})\,(1.5\times10^{-6}\,\mathrm{C})}{(3.0\times10^{-2}\,\mathrm{m})^2}$$

$$=9.0\times10^{1}\,\mathrm{N}$$

للكرتين A, C شحنتان متماثلتان، لذلك ستتنافران. وسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة C في الكرة A إلى أعلى.

$$F_{\text{المحصلة}}=\sqrt{F^2_{A\text{ في }B}+F^2_{A\text{ في }C}}$$

$$=\sqrt{(1.0\times10^{2}\,\mathrm{N})^2+(9.0\times10^{1}\,\mathrm{N})^2}$$

$$=130\,\mathrm{N}$$

$$\tan\theta=\frac{F_{A\text{ في }C}}{F_{A\text{ في }B}}$$

$$\theta=\tan^{-1}\left(\frac{F_{A\text{ في }C}}{F_{A\text{ في }B}}\right)$$

$$=\tan^{-1}\left(\frac{9.0\times10^{1}\,\mathrm{N}}{1.0\times10^{2}\,\mathrm{N}}\right)$$

$$=42^{\circ}$$

$F_{\text{محصلة}}=130\,\mathrm{N},\ 42^{\circ}$ فوق المحور السيني بزاوية مقدارها

8. تفصل مسافة مقدارها 0.30 m بين شحنتين؛ الأولى سالبة ومقدارها 2×10^{-4} C، والثانية موجبة ومقدارها 8.0×10^{-4} C. ما القوة المتبادلة بين الشحنتين؟

$$F_{A\text{في}B} = \frac{K\, q_A q_B}{r_{AB}^2}$$

$$= (9\times10^9 \frac{N.m^2}{c^2}\ \frac{(2\times10^{-14}C)(8\times10^{-4}C)}{(0.30m)^2}$$

$$= 16000\ \ \text{N}$$

9. إذا أثرت الشحنة -6.0×10^{-6} C بقوة جذب مقدارها 65 N في شحنة ثانية تبعد عنها مسافة 0.05 m فما مقدار الشحنة الثانية؟

$$F_{A\text{في}B} = \frac{K\, q_A q_B}{r_{AB}^2}$$

$$q_B = \frac{F_{A\text{في}B} r_{AB}^2}{K\ \ q_A}$$

$$= \frac{(65N)(0.05m)^2}{(9\times10^9\ N.\frac{m^2}{c^2}(6\times10^{-6}c)}$$

$$= 30\ \times10^{-13}\ C$$

10. في المثال 1، إذا أصبحت شحنة الكرة B تساوي $+3.0\ \mu$C، فارسم الحالة الجديدة للمثال، وأوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A.

لأن الكرتين A، B متماثلتان في نوع الشحنة فسيكون اتجاه $F_{A\text{في}B}$ إلى اليسار. ومنه:

$$F_{\text{المحصلة}} = \sqrt{F_{A\text{في}B}^2 + F_{A\text{في}C}^2}$$

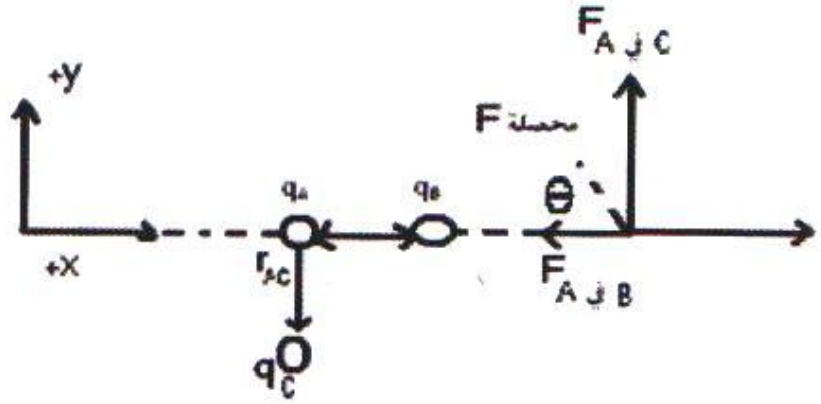
$$= \sqrt{(-1\times10^{-2}N)^2 + (9\times10N)^2}$$

$$= 130\ N$$

$$\tan\theta = \frac{F_{A\text{في}C}}{F_{A\text{في}B}} \rightarrow \theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_{A\text{في}C}}{F_{A\text{في}B}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{9\times10\ N}{-1\times10^2\ N}\right)$$

$$\theta = 138°$$

θ تقع فوق محور السينات.



11. وضعت كرة A شحنتها 2.0×10^{-6} C + عند نقطة الأصل، في حين وضعت كرة B مشحونة بشحنة مقدارها 3.6×10^{-6} C− عند الموقع 0.60 cm+ على المحور x. أما الكرة C المشحونة بشحنة مقدارها 4.0×10^{-6} C + فقد وضعت عند الموقع 0.80 cm+ على المحور x. احسب القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A.

$$F_{A\text{في }B} = \frac{K\, q_A q_B}{r_{AB}^2} = \frac{\left(9\times10^9\ N.\frac{m^2}{c^2}\right)(2\times10^{-6}C)(3.6\times10^{-6}C)}{(0.60\times10^{-2}m)^2}$$

$$= 1800\ \text{N}$$

لأن الكرتين A, B مختلفتان في نوع الشحنة، فسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A إلى اليمين.

$$F_{A\text{في }B} = \frac{K\, q_A q_B}{r_{AB}^2} = \frac{\left(9\times10^9\ N.\frac{m^2}{c^2}\right)(2\times10^{-6}C)(4\times10^{-6}C)}{(0.80\times10^{-2}m)^2}$$

$$= 1125\ \text{N}$$

ولان الكرتين A,C شحنتان متماثلتان لذلك ستتنافران، وسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة C في الكرة A إلى اليسار.

أما مقدار الجمع الاتجاهي لـ $F_{A\text{في }B}$ و $F_{A\text{في }C}$ لإيجاد $F_{\text{المحصلة}}$ المؤثرة في الكرة A

$$F_{\text{المحصلة}} = \sqrt{F_{A\text{في}B}^2 + F_{A\text{في}C}^2 + 2F_{A\text{في}B}F_{A\text{في}C}\cos\theta}$$

وبما أن $F_{A\text{في}B}$ (إلى اليمين) و $F_{A\text{في}B}$ (إلى اليسار) الزاوية بينهما مقدارها 180 إذاً

$$F_{\text{المحصلة}} = \sqrt{(1800N)^2 + (-1125N)^2 + 2(1800N)(-1125N)\cos 180°}$$

= 2925 N ..... $\tan\theta = \frac{0}{F_{A\text{في}B} - F_{A\text{في}C}}$ ..... $\theta = 0°$ في اتجاه اليمين

12. في المسألة السابقة، أوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة B.

$$F_{B\text{في}A} = \frac{K\, q_B q_A}{r_{AB}^2} = \frac{\left(9 \times 10^9\ N.\frac{m^2}{c^2}\right)(3.6 \times 10^{-6}C)(2 \times 10^{-6}C)}{(0.60 \times 10^{-2}m)^2}$$

$$= 1800 \quad N$$

ولأن الكرتين A,B مختلفتين في نوع الشحنة، فسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة A في B إلى اليسار.

$$F_{B\text{في}C} == \frac{K\, q_B q_A}{r_{AB}^2} = \frac{\left(9 \times 10^9\ N.\frac{m^2}{c^2}\right)(3.6 \times 10^{-6}C)(4 \times 10^{-6}C)}{(0.20 \times 10^{-2}m)^2}$$

$$= 32400 \quad N$$

ولأن الكرتين B,C شحنتان مختلفتان لذلك ستتجاذبان، وسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة C في الكرة B إلى اليمين.

$$F_{\text{المحصلة}} = \sqrt{F_{A\text{في}B}^2 + F_{A\text{في}C}^2 + 2F_{A\text{في}B}F_{A\text{في}C}\cos\theta}$$

وبما أن $F_{B\text{في}A}$ إلى اليسار و $F_{B\text{في}C}$ إلى اليمين، إذاً الزاوية θ بينهما تساوي 180

$$F_{\text{المحصلة}} = \sqrt{(-1800N)^2 + (32400N)^2 + 2\,(-1800N)(32400N)\cos 180}$$

$$= 34200\ N$$

$$\tan\theta = \frac{0}{32400 + (-1800)} = 0$$

$\theta = 0°$ إلى اليمين مع محور السينات

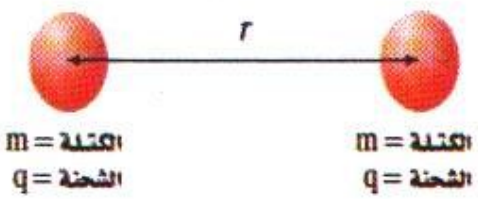
تطبيقات القوى الكهروسكونية:

هناك العديد من تطبيقات القوى الكهربائية على الجسيمات. تستطيع هذه القوى مثلا تجميع السناج من المداخن، ومن ثم تقليل تلوث الهواء، كما هو موضح في الشكل أدناه، كما يمكن شحن قطرات الطلاء الصغيرة جداً بالحث، واستعمالها لطلاء السيارات وأجسام أخرى بصورة منظمة وموحدة جدا، وتستخدم آلات التصوير الفوتوجرافي الكهرباء الساكنة لوضع الحبر الأسود على الورق، بحيث يتم نسخ صورة طبق الأصل للوثيقة الأصلية. وفي حالات أخرى تركز التطبيقات على التحكم في الشحنة الساكنة، فمثلا يمكن للشحنة الساكنة أن تتلف فيلما إذا جذبت غباراً، كما يمكن أن تتعطل معدات إلكترونية عند تفريغ الشحنة الساكنة. لذا تصمم التطبيقات في هذه الحالات لتجنب تراكم الشحنة الساكنة، وإزالة أي شحنة قد تتراكم بطريقة آمنة.

حلول مسألة تحفيز:

يبين الشكل المجاور كرتين لهما الكتلة نفسها m، وشحنة كل منهما q+، والبعد بين مركزيهما يساوي r.

1. اشتق تعبيرًا للشحنة q التي يجب أن تكون على كلتا الكرتين لكي تكونا في حالة اتزان. هذا يعني أن هناك اتزانًا بين قوتي التجاذب والتنافر.
2. إذا تضاعفت المسافة بين الكرتين فكيف يؤثر هذا في قيمة الشحنة q التي حدّدتها في المسألة السابقة؟ وضّح ذلك.
3. إذا كانت كتلة كل كرة تساوي 1.50 kg فحدّد قيمة الشحنة التي ينبغي أن تكون موجودة على كل كرة للحفاظ على حالة الاتزان.



١. بما أن الكرتين متماثلتين (لهما نفس الشحنة والكتلة) فإن القوة الكهربية التي تؤثر بها إحدى الشحنتين على الأخرى تعطى بالعلاقة:

$$F_{q\text{في}q} = \frac{K\,q\,q}{r^2} = \frac{K\,q^2}{r^2}$$

$$q^2 = \frac{F_{q\text{في}q}\,r^2}{K}$$

$$q = \sqrt{\frac{F_{q\text{في}q}\,r^2}{K}}$$

٢. في حال تضاعفت المسافة بين الكرتين أي أن:

$$r \;\ldots\ldots\ldots\ldots\; 2r$$

فإن:

$$q = \sqrt{\frac{F_{q\text{في}q}\,r^2}{K}} \rightarrow q_{\text{الجديدة}} = \sqrt{\frac{F_{q\text{في}q}\,(2r)^2}{K}}$$

$$q_{\text{الجديدة}} = \sqrt{\frac{F_{q\text{في}q}\,4r^2}{K}} = 2\sqrt{\frac{F_{q\text{في}q}\,r^2}{K}}$$

$$= 2\,q$$

بمعنى أن الشحنة تتضاعف عما كانت عليه في السابق في حال تضاعفت المسافة الفاصلة بين الشحنتين.

٣. حالة الاتزان تستدعي أن تكون قوى كولوم الكهربية تساوي قوة التجاذب الكتلي أي أن قوة كولوم = قوة التجاذب الكتلي ومنه:

$$\frac{A\,m_1m_2}{r^2} = K\,\frac{q_1q_2}{r^2}$$

أي أن ..... $A\,m_1m_2 \rightarrow k\,q_1q_2$

$$Amm = kqq \rightarrow Am^2 = Kq^2$$

$$q^2 = \frac{Am^2}{K} = \frac{(6.67 \times 10^{-11})(1.5)^2}{9 \times 10^9}$$

$$= 1.6 \times 10^{-20}\,C^2$$

$$q = \sqrt{q^2} = \sqrt{1.6 \times 10^{-20}\;C^2} = 1.2 \times 10^{-10}\,C$$

حلول (1-2) مراجعة:

13. كيف ترتبط القوة الكهربائية بالشحنة؟ صف القوة عندما تكون الشحنات متشابهة، وصفها عندما تكون الشحنات مختلفة.

ترتبط القوة الكهربية بالشحنة وفق قانون كولوم حيث تتناسب القوة الكهربية طردياً مع حاصل ضرب مقداري شحنتي جسمين q_A , q_B حيث q_A , q_B $F\alpha$

وإذا كانت الشحنتان q_A , q_B متماثلتان فإن القوة الكهربية (F) هي قوة تنافر وإذا كانتا مختلفتان فإن القوة تجاذب.

14. كيف ترتبط القوة الكهربائية مع المسافة؟ وكيف تتغير القوة إذا تضاعفت المسافة بين شحنتين ثلاث مرات؟

تتناسب القوة الكهربية تناسباً عكسياً مع المسافة الفاصلة بين شحنتين وفق العلاقة:

$$F \ \alpha \ \frac{1}{r^2}$$

فإذا تضاعفت المسافة بين شحنتين ثلاث مرات أي أن:

$$F_{\text{المتغيرة}} \ \alpha \ \frac{1}{(3r)^2} \ \rightarrow F_{\text{المتغيرة}} \ \alpha \ \frac{1}{\mathrm{g}\ \mathrm{r}^2}$$

فإن القوة تتغير بأن تقل مقدار تسع مرات عما كانت عليه قبل تضاعف المسافة ثلاث مرات.

15. عند شحن كشاف كهربائي ترتفع ورقتاه الفلزيتان لتشكلا زاوية معينة، لماذا لا ترتفع الورقتان أكثر من ذلك؟

بسبب عدم وجود شحنات إضافية مماثلة في النوع تضاف إلى شحنات ورقتي الكشاف (بمعنى لا وجود لتنافر إضافي بين الورقتين).

16. اشرح كيف يمكن شحن كشاف كهربائي بشحنة موجبة باستخدام:

a. قضيب موجب b. قضيب سالب.

a. يمكن شحن كشاف كهربي بشحنة موجبة باستخدام قضيب موجب عن طريق الشحن بالتوصيل، وذلك عندما يلامس القضيب الموجب قرص الكشاف المتعادل كهربياً المتصل بورقتي الكشاف فتنتقل الشحنات الموجبة من القضيب إلى الكشاف فيزداد عدد الشحنات

الموجبة عن عدد الشحنات السالبة في الكشاف. فيصبح الكشاف مشحون بشحنة كلية موجبة بعد أن كان غير مشحون (متعادل كهربيا) قبل التأثير عليه بلمس قضيب موجب.

b. يمكن شحن كشاف كهربائي بشحنة موجبة باستخدام قضيب سالب بواسطة الشحن بالحث، فقرص الكشاف فيه عدد الشحنات الموجبة مساو لعدد الشحنات السالبة (متعادل كهربيا)، فحين نقرب منه (لا يتم لمسه) قضيب سالب فإن الشحنات السالبة لقرص الكشاف تتنافر مع الشحنات السالبة التي على القضيب والتي لا تنتقل إلى القرص (لأنه لم يحدث تلامس وتوصيل) وتتحرك الشحنات المتنافرة بعيدة نحو أسفل القرص المتصل بالأرض (تأريض) ويتم تفريغ هذه الشحنات السالبة (الإلكترونات) في الأرض (فقدها لصالح الأرض) فتصبح الشحنة الكلية للكشاف عندئذ موجبة بعد أن يتم فصل تأريض الكشاف قبل إبعاد القضيب السالب.

17. ما الخاصيتان اللتان تفسران سبب انجذاب جسم متعادل إلى كل من الأجسام المشحونة بشحنة موجبة والأجسام المشحونة بشحنة سالبة؟

خاصيتي التنافر والتجاذب بين الشحنات المتماثلة والمختلفة على الترتيب فعند تقريب أجسام مشحونة بشحنة موجبة من جسم متعادل تتنافر معها الشحنة الموجبة للجسم المتعادل، وتتجاذب معها الشحنات السالبة وبنفس الطريقة، عند تقريب أجسام مشحونة بشحنة سالبة من جسم متعادل تتنافر معها الشحنة السالبة للجسم المتعادل وتتجاذب معها الشحنات الموجبة.

18. ماذا يحدث عند شحن كشاف كهربائي بالحث، وإبعاد قضيب الشحن قبل فصل تأريض القرص؟

عند شحن كشاف كهربي بالحث وإبعاد قضيب الشحن قبل فصل تأريض القرص تكون شحنة على قرص الكشاف مخالفة في النوع لشحنة القضيب.

19. كرتان B,A مشحونتان، المسافة بين مركزيهما r. إذا كانت شحنة الكرة A تساوي $+3\mu C$ وشحنة الكرة B تساوي $+9\mu C$ فقارن بين القوة التي تؤثر بها الكرة A في الكرة B والقوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A.

* القوتان متساويتان في المقدار

$$F_{B\text{في}A} = \frac{k\, q_B q_A}{r^2} = F_{A\text{في}\,B} = \frac{k\, q_A q_B}{r^2}$$

* ومن حيث الاتجاه، لأن الشحنتين q_A , q_B متماثلتان فإن القوة التي تؤثر بها q_A على q_B هي قوة تنافر في اتجاه ما، والقوة التي تؤثر بها q_B على q_A هي قوة تنافر في الاتجاه المعاكس.

20. افترض أنك تختبر صحة قانون كولوم باستخدام كرة بلاستيكية صغيرة موجبة الشحنة وكرة فلزية كبيرة موجبة الشحنة، وفق قانون كولوم تتناسب القوة مع $\frac{1}{r^2}$ حيث تمثل r المسافة

بين مركزي الكرتين. ولكن عند تقريب الكرتين إحداهما إلى الأخرى وجد أن القوة بينهما أصغر مما هو متوقع من قانون كولوم. وضح ذلك.

يعزى سبب وجود أن القوة بين الكرتين أصغر مما هو متوقع من قانون كولوم إلى أن قوة التجاذب الكتلي للكرتين تفوقت على قوة التنافر بينهما فكلما اقتربت الكرتان من بعضهما البعض كلما ازدادت قوة التجاذب بينهما، وزاد تفوقها على قوة التنافر وبالتالي تقل قوة التنافر مبتعدين أكثر عن حالة الاتزان بين الكرتين.

دليل الدراسة:

الشحنة الكهربية:

المفاهيم الرئيسة

- هناك نوعان من الشحنات الكهربائية: الشحنات الموجبة والشحنات السالبة، وتفاعلات هذه الشحنات معًا توضح التجاذب والتنافر الذي لوحظ في الأشرطة اللاصقة.
- الشحنة الكهربائية لا تفنى ولا تستحدث؛ أي أنها محفوظة. والشحن ما هو إلا عملية فصل للشحنات، وليس إنتاج شحنات كهربائية جديدة.
- يمكن شحن الأجسام عن طريق نقل الإلكترونات؛ فالمناطق التي فيها فائض في الإلكترونات يكون صافي شحنتها سالبًا، أما المناطق التي فيها نقص في الإلكترونات فيكون صافي شحنتها موجبًا.
- الشحنات التي تضاف إلى جزء أو موقع ما من مادة عازلة تبقى على ذلك الموقع أو الجزء. ومن المواد العازلة الزجاج والخشب الجاف والمواد البلاستيكية والهواء الجاف.
- الشحنات التي تضاف إلى مادة موصلة تتوزع بسرعة على سطح الجسم كاملاً. ومن المواد الموصلة الجرافيت والفلزات والمادة عندما تكون في حالة البلازما.
- تحت ظروف معيَّنة، يمكن أن تنتقل شحنات خلال مادة معروفة على أنها مادة عازلة. ويعدّ البرق الذي يتحرك خلال الهواء أحد الأمثلة على ذلك.

القوة الكهربية:

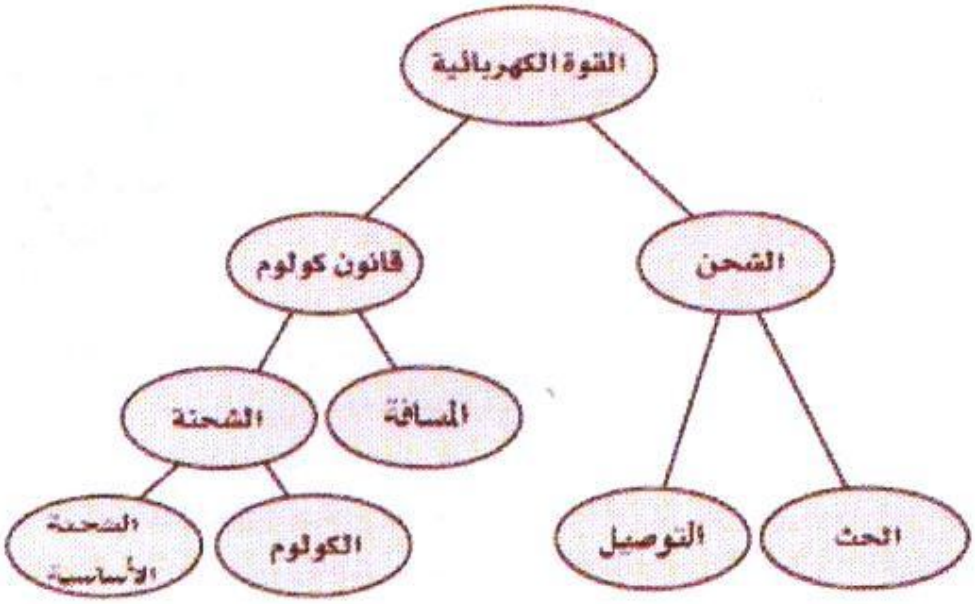
- عند شحن كشاف كهربائي تؤدي القوة الكهربائية إلى انفراج ورقتيه.
- يمكن شحن جسم ما بالتوصيل بملامسته جسمًا آخر مشحونًا.
- يحث جسم مشحون شحناتِ موصلٍ متعادلٍ على الانفصال عند تقريبه إليه، وتحدث هذه العملية نتيجة قوة التجاذب بين الجسم المشحون والموصل المتعادل.
- لشحن جسم موصل بالحث يقرّب إليه أولاً جسم مشحون، فيؤدي ذلك إلى انفصال شحنات الجسم الموصل المراد شحنه؛ أي تتجمّع الشحنات الموجبة عند أحد الطرفين، والشحنات السالبة عند الطرف الآخر.
- التأريض عملية التخلص من الشحنات الفائضة عن طريق ملامسة الجسم للأرض، ويستخدم التأريض في عمليات شحن كشّاف كهربائي بالحث.
- ينص قانون كولوم على أن القوة بين جسمين مشحونين تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب مقدار شحنتيهما وعكسيًّا مع مربع المسافة بينهما. $F = K\frac{q_1 q_2}{r^2}$

لتحديد اتجاه القوة تذكر القاعدة التالية: الشحنات المتشابهة تتنافر، والمختلفة تتجاذب.

- وحدة الشحنة في النظام الدولي للوحدات SI هي الكولوم. والكولوم الواحد C هو مقدار شحنة 6.24×10^{18} إلكترون أو بروتون. والشحنة الأساسية هي شحنة البروتون أو الإلكترون، وتساوي $1.6\times10^{-19}C$.

حلول التقويم

.21



22. إذا مشطت شعرك في يوم جاف فسوف يشحن المشط بشحنة موجبة. هل يمكن أن يبقى شعرك متعادلاً؟ وضح إجابتك.

لا، لن يبقى الشعر.

23. أعد قائمة ببعض المواد العازلة والمواد الموصلة.

المواد العازلة	المواد الموصلة
الزجاج، البورسلين، الخشب الجاف، الملابس، الجو الجاف، البلاستيك، الصوف	الفضة، النحاس، الحديد، الرصاص، الألمونيوم، الجرافيت، الكوبلت، النيكل، البلاتزما

24. ما الخاصية التي تجعل الفلز موصلاً جيداً، والمطاط عازلاً جيداً؟

الخاصية التي تجعل الفلز موصلا جيداً هي الكهرباء المتحركة (حيث تتحرك الإلكترونات في الفلز بحرية) والخاصية التي تجعل المطاط عازلاً جيداً هي الكهروسكونية حيث تتجمع الشحنات الكهربية على المطاط في مكان معين ولا تتحرك منه.

25. عندما نخرج الجوارب من مجفف الملابس تكون أحيانا ملتصقة بملابس أخرى. لماذا؟

بسبب الشحن بالتوصيل والتلامس بين الملابس، فتلتصق ببعضها بسبب حدوث عملية التفريغ الكهربي للشحنات الكهربية فيما بينها.

26. لماذا يجذب قرص مدمج الغبار إذا مسحته بقطعة قماش نظيفة ؟

لأن القرص المدمج يكون قد اكتسب شحنة كهربية بسبب دلكه بقطعة القماش فيجذب الغبار ذات الشحنات الكهربية المضادة لشحنته.

27. مجموع شحنة جميع إلكترونات عملة مصنوعة من النيكل يساوي مئات الآلاف من الكولوم. هل يخبرنا هذا بشيء عن صافي الشحنة على هذه العملة؟ وضح إجابتك.

نعم يخبرنا عن صافي الشحنة على هذه العملة والذي يساوي صفر كولوم حيث أن عدد الشحنات السالبة (الإلكترونات) والذي يساوي مئات الآلاف من الكولوم يساوي عدد الشحنات الموجبة للعملة والتي تمثل مواقع إلكترونات (المعروفة باسم الثقوب أو الفجوات) فالشحنة لا تفنى ولا تستحدث ، حيث إن الشحنة الكلية للعملة تساوي صفر، ولا يحدث تغير في عدد إلكترونات العملة أو عدد الشحنات الموجبة فيها.

28. كيف تؤثر المسافة بين شحنتين في القوة المتبادلة بينهما؟ وإذا قلت المسافة وبقي مقدار الشحنتين كما هو فماذا يحدث للقوة؟

بما أن المسافة بين شحنتين تتناسب تناسباً عكسياً مع القوة المتبادلة، فكلما زادت المسافة قلت القوة المتبادلة والعكس صحيح، وإذا قلت المسافة وبقي مقدار الشحنتين كما هو فإن القوة تزداد، وذلك وفق قانون كولوم للقوة الكهربية:

$$F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$$

29. اشرح كيف يمكنك شحن موصل بشحنة سالبة إذا كان لديك قضيب موجب الشحنة فقط.

يمكن شحن موصل بشحنة سالبة إذا كان لدينا قضيب موجب عن طريق الشحن بالحث، فالموصل متعادل كهربياً (عدد الشحنات الموجبة يساوي عدد الشحنات السالبة) فحين نقرب القضيب الموجب من الموصل دون إحداث تلامس بينهما تتنافر الشحنات الموجبة للموصل مع الشحنات الموجبة للقضيب فتتحرك الشحنات الموجبة هاربة إلى أسفل الموصل الذي لابد من أن يكون موصولاً بالأرض (تأريض) فتنتقل الشحنات الموجبة من الموصل ويتم تفريغها في الأرض التي هي مصدر للإلكترونات فتعطي شحنات سالبة للموصل فيكون مشحوناً بشحنة سالبة كلية عبارة عن إلكترونات الأرض والشحنات السالبة في الموصل من قبل.

30. فيم تختلف شحنة الإلكترون عن شحنة البروتون وفيم تتشابهان؟

تختلف شحنة الإلكترون عن شحنة البروتون في الإشارة (حيث شحنة الإلكترون سالبة والبروتون موجبة) ولكنها متساويان في مقدار الشحنة الذي يساوي $(1.6\times 10^{-19}\ C)$

31. كيف يمكن أن تحدد ما إذا كان جسم ما موصلا أم لا، باستخدام قضيب مشحون وكشاف كهربائي؟

نجعل الجسم صلة وصل بين القضيب المشحون والكشاف الكهربي، بحيث يلامس الجسم أحد طرفي القضيب من جهة، ومن الجهة الأخرى يلامس الجسم قرص الكشاف المتصل بورقتي الكشاف، فإذا لاحظنا أي تغيير يطرأ من حيث انفراج أو اقتراب الورقتين فهذا يعني أن الجسم موصلا للشحنات الكهربية.

33. يحدث البرق عادة عندما تنتقل الشحنات السالبة في الغيوم إلى الأرض. فإذا كان سطح الأرض متعادلاً فما الذي يوفر قوة الجذب المسئولة عن سحب الإلكترونات نحو الأرض؟

الذي يوفر قوة الجذب المسئولة عن سحب الإلكترونات نحو الأرض هو الهواء عندما يكون في حالة البلازما (كمادة موصلة) تتوزع الإلكترونات عليها بسرعة ويتم جذبها نحو الأرض بالتلامس (التوصيل).

34. وضح ما يحدث لورقتي كشاف كهربي مشحون بشحنة موجبة عند تقريب قضيب مشحون بالشحنات التالية منه، مع مراعاة عدم لمس القضيب للكشاف الكهربائي:

a. شحنة موجبة

b. شحنة سالبة

a. يزداد انفراج الورقتين وذلك لأن الشحنات السالبة يزداد تحركها عن الورقتين فيزداد تركيز الشحنات الموجبة فيها وتتنافر وتنفرج أكثر مع العلم أن الشحنة الموجبة لا تتحرك مطلقاً.

b. يقل انفراج ورقتي الكشاف المشحون بشحنة موجبة، وذلك لأن الشحنات السالبة (الأقلية، بمعنى عددها أقل من الشحنات الموجبة للكشاف) للكشاف تتنافر مع الشحنات السالبة للقضيب فتتجه مبتعدة نحو الورقتين وتتوزع بالتساوي بين الشحنتين، وتتجاذب الشحنات السالبة على أحد الورقتين مع الشحنات الموجبة للورقة الأخرى، فتقترب الورقتان ويقل انفراجهما.

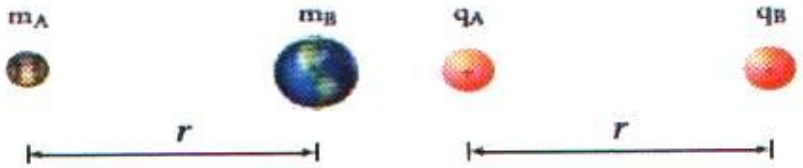
35. يبدو أن قانون كولوم وقانون نيوتن في الجذب العام متشابهان كما هو موضح بالشكل فيم تتشابه القوة الكهربائية وقوة الجاذبية؟ وفيم تختلفان؟

قانون الجذب العام

$$F=G\frac{m_A m_B}{r^2}$$

قانون كولوم

$$F=K\frac{q_A q_B}{r^2}$$



تتشابه القوة الكهربية وقوة الجاذبية في أن كلاهما يتناسب عكسياً مع مربع المسافة الفاصلة بين الجسمين المشحونين ويختلفان في أن قوة الجاذبية تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتي الجسمين المشحونين ولا تعتمد على شحنتيهما بخلاف القوة الكهربية التي تتناسب طردياً مع حاصل ضرب شحنتي الجسمين المشحونين ولا تعتمد على كتلتيهما.

36. قيمة الثابت K في قانون كولوم أكبر كثيرا من قيمة الثابت G في قانون الجذب العام. علام يدل ذلك؟

يدل ذلك على أن القوى الكهربائية بين الشحنات كبيرة جدا مقارنة بقوى الجاذبية بينهما.

37. وصف هذا الفصل طريقة كولوم لشحن كرتين B,A بحيث تكون الشحنة على الكرة B نصف الشحنة على الكرة A تماماً. اقترح طريقة تطبقها لتصبح شحنة الكرة B مساوية لثلث شحنة الكرة A.

لكي تصبح شحنة الكرة B مساوية لثلث شحنة الكرة A لابد أن تكون مساحة السطح الخارجي للكرة B مساوية لثلث مساحة السطح الخارجي للكرة A بمعنى أن تكون الكرة B أصغر بثلاث مرات من الكرة A.

38. قاس كولوم انحراف الكرة A عندما كان للكرتين B,A الشحنة نفسها وتبعد إحداهما عن الأخرى مسافة مقدارها r. ثم جعل شحنة الكرة B تساوي ثلث شحنة الكرة A. كم يجب أن تكون المسافة الجديدة بين الكرتين بحيث تنحرف الكرة بمقدار مساو لانحرافها السابق؟

$$F_{A\text{في}B} = F_{'A\text{في}'B}$$

$$\frac{K\, q_A q_B}{d_1^2} = \frac{K\, q_{A'} q_{B'}}{d_2^2}$$

$$\frac{q_A q_A}{d_1^2} = \frac{(q_A)(\frac{1}{3} q_A)}{d_2^2}$$

$$\frac{1}{3}\, d_1^2 = d_2^2 \;\rightarrow d_2 = \sqrt{\frac{1}{3} d_1^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{3}}\, d_1 = 0.57\; d_1$$

39. يؤثر جسمان مشحونان أحدهما في الآخر بقوة مقدارها 0.145N عندما كانا على بعد معين أحدهما من الآخر. فإذا قرب أحدهما إلى الآخر بحيث أصبحت المسافة بينهما ربع المسافة السابقة فما مقدار القوة المؤثرة في كل منهما؟

$$F_{A\text{في}\,B} = \frac{K\, q_A q_B}{d^2} = 0.145\; N$$

$$F'_{A\text{في}B} = \frac{K\, q_A q_B}{d'^2} = \frac{k\, q_A q_B}{\left(\frac{1}{4} d\right)^2}$$

$$= 16 \times \frac{K\, q_A q_B}{d^2} = 16 \times F_{A\text{في}\,B}$$

$$= 16 \times 0.145 = 2.32\; N$$

40. القوى الكهربائية بين الشحنات كبيرة جدا عند مقارنتها بقوى الجاذبية بينها، ومع ذلك لا نشعر عادة بالقوى الكهربائية بيننا وبين المحيط من حولنا، إلا أننا نشعر بتأثيرات قوى الجاذبية مع الأرض. فسر ذلك.

لا نشعر عادة بالقوى الكهربية بيننا وبين المحيط من حولنا ألا أننا نشعر بتأثير قوى الجاذبية مع الأرض، لان قوى الجاذبية الأرضية كبيرة جدا مقارنة بالقوى الكهربية بين الأجسام، ويعزى سبب ذلك أن كتلة الأرض كبيرة جدا إلى حد يمكن إهمال كتلة أجسامنا بالنسبة للكتلة الأرضية مما يؤدي إلى إهمال القوة الكهربية المتبادلة بيننا وبين المحيط إلى جانب قوة الجذب الأرضية

لنا، فلا نكاد نشعر بأي تأثير للقوة الكهربية (بمعنى القوة الواضحة التأثير بشكل كلي هي قوة الجاذبية الأرضية).

41. شحنتان كهربائيتان، q_A , q_B، تفصل بينهما مسافة r ويؤثر كل منهما في الآخر بقوة مقدارها F حلل قانون كولوم وحدد القوة الجديدة التي تنتج تحت الظروف التالية:

a. مضاعفة الشحنة q_A مرتين

b. تقليل الشحنتان q_A , q_B إلى النصف

c. مضاعفة r ثلاث مرات

d. تقليل r إلى النصف

e. مضاعفة q_A ثلاث مرات و r مرتين.

a. $F_{A\text{في}B} = \frac{k\, q_A q_B}{d^2}$

$$F_{2A\text{في}B} = \frac{k\,(2q_A)(q_B)}{d^2} = 2\,k\,\frac{q_A q_B}{d^2} = 2\,F_{A\text{في}B}$$

b. $$F_{\frac{1}{2}A\ \text{في}\ \frac{1}{2}B} = \frac{k\left(\frac{1}{2}q_A\right)\left(\frac{1}{2}q_B\right)}{d^2} = \frac{1}{4}\,k\,\frac{q_A q_B}{d^2}$$

$$= \frac{1}{2}F_{A\text{في}B}$$

c. $$F = \frac{k\, q_A q_B}{(3r)^2} = \frac{1}{9}\,\frac{k\, q_A q_B}{d^2} = \frac{1}{9}F_{A\text{في}B}$$

d. $$F = \frac{k\, q_A q_B}{\left(\frac{1}{2}d\right)^2} = 4\,k\,\frac{q_A q_B}{d^2} = 4\,F_{A\text{في}B}$$

e. $$F = \frac{k\,(3q_A)q_B}{(2d)^2} = \frac{3}{4}k\,\frac{q_A q_B}{d^2}$$

$$= \frac{3}{4}\,F_{A\text{في}B}$$

42. إذا نقلت صاعقة برق قوية شحنة مقدارها 25C إلى الأرض فما عدد الإلكترونات المنقولة؟

إذا كان 1 إلكترون شحنته $1.6 \times 10^{-19}\ C$ فإن عدد الإلكترونات التي شحنتها 25C يساوي

$$\frac{\text{الشحنة المنقولة}}{\text{شحنة الالكترون}} = \frac{25C}{1.6\times10^{-19}\ C} = 15.625 \times 10^{19}$$ إلكترون.

43. إذا كانت المسافة بين إلكترونين في ذرة $1.5 \times 10^{-10}\ m$ فما مقدار القوة الكهربائية بينهما؟

$$F_{A\text{في}B} = k\ \frac{q_A q_B}{d^2}$$

وبما أن $q_B = q_A$ = شحنة إلكترون = $-1.6 \times 10^{-19}\ C$ وحيث k (ثابت كولوم) = $9 \times 10^9 N.\frac{m^2}{c^2}$ إذن:

$$F = \frac{(9\times10^9)(-1.6\times10^{-19})(-1.6\times10^{-19})}{(1.5\times10^{-10})^2}$$

$$= 10.24 \times 10^{-9}\ N$$

44. شحنتان كهربائيتان مقدار كل منهما $2.5 \times 10^{-5}\ C$، والمسافة بينهما 15cm أوجد القوة التي تؤثر في كل منهما؟

$$F_{A\text{في}B} = k\ \frac{q_A q_B}{d^2}$$

$$= \frac{(9\times10^9)(2.5\times10^{-5})(2.5\times10^{-5})}{(15\times10^{-2})^2}$$

$$= 0.25 \times 10^3\ N$$

45. إذا كانت القوة التي تؤثر في كل من الشحنتين $8 \times 10^{-5}C$ و $+3 \times 10^{-5}C$ تساوي $2.4 \times 10^2 N$ فاحسب مقدار المسافة بينهما.

$$F_{A\text{في}B} = k\ \frac{q_A q_B}{d^2}$$

$$d^2 = \frac{k\ q_A q_B}{F_{A\text{في}B}}$$

$$= \frac{(9\times10^9)(8\times10^{-5})(3\times10^{-5})}{2.4\times10^2\ N}$$

$$= 90 \times 10^{-3}\ m \quad \rightarrow d = 0.3m$$

46. إذا أثرت شحنتان موجبتان متماثلتان كل منهما في الأخرى بقوة تنافر مقدارها $6.4 \times 10^{-9}\ N$ عندما كانت إحداهما تبعد عن الأخرى مسافة $3.8 \times 10^{-10}\ m$ فاحسب مقدار شحنة كل منهما.

$$F_{A\text{في}B} = k\ \frac{q_A q_B}{d^2}$$

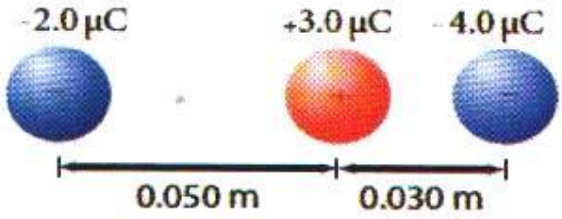
وبما أن $q = q_A = q_B$

$$q^2 = \frac{F\,d^2}{K} = \frac{(6.4\times10^{-9}\ N)(3.8\times10^{-10}\ m)^2}{9\times10^{9}\ N.\frac{m^2}{C^2}}$$

$$= 10.26 \times 10^{-38}$$

$$q = \sqrt{q^2} = \sqrt{10.26 \times 10^{-38}\ C}$$

47. تسحب شحنة موجبة مقدارها $3.0\mu C$ بشحنتين سالبتين، كما هو موضح بالشكل أدناه فإذا كانت إحدى الشحنتين السالبتين $-2.0\mu C$ تبعد مسافة 0.05m إلى الغرب، وتبعد الشحنة الأخرى $-4.0\mu C$ مسافة 0.030m إلى الشرق فما مقدار واتجاه القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة الموجبة؟



$$F = k\ \frac{q\,q'}{d^2}$$

$$F_1 = (9 \times 10^9)\frac{(3\times10^{-6})(4\times10^{-6})}{(0.030)^2}$$

$$= 12 \times 10^{-8}\ N$$

وبما أن الشحنتين 3 ميكروكولوم و 4 ميكروكولوم مختلفتان فإن اتجاه F1 إلى اليمين (الشرق)

$$F_2 = \frac{(9\times10^{9})(3\times10^{-6})(2\times10^{-6})}{(0.050)^2}$$

$$= 21600 \times 10^{-3}\ N$$

وبما أن الشحنتين 2 ميكروكولوم و 4 ميكروكولوم مختلفتان فإن اتجاه F2 إلى اليسار (الغرب)

$$F_{\text{المحصلة}} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos^2\theta}$$

وبما أن $F1$ و $F2$ يحصران بينهما زاوية $\theta = 180°$ (حيث $F1$ إلى اليمين و$F2$ إلى اليسار)

$$F_{\text{المحصلة}} =$$

$$\sqrt{(12\times10^{-8})^2 + (31600\times10^{-3})^2 + 2\,(12\times10^{-8})(21600\times10^{-3})\cos 180}$$

$$= 21.5\ N$$

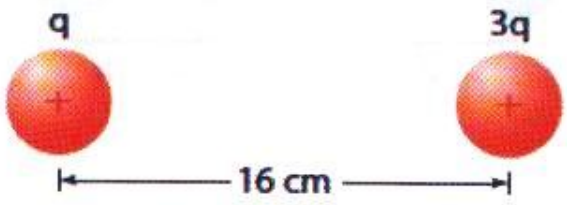
ولإيجاد اتجاه القوة المحصلة:

$$\tan\theta = \frac{\text{مجموع القوى الصادية}}{\text{مجموع القوى السينية}} = \frac{0}{(12\times10^{-8N}) - (21600\times10^{-3}N)}$$

$$= 0$$

$\theta = 0°$ مع محور السينات في اتجاه اليمين

48. يوضح الشكل أدناه كرتين مشحونتين بشحنتين موجبتين، شحنة إحداهما تساوي ثلاثة أضعاف شحنة الأخرى. والمسافة بين مركزيهما 16cm . إذا كانت القوة المتبادلة بينهما 0.28 N فما مقدار الشحنة على كل منهما؟



$$F_{q\text{في}3q} = k\,\frac{(q)(3q)}{r^2}$$

$$= 3\,k\,\frac{q^2}{r^2}$$

$$q^2 = \frac{F_{q\text{في}3q}\,r^2}{3\,k} = \frac{(0.28N)(16\times10^{-2}m)^2}{3\,(9\times10^9\ N.\frac{m^2}{c^2}}$$

$$= 2.64\times10^{-13}\ C^2$$

$$q = \sqrt{2.65\times10^{-13}\ C}$$

$$3q = 3\sqrt{2.65\times10^{-13}\ C}$$

49. ما مقدار الشحنة المقيسة بالكولوم للإلكترونات الموجودة في قطعة نقدية مصنوعة من النيكل؟ استخدم الطريقة التالية لتحدد الإجابة:

a. أوجد عدد الذرات في قطعة النقد إذا كانت كتلة القطعة 59 و 75% منها نحاس، أما الـ 25% المتبقية منها فمن النيكل، لذا تكون كتلة كل مول من ذرات العملة 629

b. أوجد عدد الإلكترونات في قطعة النقد، علماً أن متوسط عدد الإلكترونات التي لكل ذرة يساوي 28.75

c. أوجد شحنة الإلكترونات بالكولوم.

a. عدد المولات $= \frac{\text{الكتلة المولية}}{\text{الكتلة}} = \frac{59}{629} = 0.08$ مول

وإذا كان مول واحد يحتوي على عدد أفوجادرو من الذرات فإن عدد الذرات في 0.08 مول $= \frac{0.08 \times \text{عدد أفوجادرو}}{1} = \frac{0.08 \times 6.023 \times 10^{23}}{1} = 0.48 \times 10^{23}$ ذرة

b. عدد الإلكترونات $(n) = 28.75 \times 0.48 \times 10^{23}$

$= 13.8 \times 10^{23}$ إلكترون

$q = n\ e\ C.$

$= (13.8 \times 10^{23})(1.6 \times 10^{-19} C)$

$= 22.16 \times 10^{4}\ C$

50. إذا لامست كرة فلزية صغيرة شحنتها $1.2 \times 10^{-5} C$ كرة مماثلة متعادلة، ثم وضعت على بعد 0.15m منها فما القوة الكهربائية بين الكرتين؟

$$F_{A\text{في}B} = k\ \frac{q_A q_B}{d^2}$$

$$= \frac{(9 \times 10^9)(1.2 \times 10^{-5} C)(0C)}{(0.15m)^2}$$

$= 0\ N$

51. ما القوة الكهربية بين إلكترون وبروتون يبعد أحدهما عن الآخر $5.3 \times 10^{-11} m$؟ هذه المسافة تساوي نصف القطر التقريبي لذرة الهيدروجين.

بما أن شحنة الإلكترون = $-1.6 \times 106 - 19\ C$

وشحنة البروتون = $+1.6 \times 106 - 19\ C$

$$F_{A\text{في}B} = k\ \frac{q_A q_B}{d^2}$$

$$= \frac{(9\times10^9)(1.6\times10^{-19})(1.6\times10^{-19})}{(5.3\times10^{-11})^2}$$

$$= 0.82 \times 10^{-18}\ N$$

52. تؤثر قوة مقدارها 0.36N في كرة صغيرة شحنتها $2.4\mu C$، وذلك عند وضعها على بعد 5.5cm من مركز كرة ثانية مشحونة بشحنة غير معروفة. ما مقدار شحنة الكرة الثانية؟

$$F_{A\text{في}B} = k\ \frac{q_A q_B}{d^2}$$

$$q_B = \frac{F_{A\text{في}B}\ r^2}{k\ q_A} = \frac{(0.36)(5.5\times10^{-2})^2}{(9\times10^9)(2.4\times10^{-6})}$$

$$= 0.09 \times 10^{-7}\ C$$

53. كرتان متماثلتان مشحونتان، المسافة بين مركزيهما 12cm فإذا كانت القوة الكهربائية بينهما 0.28N فما شحنة كل كرة؟

$$F_{A\text{في}B} = k\ \frac{q_A q_B}{d^2}$$

وبما أن $q = q_A = q_B$

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

$$= k\frac{q^2}{r^2}$$

$$q^2 = \frac{F\ r^2}{k} = \frac{(0.28)(12\times10^{-2})^2}{9\times10^9}$$

$$= 0.37 \times 10^{-13}$$

$$q = \sqrt{0.37 \times 10\text{^} - 13}\ C = q_A = q_B$$

54. في التجربة المستخدم فيها جهاز كولوم، يبعد مركز كرة شحنتها $3.6 \times 10^{-8}\ C$ مسافة 1.4cm عن مركز كرة ثانية غير معلومة الشحنة. فإذا كانت القوة بين الكرتين $2.7 \times 10^{-2}\ N$ فما شحنة الكرة الثانية؟

$$q_B = \frac{F_{A\text{في}B}\, r^2}{k\, q_A}$$

$$= \frac{(2.7\times10^{-2})(1.4\times10^{-2})^2}{(9\times10^{9})(3.6\times10^{-8})}$$

$$= 0.16 \times 10^{-7}\ C$$

55. إذا كانت القوة بين بروتون وإلكترون $3.5 \times 10^{-1}\ N$ فما المسافة بين الجسيمين؟

بما أن شحنة الإلكترون = $-1.6 \times 106 - 19\ C$

وشحنة البروتون = $+1.6 \times 106 - 19\ C$

$$F_{A\text{في}B} = k\ \frac{q_A q_B}{d^2}$$

$$r^2 = \frac{k\, q_A q_B}{F_{A\text{في}B}}$$

$$r^2 = \frac{(9\times10^{9})(1.6\times10^{-19})(1.6\times10^{-19})}{3.5\times10^{-10}}$$

$$= 6.5 \times 10^{-19}$$

$$r = \sqrt{r^2} = \sqrt{6.5 \times 10\text{^} - 19}\ m$$

56. احسب نسبة القوة الكهربائية إلى قوة الجاذبية بين الإلكترون والبروتون في ذرة الهيدروجين؟

$$\frac{\text{القوة الكهربية}}{\text{قوة}} = \frac{\frac{kq_Aq_B}{d^2}}{\frac{G\, m_A m_B}{d^2}} = \frac{kq_Aq_B}{Gm_Am_B}$$

وإذا كانت شحنة الإلكترون q_A تساوي شحنة البروتون q_B مقداراً وتساوي $1.6 \times 10^{-19}\ C$

وإذا كانت كتلة الإلكترون $m_{A=9.11\times10^{-31}\ kg}$ وكتلة البروتون

$m_B = 1.67 \times 10^{-27}\ kg$ وكان ثابت كولوم $k = 9 \times 10^{9}\ N.\frac{m^2}{c^2}$ وكان ثابت نيوتن للجذب العام $G = 6.67 \times 10^{-1}\ N.\frac{m^2}{kg^2}$ فإن:

$$0.22 \times 10^{47} = \frac{(9\times10^{9})(1.6\times10^{-19})(1.6\times10^{-19})}{(6.67\times10^{-27})(9.11\times10^{-31})(1.67\times10^{-27})} = \frac{\text{القوة الكهربية}}{\text{قوة}}$$

حلول اختبار مقنن:

١. D
٢. C
٣. B
٤. C
٥. A
٦. C
٧. D
٨. A
٩. B

10. $F_{C\text{في}A} = k\,\frac{q_c q_A}{r^2}$

$$= \frac{(9\times10^{9})(4\times10^{-6})(2\times10^{-6})}{(\sqrt{(030)^2+(0.40)^2}}$$

$$= 288 \times 10^{-3}\ N$$

ولان q_A ، q_C متماثلتين في نوع الشحنة إذا $F_{C\text{في}A}$ اتجاهاه إلى أسفل محور السينات نحو اليمين.

$$F_{C\text{في}B} = k\,\frac{q_c q_B}{r^2}$$

$$= \frac{(9\times10^{9})(4\times\times10^{-6})(2\times10^{-6})}{\sqrt{(-0.30)^2+(0.40)^2}}$$

$$= 288 \times 10^{-3}\ N$$

ولان q_B ، q_C متماثلتين في نوع الشحنة إذا $F_{C\text{في}B}$ اتجاهاه إلى أسفل محور السينات نحو اليمين.

ولحساب الزاوية التي يصنعها $F_{C\text{في}B}$ مع محور السينات (θ_1)

$$\tan\theta_1 = \frac{\text{طول الضلع المقابل للزاوية}}{\text{طول الضلع المجاور}}$$

$$\theta_1 = 36.8° \quad (\text{تحت محور السينات})$$

ولحساب الزاوية التي يصنعها $F_{C\text{في}B}$ مع محور السينات (θ_2)

$$\tan\theta_1 = \frac{\text{طول الضلع المقابل للزاوية}}{\text{طول الضلع المجاور}}$$

$$= \frac{+0.30\ m}{0.40\ m} \rightarrow \theta_2 = \tan^{-1}\left(+\frac{0.30}{0.40}\right)$$

$= 36.8°$ (فوق محور السينات)

ولحساب الزاوية θ المحصورة بين $F_{C\text{في}B}$ و $F_{C\text{في}A}$

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 = 36.8 + 36.8$$

$$= 73.7°$$

$$F_{\text{المحصلة}} = \sqrt{(F_{C\text{في}A})^2 + (F_{C\text{في}B})^2 + 2F_{C\text{في}A}F_{C\text{في}B}\cos\theta}$$

$$F_{\text{المحصلة}} = \sqrt{(288\times10^{-3})^2 + (288\times10^{-3})^2 + 2(288\times10^{-3})(288\times10^{-3})\cos(74)}$$

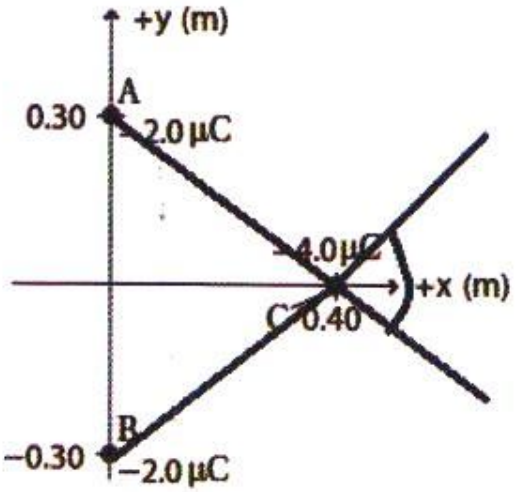
$= 0.35$ N

ولتحديد اتجاه المحصلة

$$\tan\emptyset = \frac{F_{C\text{في}B}\sin\theta_2 + (-F_{C\text{في}A}\sin\theta_1)}{F_{C\text{في}B}\cos\theta_2 + (F_{C\text{في}A}\cos\theta_1)}$$

$$\tan\emptyset = 0 \rightarrow \theta = \tan^{-1}(0)$$

مع محور السينات $\emptyset = 0°$



الفصل الثاني

المجالات الكهربائية

توليد المجالات الكهربائية وقياسها

تشبه القوة الكهربائية قوة التجاذب الكتلي (قانون الجذب العام لنيوتن) التي مرت معنا سابقاً.

وحيث إن قوة التجاذب الكتلي تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بين جسمين كتليين، فإن القوة الكهربية تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بين جسمين نقطيين مشحونين، وهذا التناسب العكسي مع المسافة الفاصلة هو وجه الشبه بين القوتين (الكهربية والتجاذب الكتلي) بالإضافة إلى أن القوتان تؤثران عن بعد من مسافات كبيرة نسبياً. فكيف يمكن لقوة ما أن تؤثر خلال حيز فارغ؟ لتفسير ذلك اقترح العالم مايكل فاراداي التالي:

بسبب أن الجسم (A) المشحون كهربياً يؤثر بقوة في جسم آخر (B) مشحون كهربائياً عندما يكون موضوعاً في أي مكان في الفراغ أو الوسط، فإن الجسم (A) يجب أن يغير بطريقة ما من خصائص ذلك الوسط، وسيستشعر الجسم (B) ذلك التغير في خصائص الوسط أو الفراغ بطريقة ما، وسيتأثر بقوة ناجمة عن التغير في خصائص الوسط تؤثر في موقعه بالنسبة للجسم (A).

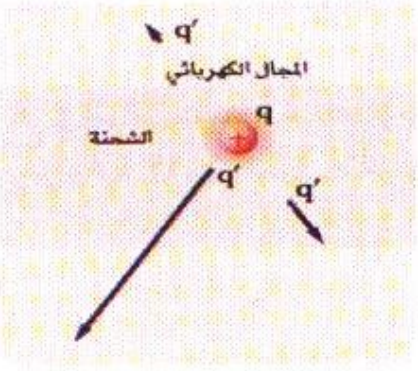
وأطلق على تغير خاصية الوسط هذه اسم المجال الكهربي، فالمجال الكهربي لا يعني التفاعل بين جسمين عن بعد، بل يعني التفاعل بين الجسم والمجال الكهربي عند موقع الجسم.

المجال الكهربائي:

كيف يمكن قياس المجال الكهربائي؟ ضع جسماً صغيراً مشحوناً في موقع معين. إذا كان هناك أي قوة كهربائية تؤثر فيه فسوف يكون هناك مجال كهربائي في ذلك الموقع.

تسمى هذه الشحنة الموجودة على الجسيم الصغير والتي استعملت لاختبار المجال شحنة الاختبار. ويجب أن تكون هذه الشحنة موجبة وصغيرة بحيث لا تؤثر في الشحنات الأخرى.

لاحظ في الشكل أدناه الذي يوضح جسماً مشحوناً بشحنة مقدارها q. وافترض انك وضعت شحنة الاختبار الموجبة في نقطة معينة، ولتكن النقطة A مثلاً، ثم حسبت القوة F ستتناسب هذه القوة طردياً مع مقدار شحنة الاختبار وذلك وفق قانون كولوم أي أنه إذا تضاعفت الشحنة ستتضاعف القوة كذلك، لذا تبقى النسبة بين القوة والشحنة ثابتة.



شدة المجال الكهربائي $E = \frac{F_{qq'}}{q'}$

شدة المجال الكهربائي تساوي مقدار القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة مقسومًا على مقدار تلك الشحنة.

ويكون اتجاه المجال الكهربائي في نفس اتجاه القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة. وتقاس شدة المجال الكهربائي بوحدة نيوتن / كولوم (N/C)

يمكن تكوين صورة للمجال الكهربائي باستعمال الأسهم لتمثيل متجهات المجال عند مواقع مختلفة، كما هو موضح بالشكل أعلاه حيث يستخدم طول السهم لبيان شدة المجال، أما اتجاه السهم فيمثل اتجاه المجال. ولإيجاد المجال الكهربائي الناشئ عن شحنتين عند نقطة ما، يتم إيجاد المجال الكهربائي الناشئ عن كل شحنة على انفراد عند تلك النقطة، ثم يجمع هذان المجالان جمعاً متجهاً. وتستخدم شحنة اختبار لرسم المجال الناشئ عن أي تجمع للشحنات.

يجب قياس المجال الكهربائي باستخدام شحنة اختبار صغيرة جداً وذلك لأن شحنة الاختبار تؤثر أيضاً بقوة في الشحنة q .

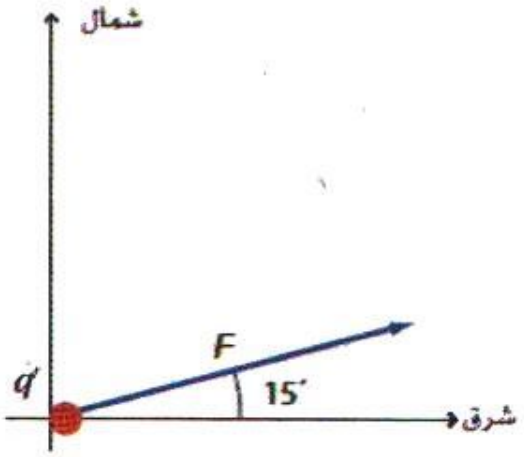
القيم التقريبية لمجالات كهربائية مثالية

المجال	المقدار (N/C)
بالقرب من قضيب مطاط صلب ومشحون	1×10^{3}
في أنبوب الأشعة المهبطية في التلفاز	1×10^{5}
الضروري لإحداث شرارة كهربائية في الهواء	3×10^{6}
عند مدار إلكترون ذرة الهيدروجين	3×10^{11}

مثال

شدة المجال الكهربائي قيس مجال كهربائي في الهواء باستخدام شحنة اختبار موجبة مقدارها $3.0\times10^{-6}\ C$، فتأثرت هذه الشحنة بقوة مقدارها $0.12\ N$ في اتجاه يميل بزاوية 15° شمال الشرق. ما مقدار واتجاه شدة المجال الكهربائي عند موقع شحنة الاختبار؟

الحل:



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

$$= \frac{0.12\ N}{3.0\times 10^{-6}\ N/C}$$

$$= 4.0\times 10^{4}\ N/C$$

إن كلا من القوة المؤثرة في شحنة الاختبار والمجال الكهربائي في الاتجاه نفسه.

$E = 4.0\times10^{4}\ N/C$، ويميل بزاوية 15° شمال الشرق

حلول مسائل تدريبية

1. يؤثر مجال كهربائي بقوة مقدارها $2.0\times10^{-4}\ N$ في شحنة اختبار موجبة مقدارها $5.0\times10^{-6}\ C$. ما مقدار المجال الكهربائي عند موقع شحنة الاختبار؟

$$E = \frac{F\ \text{في}\ q'}{q'} = \frac{2\times\times 10^{-4}\ N}{5\times 10^{-6}\ C}$$

$$= 0.4\times 10^{2}\quad \frac{N}{C}$$

2. وُضِعت شحنة سالبة مقدارها 2.0×10^{-8} C في مجال كهربائي، فتأثرت بقوة مقدارها 0.060 N في اتجاه اليمين. ما مقدار واتجاه المجال الكهربائي عند موقع الشحنة؟

$$E = \frac{F \text{ في } q'}{q'} = \frac{0.060\ N}{2 \times 10^{-8}} = 3 \times 10^{8}\ \frac{N}{C}$$

باتجاه اليمين

3. وُضِعت شحنة موجبة مقدارها 3.0×10^{-7} C في مجال كهربائي شدته 27 N /C يتجه إلى الجنوب. ما مقدار القوة المؤثرة في الشحنة؟

$$F \text{ في } q' = q'\ E$$

$$= (3 \times 10^{-7}\ C)\left(27 \frac{N}{C}\right)$$

$$= 81 \times 10^{-7}\ N \quad \text{باتجاه الجنوب}$$

ملاحظة: اتجاه القوة الكهربية يأخذ نفس اتجاه المجال المغناطيسي المؤثر بتلك القوة على شحنة اختبار معينة.

4. وُضِعت كرة بيلسان وزنها 2.1×10^{-3} N في مجال كهربائي شدته 6.5×10^{4} N /C، يتجه رأسيًا إلى أسفل. ما مقدار ونوع الشحنة التي يجب أن توضع على الكرة، بحيث توازِن القوة الكهربائية المؤثرة فيها قوة الجاذبية الأرضية، وتبقى الكرة معلّقة في المجال؟

$$q = \frac{F \text{ في } q'}{E}$$

$$= \frac{+2.1\times10^{-3}\ N}{-6.5\times10^{4}\ \frac{N}{C}} = -0.32 \times 10^{-7}\ C$$

إشارة الموجب للقوة الكهربية تعني أنها تتجه إلى أعلى، إشارة السالب للمجال لأنه متجها نحو الأسفل، ونوع الشحنة q سالبة (معلومة: اتجاه قوة الجاذبية الأرضية إلى أسفل)

5. يفحص زيد المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة مجهولة المقدار والنوع. فيرسم أولاً المجال بشحنة اختبار مقدارها 1.0×10^{-6} C، ثم يكرّر عمله بشحنة اختبار أخرى مقدارها 2.0×10^{-6} C.

a. هل يحصل زيد على القوى نفسها في الموقع نفسه عند استخدام شحنتي الاختبار؟ وضّح إجابتك.

b. هل يجد زيد أن شدة المجال هي نفسها عند استخدام شحنتي الاختبار؟ وضّح إجابتك.

a. لن يحصل زيد على القوى نفسها في الموقع نفسه عند استخدام شحنتي الاختبار وذلك لأن القوى تتناسب طردياً مع حاصل ضرب مقداري الشحنتين وفق قانون كولوم:

$$F \text{ في } q' = k\frac{qq'}{d^2}$$

وإن توحدت المسافة في الحالتين، فغن اختلاف 'q يؤدي بدوره إلى اختلاف Fفيq وهي نفسها القوة التي يؤثر بها المجال الكهربي E على شحنة الاختبار 'q أي أن:

$$F \text{ في } q' = k\frac{qq'}{d^2} = q'\,E$$

b. لن يجد زيد شدة المجال هي نفسها عند استخدام شحنتي الاختبار وذلك لان $E = \frac{F\text{في } q'}{q'}$ بمعنى أن شدة المجال الكهربي E تعتمد على قيمة q' كما يتضح.

6. ما مقدار المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 1.2 m عن شحنة نقطية مقدارها 4.2×10^{-6} C؟

$$F\text{في}q' = k\,\frac{q\,q'}{r^2} = q'\,E$$

$$k\,\frac{q}{d^2} = E$$

$$E = \left(9\times10^{9}\ N.\frac{m^2}{c^2}\right)\frac{4.2\times10^{-6}C}{(1.2m)^2}$$

$$= 26.25\times10^{3}\ \frac{N}{C}$$

7. ما مقدار المجال الكهربائي عند نقطة تقع على بُعد يساوي ضعف البعد عن الشحنة النقطية الواردة في المسألة السابقة؟

$$E = k\,\frac{q}{(2d)^2}$$

$$= \frac{\left(9\times10^{9}\ N.\frac{m^2}{c^2}\right)(4.2\times10^{-6}\ C)}{(2\times1.2m)^2}$$

$$= 6.56\ 10^{3}\ \frac{N}{C}$$

8. ما شـدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 1.6 m إلى الشرق من شـحنة نقطية مقدارها $+7.2\times10^{-6}$ C ؟

$$k\,\frac{q}{d^2} = E$$

$$= (\,9 \times 10^9\ \frac{N.m^2}{C^2})\ \ \frac{(7.2 \times 10^{-6}C)}{(1.6m)^2}$$

$$= 25.3 \times 10^3\ \ \frac{N}{C}$$ باتجاه الشرق

9. إذا كانـت شـدة المجال الكهربائي الناشـئ على بُعـد 0.25 m من كرة صغيرة مشحونة يساوي 450 N /C ويتجه نحو الكرة فما مقدار ونوع شحنة الكرة؟

$$k\,\frac{q}{d^2} = E$$

$$q = \frac{E\,d^2}{k} = \frac{\left(450\ \frac{N}{C}\right)(0.25m)^2}{\left(9 \times 10^{-9}\ \frac{N.m^2}{C^2}\right)}$$

$$= 3.125 \times 10^{-9}\ C$$

وهي شحنة موجبة لذا فإن اتجاه المجال سيكون مبتعداً عن الكرة.

10. عـلى أي بُعـد من شـحنة نقطيـة مقدارهـا $+2.4\times10^{-6}$ C يجب وضع شـحنة اختبار للحصول على مجال كهربائي شدته 360 N /C؟

$$E = k\,\frac{q}{d^2}$$

$$d^2 = k\frac{q}{E} = \frac{\left(9 \times 10^9\ \frac{N.m^2}{C^2}\right)(2.4 \times 10^{-6}\ C)}{360\ \frac{N}{C}}$$

$$= 60\ m^2$$

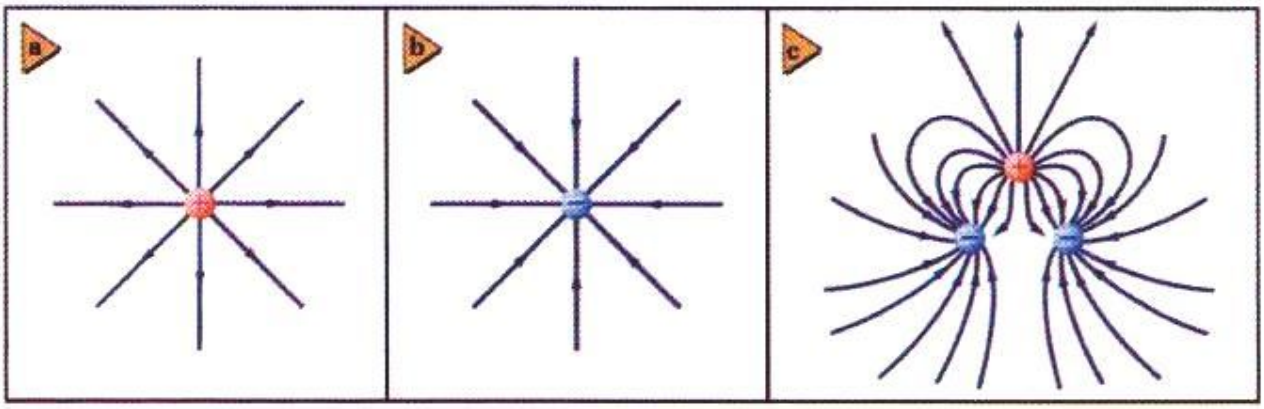
$$d = \sqrt{d^2} = \sqrt{60m^2} = 7.7\ m$$

لعلك من الأسئلة السابقة تلاحظ أن القوة الكهربية F = q′ E تعتمد على مقدار كل من المجال الكهربي E والشحنة q واتجاه هذه القوة يعتمد على اتجاه المجال.

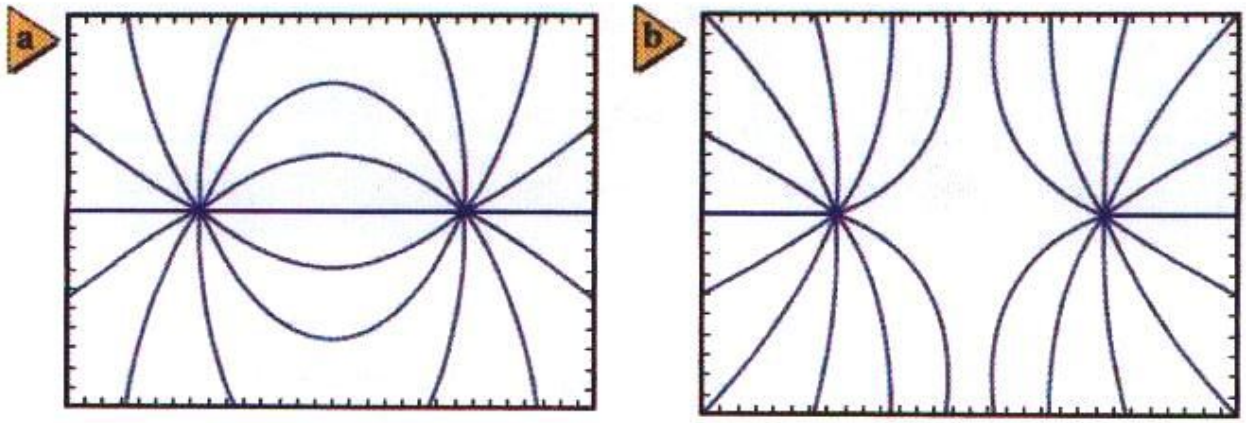
تمثيل المجال الكهربائي:

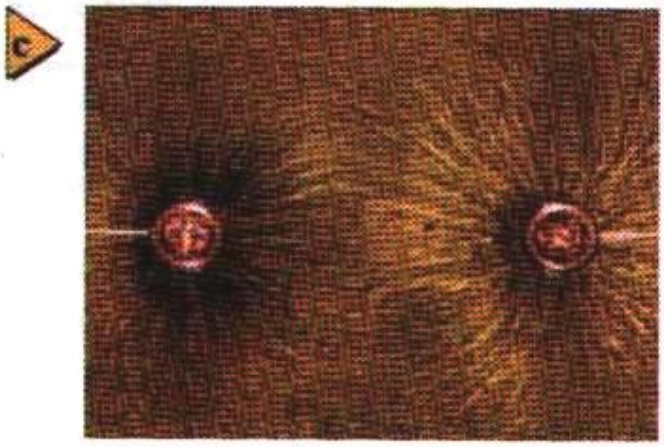
يظهر الشكل أدناه شكل خطوط المجال الكهربائي. وكل خط من هذه الخطوط المستخدمة لتمثيل المجال الكهربائي الفعلي في الفراغ أو الوسط المحيط بالشحنة يسمى خط المجال الكهربائي.
ويكون اتجاه المجال الكهربائي . ويكون اتجاه المجال الكهربائي عند أي نقطة هو اتجاه المماس المرسوم على خط المجال عند تلك النقطة.

وتشير المسافات الفاصلة بين خطوط المجال الكهربائي إلى شدة المجال الكهربائي، فكلما كانت هذه الخطوط متقاربة كان المجال الكهربائي قوياً وكلما تباعدت الخطوط بعضها عن بعض كان المجال الكهربائي ضعيفاً. وقد مثلت خطوط المجال هنا في بعدين إلا أنها في الحقيقة تنتشر في ثلاثة أبعاد.



يكون اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة موضوعة بالقرب من شحنة موجبة في اتجاه الخط الذي يكون مبتعداً عن الشحنة الموجبة، أي في اتجاه الخط الخارج منها. لذا تنتشر خطوط المجال شعاعياً إلى الخارج مثل أسلاك إطار الدراجة الهوائية، كما هو موضح بالشكل a . أما اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة موضوعة بالقرب من شحنة سالبة فيكون في اتجاه الخط المقترب من الشحنة السالبة أي في اتجاه الخط الداخل إليها كما هو موضح بالشكل b وعندما يكون هناك شحنتان أو أكثر فإن المجال الناتج يكون الجمع الاتجاهي للمجالات الناتجة عن هذه الشحنات، وعندها تصبح خطوط المجال منحنية وأنماطها أكثر تعقيداً كما هو موضح بالشكل c لاحظ أن خطوط المجال الكهربائي تخرج دائماً من الشحنة الموجبة وتدخل إلى الشحنة السالبة ولا يمكن أن تتقاطع مطلقاً.





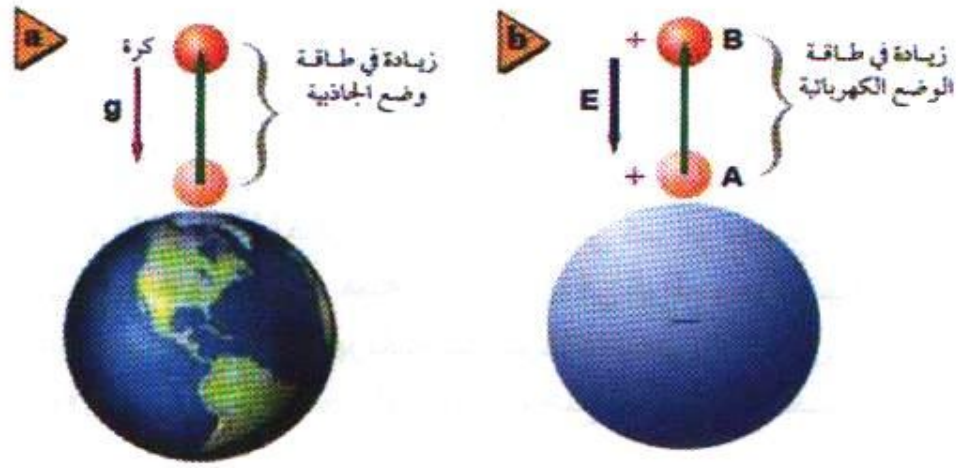
هناك طريقة أخرى لتمثيل خطوط المجال الكهربائي تتلخص في استخدام بذور أعشاب في سائل عازل، مثل الزيت المعدني، حيث تؤدي القوى الكهربائية إلى فصل الشحنة التي على كل بذرة أعشاب طويلة ورفيعة، مما يؤدي إلى أن تدور البذور بحيث تصطف في اتجاه المجال الكهربائي، ومن ثم تشكل نمطاً لخطوط المجال الكهربائي كما هو موضح بالشكل أعلاه، وخطوط المجال الكهربائي خطوط وهمية لا وجود لها في الواقع وهي وسيلة لتقديم نموذج للمجال الكهربائي . أما المجالات الكهربائية فهي موجودة وعلى الرغم من انها توفر طريقة لحساب القوة المؤثرة في جسم مشحون إلا أنها لا توضح لماذا تؤثر الأجسام المشحونة بعضها في بعض بقوى.

تطبيق المجالات الكهربائية

إن مفهوم الطاقة مفيد جداً في الميكانيكا، ويمكننا قانون حفظ الطاقة من حل مسائل الحركة دون الحاجة إلى معرفة تفاصيل القوى المؤثرة. وينطبق الشيء نفسه على دراسة التفاعلات الكهربائية، فقد يؤدي الشغل المبذول في تحريك جسيم مشحون في مجال كهربائي إلى اكتساب هذا الجسيم طاقة وضع كهربائية أو طاقة حركية أو كليهما.

الطاقة والجهد الكهربائيان

تذكر التغير في طاقة وضع الجاذبية لكرة عند رفعها، كما هو موضح بالشكل أدناه كلاً من قوة الجاذبية F ومجال الجاذبية $g = \frac{F}{m}$ يتجهان نحو الأرض. فإذا رفعت كرة في اتجاه معاكس لاتجاه قوة الجاذبية فإنك تبذل شغلاً عليها، مما يؤدي إلى زيادة طاقة وضعها.

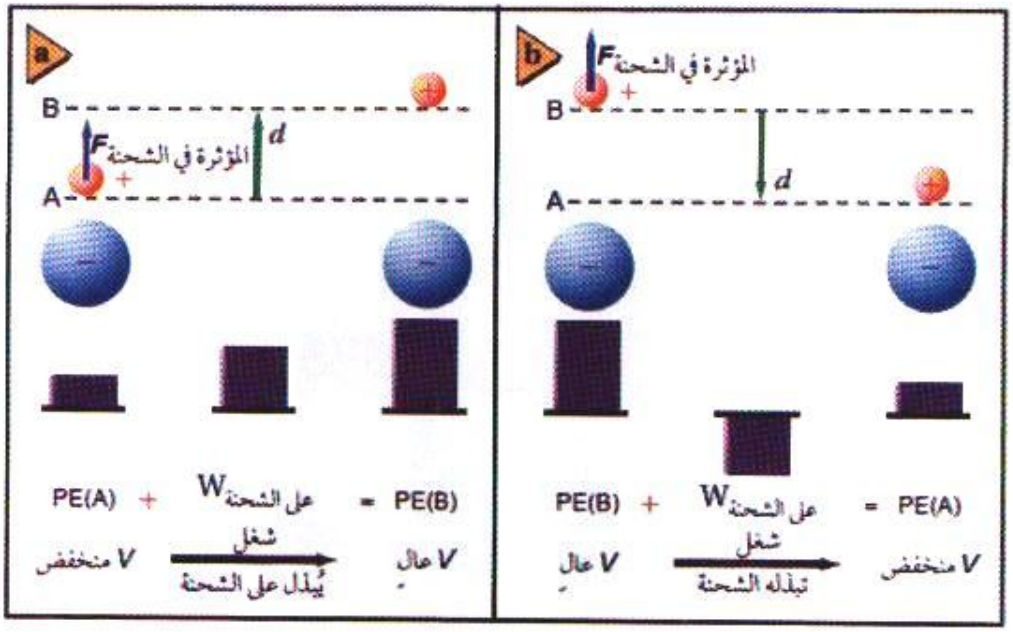


فرق الجهد الكهربائي $\Delta V = \frac{W_{\text{لـ}q'}}{q'}$

الفرق في الجهد الكهربائي هو النسبة بين الشغل اللازم لتحريك شحنة ومقدار تلك الشحنة.

ويقاس فرق الجهد الكهربائي بوحدة جول لكل كولوم، ويسمى الجول الواحد لكل كولوم الفولت

V = J/C



ادرس الحالة الموضحة في الشكل أعلاه، حيث تولد الشحنة السالبة مجالاً كهربياً متجهاً نحوها. افترض أنك وضعت شحنة اختبار صغيرة موجبة عند النقطة A ستتأثر عندها شحنة الاختبار بقوة في اتجاه المجال. وإذا حركت الآن شحنة الاختبار الموجبة بعيداً عن الشحنة السالبة إلى النقطة B فعليك التأثير فيها بقوة F ولأن اتجاه القوة التي أثرت بها في شحنة الاختبار في اتجاه الإزاحة نفسه لذا يكون الشغل الذي بذله على هذه الشحنة موجباً. وسيكون التغير في فرق الجهد الكهربائي موجباً أيضاً. فالتغير في فرق الجهد الكهربائي لا يعتمد على مقدار شحنة الاختبار بل على المجال الكهربائي والإزاحة فقط.

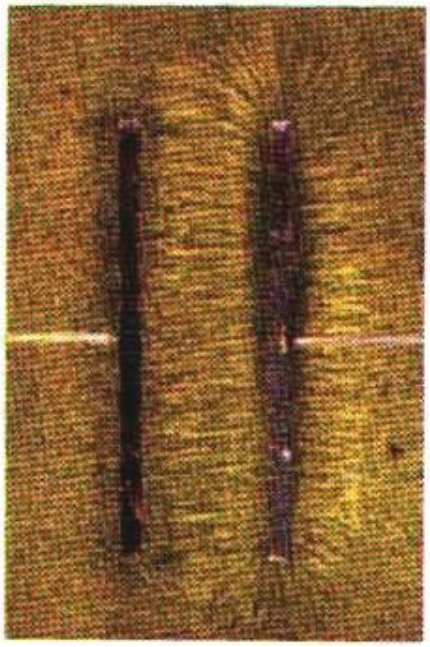
افترض أنك حركت شحنة الاختبار مرة أخرى من النقطة B إلى النقطة A سيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها في عكس اتجاه الإزاحة لذا يكون الشغل الذي تبذله سالباً. وسيكون فرق الجهد الكهربائي سالباً أيضاً ومساوياً ومعاكساً لفرق الجهد الكهربائي عند نقل الشحنة من النقطة A إلى النقطة B إن فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين لا يعتمد على المسار الذي يسلك للحركة من نقطة إلى أخرى وإنما يعتمد على موقع النقطتين.

هل هناك دائماً فرق جهد كهربائي بين نقطتين؟ افترض أنك حركت شحنة الاختبار في مسار دائري حول الشحنة السالبة. إن القوة التي يؤثر بها المجال الكهربائي في شحنة الاختبار سيكون دائماً عمودياً على اتجاه حركتها، لذا فإنك لا تبذل شغلاً في تحريك الشحنة، ومن ثم فإن فرق الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على المسار الدائري يساوي صفراً، وعندما يكون فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين او أكثر يساوي صفراً نسمي هذه النقاط سطح تساوي الجهد.

الجهد الكهربائي في مجال كهربائي منتظم

يمكننا الحصول على قوة ومجال كهربائيين منتظمين بوضع لوحين موصلين مستويين أحدهما موازٍ للآخر على أن يشحن أحدهما بشحنة موجبة، ويشحن الآخر بشحنة سالبة، يكون المجال الكهربائي بين اللوحين ثابتاً مقداراً واتجاهاً عند النقاط جميعها ما عدا النقاط التي تكون عند حواف اللوحين، ويكون اتجاه المجال الكهربائي من اللوح الموجب إلى اللوح السالب، ويمثل

النمط المتشكل من بذور الأعشاب الموضح بالشكل أدناه المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين.



فرق الجهد الكهربائي في مجال كهربائي منتظم $\Delta V=Ed$

فرق الجهد الكهربائي في مجال كهربائي منتظم يساوي حاصل ضرب شدة المجال الكهربائي في المسافة التي تحركتها الشحنة.

حلول مسائل تدريبية

16. شدة المجال الكهربائي بين لوحين فلزيين واسعين متوازيين ومشحونين 6000 N /C، والمسافة بينهما 0.05 m. احسب فرق الجهد الكهربائي بينهما.

$$\Delta v = E\ d$$

$$= \left(6000\frac{N}{C}\right)(0.05m) = 300\ V$$

17. إذا كانت قراءة فولتمتر متصل بلوحين متوازيين مشحونين 400 V، عندما كانت المسافة بينهما 0.020 m، فاحسب المجال الكهربائي بينهما.

$$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{400V}{0.020m} = 20\ 000\ \frac{N}{C}$$

18. عندما طُبّق فرق جهد كهربائي مقداره 125 V على لوحين متوازيين، تولّد بينهما مجال كهربائي مقداره 4.25×10^{3} N /C. ما البعد بين اللوحين؟

$$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{125V}{4.25 \times 10^{3}\frac{N}{C}} = 0.029\ m$$

19. ما الشغل المبذول لتحريك شحنة 3.0 C خلال فرق جهد كهربائي مقداره 1.5 V؟

$$W = q\,\Delta\,V$$

$$= (3\ c)(1.5\ V\ ) = 4.5\ \ C.V$$

20. يمكن لبطارية سيارة جهدها 12 V ومشحونة بصورة كاملة أن تختزن شحنة مقدارها 1.44×10^{6} C. ما مقدار الشغل الذي يمكن أن تبذله البطارية قبل أن تحتاج إلى إعادة شحنها؟

$$W = q\,\Delta\,V$$

$$= (1.44 \times 10^{6}\ C)(12V)$$

$$= 17.28 \times 10^{6}\ \ C.V$$

21. يتحرك إلكترون خلال أنبوب الأشعة المهبطية لتلفاز، فتعرّض لفرق جهد مقداره 18000 V. ما مقدار الشغل المبذول على الإلكترون عند عبوره لفرق الجهد هذا؟

بما أن شحنة الإلكترون $(q = -1.6 \times 10^{-19}\ C)$

$$W = q\,\Delta\,V$$

$$= (1.6 \times 10^{-19}\ C)(18000V)$$

$$= 28800 \times 10^{-19}\quad C.V$$

22. إذا كان مقدار المجال الكهربائي في مُسارع جسيمات يساوي $4.5\times10^{5}\ N/C$، فما مقدار الشغل المبذول لتحريك بروتون مسافة 25 cm خلال هذا المجال؟

$$\Delta V = E\ d$$

$$= \left(4.5 \times 10^{5}\,\frac{N}{C}\right)(25 \times 10^{-2}\ m)$$

$$= 1.125 \times 10^{5}\ V$$

وبما أن شحنة البروتون $= +1.6 \times 10^{-19}\ C$

$$w = q\,\Delta V$$

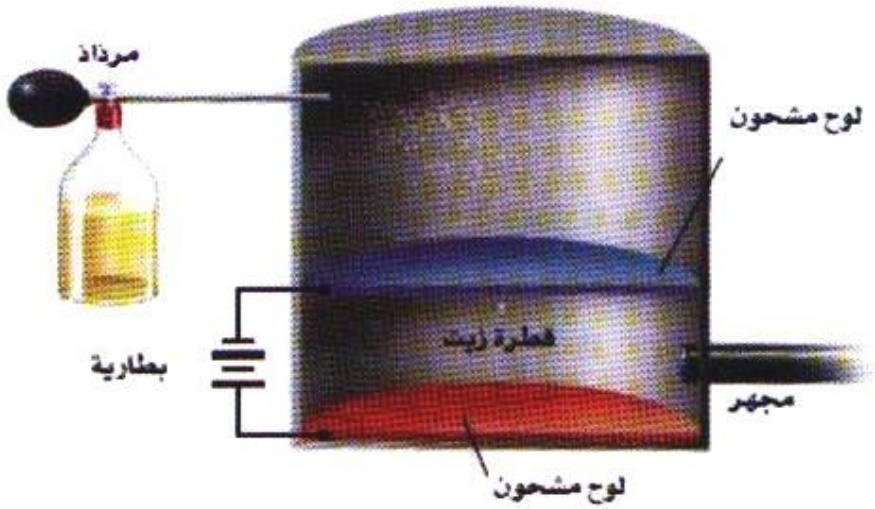
$$= (1.6 \times 10^{-19}\ C)(1.125 \times 10^{5}\ V)$$

$$= 1.8 \times 10^{-14}\ C.V$$

تجربة قطرة الزيت لمليكان:

يعد قياس شحنة الإلكترون من أهم التطبيقات على المجال المنتظم بين لوحين متوازيين. وأول من قاس شحنة الإلكترون بهذه الطريقة الفيزيائي الأمريكي روبرت مليكان عام 1909م، يبين الشكل أدناه الطريقة التي استخدمها مليكان لقياس الشحنة التي يحملها إلكترون مفرد. في البداية يرش في الهواء قطرات زيت دقيقة بمرذاذ، فتشحن هذه القطرات بسبب احتكاكها بالمرذاذ عند رشها، وتؤثر الجاذبية الأرضية في هذه القطرات مسببة سقوطها إلى أسفل، فيدخل بعض هذه القطرات في الفتحة الموجودة في اللوح العلوي داخل الجهاز. ومن ثم يطبق فرق جهد كهربائي بين اللوحين، ليؤثر المجال الكهربائي الناشئ بين اللوحين بقوة في القطرات المشحونة بشحنة سالبة إلى أعلى ويتم ضبط فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين، لتعلق قطرة زيت مشحونة في الهواء بين اللوحين، وعند هذه اللحظة تكون قوة مجال الجاذبية الأرضية المؤثرة في هذه القطرة إلى أسفل مساوية في المقدار للقوة الناتجة عن المجال الكهربائي والمؤثرة في القطرة إلى أعلى.

لقد تم تحديد مقدار المجال الكهربائي E، من خلال فرق الجهد بين اللوحين، ويتعين إجراء قياس آخر لإيجاد وزن القطرة باستخدام العلاقة mg، والذي يكون صغيراً جداً، بحيث لا يمكن قياسه بالطرائق العادية. ولإجراء هذا القياس تم تعليق القطرة أولاً ثم إيقاف المجال الكهربائي بين اللوحين، وقيس معدل سقوط القطرة، حيث تصل القطرة إلى السرعة الحدية خلال زمن قصير بسبب الاحتكاك مع جزئيات الهواء. وتعتمد السرعة الحدية هذه على كتلة القطرة من خلال معادلة معقدة. وباستخدام السرعة الحدية المقيسة لحساب المقدار mg وبمعرفة مقدار المجال الكهربائي E يمكن حساب مقدار الشحنة q.



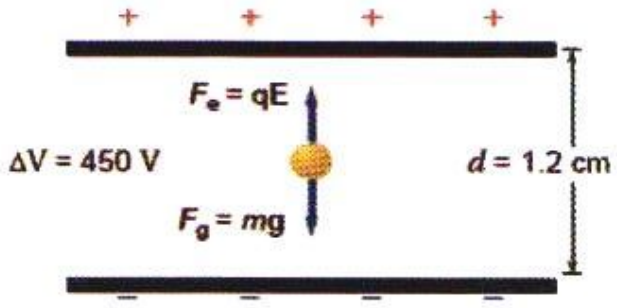
وجد مليكان قدراً كبيراً من الاختلاف في شحنات القطرات، فعندما استخدم الأشعة السينية (*X rays*) من أجل تأيين الهواء وإضافة إلكترونات إلى القطرات أو إزالتها عنها، لاحظ أن التغير في مقدار الشحنة على القطرات يكون دائماً مضروباً في المقدار $1.60 \times 10^{-19}\ C$ وكان سبب التغيرات إضافة إلكترون واحد أو أكثر إلى القطرات أو إزالتها منها. ومن هنا استنتج أن أقل تغير حدث في مقدار الشحنة كان يساوي مقدار شحنة إلكترون واحد، لذا افترض أن كل إلكترون له دائماً الشحنة نفسها وهي $1.60 \times 10^{-19}\ C$. وقد تبين تجربة مليكان أن الشحنة مكماة، وهذا يعني أن شحنة أي جسم هي فقط مضاعفات صحيحة لشحنة الإلكترون.

إيجاد شحنة قطرة زيت في تجربة قطرة الزيت لمليكان، وُجِد أن وزن قطرة زيت $2.4\times10^{-14}\ N$، والمسافة بين اللوحين $1.2\ cm$، وعندما أصبح فرق الجهد بين اللوحين $450\ V$ تعلّقت قطرة الزيت في الهواء بلا حركة.

a. ما مقدار شحنة قطرة الزيت؟

b. إذا كانت شحنة اللوح العلوي موجبة فما عدد فائض الإلكترونات على قطرة الزيت؟

الحل:



$$F_e = F_g$$

$$qE = F_g$$

$$\frac{q\Delta V}{d} = F_g$$

$$q = \frac{F_g d}{\Delta V}$$

$$= \frac{(2.4\times10^{-14}\ \text{N})(0.012\ \text{m})}{450\ \text{V}}$$

$$= 6.4\times10^{-19}\ \text{C}$$

$$n = \frac{q}{e}$$

$$= \frac{(6.4\times10^{-19}\ \text{C})}{(1.6\times10^{-19}\ \text{C})}$$

$$= 4$$

حلول مسائل تدريبية

23. تسقط قطرة زيت في جهاز مليكان دون وجود مجال كهربائي. ما القوى المؤثرة فيها؟ وإذا سقطت القطرة بسرعة متجهة ثابتة فصِف القوى المؤثرة فيها.

إذا سقطت قطرة الزيت في جهاز مليكان دون وجود مجال كهربائي فإن القوة المؤثرة فيها هي فقط قوة الجاذبية الأرضية إلى أسفل (قوة قطرة الزيت)، وإذا سقطت القطرة بسرعة متجهة ثابتة فإن القوى المؤثرة في قطرة الزيت هي قوى كهربية إلى أعلى تحت تأثير المجال الكهربي والسماوية لقوة وزن القطرة إلى أسفل تحت تأثير مجال الجاذبية الأرضية.

24. إذا عُلّقت قطرة زيت وزنها 1.9×10^{-15} N في مجال كهربائي مقداره 6.0×10^{3} N /C فما مقدار شحنة القطرة؟ وما عدد فائض الإلكترونات التي تحملها القطرة؟

$$F_e = F_g$$

$$qE = F_g$$

$$q = \frac{F_g}{E} = \frac{1.9\times10^{-15}\ N}{6\times10^{3}\ N/C}$$

$$= 0.3\times10^{-18}\ C$$

$$n = \frac{q}{e} = \frac{0.3\times10^{-18}\ C}{1.6\times10^{-19} C}$$

$$= 0.197\times10^{1}$$

25. تحمل قطرة زيت وزنها $6.4\times10^{-15}\ N$ إلكترونًا فائضًا واحدًا. ما مقدار المجال الكهربائي اللازم لتعليق القطرة ومنعها من الحركة؟

$$q = n\ e\ = 1\ \times 1.6 \times 10^{-19}\ C$$

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

$$F_e = F_g$$

$$qE = F_g$$

$$E = \frac{F_g}{q} = \frac{6.4 \times 10^{-15}\ N}{1.6 \times 10^{-19}\ C}$$

$$= 4 \times 10^4\ \frac{N}{C}$$

26. عُلّقت قطرة زيت مشحونة بشحنة موجبة وزنها $1.2\times10^{-14}\ N$ بين لوحين متوازيين البعد بينهما **0.64 cm**. إذا كان فرق الجهد بين اللوحين **240 V** فما مقدار شحنة القطرة؟ وما عدد الإلكترونات التي فقدتها ليكون لها هذه الشحنة؟

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

$$= \frac{240V}{0.64 \times 10^{-2}m}$$

$$= 37500\ \frac{N}{C}$$

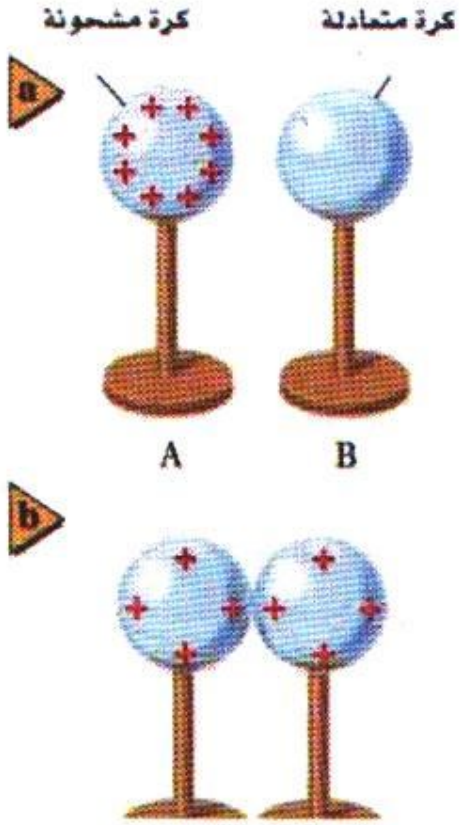
$$F = q\ E$$

$$q = \frac{F}{E} = \frac{1.2 \times 10^{-14}\ N}{37500\ \frac{N}{C}} = 0.000032 \times 10^{-14}\ C$$

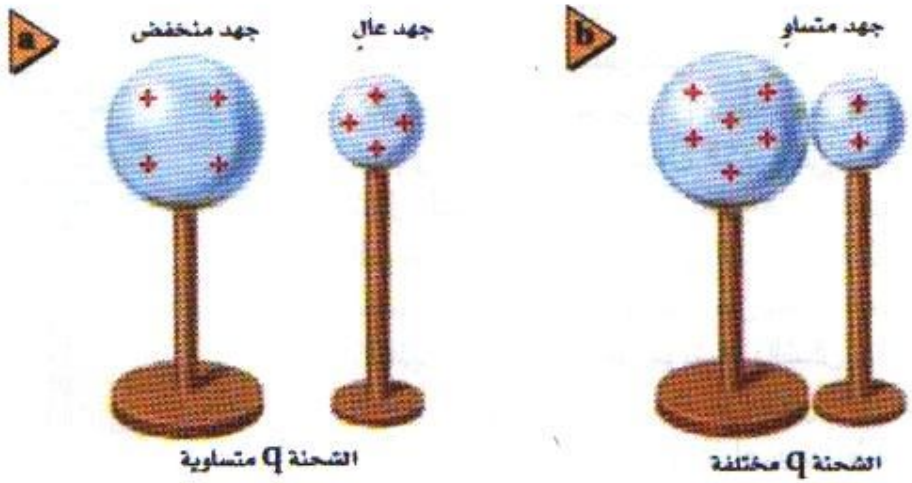
$$n = \frac{q}{e} = \frac{0.000032 \times 10^{-14}\ C}{1.6 \times 10^{-19}\ C} = \ 0.00002 \times 10^5$$

توزيع الشحنة وتقاسمها:

يؤول أي نظام إلى الاتزان عندما تصبح طاقته أقل ما يمكن، فإذا وضعت كرة على قمة تل مثلا فإنها ستصل في النهاية إلى قاع الوادي وتستقر هناك، حيث تكون طاقة وضع الجاذبية لها عندئذ أقل ما يمكن، وسيكون أيضاً هذا هو الموقع الذي تنخفض فيه طاقة وضع الجاذبية لأقل مقدار. ويفسر المبدأ نفسه ما يحدث عند تلامس كرة فلزية معزولة ومشحونة بشحنة موجبة مع كرة فلزية أخرى غير مشحونة، كما هو موضح بالشكل التالي:



إن الشحنات الفائضة على الكرة A يتنافر بعضها مع بعض، لذا فعندما تلامس الكرة المتعادلة B سطح الكرة A يكون هناك قوة كهربائية محصلة تؤثر في الشحنات الموجودة على الكرة A في اتجاه الكرة B افترض أنك حركت الشحنات ونقلتها منفردة من A إلى B عندما تنقل الشحنة الأولى ستدفعها الشحنات المتبقية على A في اتجاه B وللتحكم في سرعتها يجب أن تؤثر فيها بقوة في الاتجاه المعاكس. فتكون بذلك قد بذلت عليها شغلاً سالباً، ويكون فرق الجهد الكهربائي من A إلى B سالباً. وعند نقل الشحنات الأخرى ستواجه قوة تنافر من الشحنات التي أصبحت الآن على B، إلا أنه ما زال هناك قوة محصلة موجبة في ذلك الاتجاه، وعند مرحلة معينة تصبح القوة التي تدفع الشحنة من A إلى B تساوي قوة التنافر الناتجة عن الشحنات الموجودة على B، عندها يصبح فرق الجهد الكهربائي بين Aو B صفراً. وبعد حالة الاتزان هذه يجب بذل شغل على الشحنة التالية لنقلها من A إلى B وهذا لا يحدث تلقائياً بل يتطلب زيادة في طاقة النظام. وإذا استمرت في نقل الشحنات سيصبح فرق الجهد الكهربائي من A إلى B موجباً. لذا يمكنك مشاهدة أن الشحنات تتحرك من A إلى B دون التأثير بقوى خارجية إلى أن يصبح فرق الجهد الكهربائي بين الكرتين صفراً.



افترض أن الكرتين الموصلتين مختلفتان في الحجم كما هو موضح بالشكل أعلاه، فعلى الرغم من أن عدد الشحنات على الكرتين هو نفسه إلا أن للكرة الكبيرة مساحة سطحية أكبر. لذا تتباعد الشحنات الموجودة عليها بعضها عن بعض مسافات أكبر، ومن ثم تقل قوة التنافر بينها، فإذا لامسنا الكرتين معاً ستكون هناك قوة محصلة تنقل الشحنات من الكرة الصغيرة إلى الكرة الكبيرة. وستنتقل الشحنات إلى الكرة ذات الجهد الكهربائي الأقل، وسيستمر ذلك إلى أن ينعدم فرق الجهد الكهربائي بين الكرتين. وفي هذه الحالة سيكون للكرة الكبرى شحنة أكبر عند الوصول إلى حالة الاتزان.

يوضح المبدأ نفسه كيف تتحرك الشحنات على الكرات المنفردة أو على موصل آخر حيث تتوزع الشحنات بحيث تكون القوة المحصلة المؤثرة في كل منها صفراً. ومن دون وجود قوة محصلة لا يوجد مجال كهربائي أو مركبة له موازية لسطح الموصل، لذا لا يوجد فرق في الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على سطحه، ولذلك يكون سطح الموصل المشحون سطح تساوي الجهد.

إذا تم تأريض جسم مشحون بوصله بالأرض فستنتقل غالباً أي كمية شحنة عليه إلى الأرض إلى أن يصبح فرق الجهد الكهربائي بين الجسم والأرض صفراً.

المجالات الكهربائية بالقرب من الموصلات

تتوزع الشحنات الكهربائية على موصل مشحون مبتعدة بعضها عن بعض أبعد ما يمكن. بحيث تكون طاقة النظام أقل ما يمكن، مما يؤدي إلى توزع الشحنات الفائضة على سطح الموصل المصمت، وإذا كان الموصل أجوف فستتحرك الشحنات الفائضة نحو سطحه الخارجي، فإذا شحن وعاء فلزي مقفل فستتوزع الشحنات على سطحه الخارجي، ولن يكون هناك أي شحنات على سطحه الداخلي، وبهذه الطريقة يعمل الوعاء الفلزي المغلق عمل درع واق يحمي ما بداخله من المجالات الكهربائية. فمثلاً يكون الناس داخل السيارة محميين من المجالات الكهربائية الناتجة عن البرق، وبالمثل بالنسبة لعلبة مشروبات غازية مفتوحة سيكون عدد الشحنات داخل العلبة صغيراً جداً، ولا توجد شحنات بالقرب من قاعدة العلبة، حتى وإن كان

الشطح تاداخلي لجسم ما منقرا أو خشنا، مما يجعل مساحة سطحه الداخلي أكبر من مساحة سطحه الخارجي، إلا أن الشحنات ستتوزع كلها على سطحه الخارجي.

A

B

C

لا يكون المجال الكهربائي خارج موصل مشحون صفرا غالبا، وعلى الرغم من أن شطح الموصل يعد سطح تساوي جهد إلا أن المجال الكهربائي خارجه يعتمد على شكل الموصل، كما يعتمد على فرق الجهد الكهربائي بين الموصل والأرض، وتكون الشحنات أكثر قربا بعضها من بعض عند الرؤوس المدببة من سطح الموصل، وتكون كثافتها كبيرة، كما هو موضح بالشكل لذا تكون خطوط المجال الكهربائي عند هذه الرؤوس أكثر تقاربا، ويكون المجال الكهربائي أكبر. وإذا أصبحت شدة هذا المجال كبيرة بدرجة كافية فإنه يكون قادرا على مسارعة الإلكترونات والأيونات الناتجة عن مرور الأشعة الكونية خلال الذرات. فتصطدم هذه الإلكترونات والأيونات بذرات أخرى، مما يؤدي إلى تأين المزيد من الذرات. وتظهر هذه السلسلة من التفاعلات في صورة وهج وردي اللون كالذي يشاهد داخل كرة التفريغ الكهربائي التي تحوي غازات.
وإذا كان المجال الكهربائي كبيرا بصورة كافية فستنتج حزمة أو تيار من الأيونات والإلكترونات التي تشكل البلازما، وهي مادة موصلة، عندما تصطدم الجسيمات بجزئيات أخرى، وتصدر شرارة كهربية أما في الحالات الشديدة فينتج البرق، وللتقليل من عمليات التفريغ الكهربائي وحدوث الشرارة الكهربائية تجعل الموصلات ذات الشحنة الكبيرة أو التي تعمل تحت فروق جهد كبيرة ملساء وانسيابية الشكل لتقليل المجالات الكهربائية.
أما في مانعة الصواعق فيثبت قضيب بطريقة تجعل المجال الكهربائي كبيرا بالقرب من طرفه، ومع استمرار تسريع المجال الكهربائي للإلكترونات والأيونات، يبدأ تشكل مسار موصل من طرف القضيب إلى الغيوم أو العكس. ونتيجة لشكل القضيب المدبب جدا تفرغ شحنات الغيمة في صورة شرارة في قضيب مانعة الصواعق بدلا من تفريغها في المدخنة أو في أي نقطة مرتفعة من المنزل أو البناية، ثم تنتقل الشحنات من قضيب مانعة الصواعق عبر موصل لتتفرع بصورة آمنة في الأرض.

تخزين الشحنات: المكثف:

عند رفع كتاب عن سطح الأرض تزداد طاقة وضع جاذبية الكتاب، ويمكن تفسير ذلك على أنه تخزين للطاقة في مجال الجاذبية الأرضي، وبطريقة مماثلة يمكن تخزين الطاقة في المجال الكهربائي، ففي عام 1746م اخترع الفيزيائي الهولندي بيترفان مسجنبروك جهازا صغيرا يمكنه تخزين كمية كبيرة من الشحنات الكهربائية. وتكريما لمدينة ليدن التي عمل بها هذا العالم

سمي هذا الجهاز زجاجة (قارورة) ليدن . واستخدم العالم بنيامين فرانكلين زجاجة ليدن لتخزين الشحنات الكهربائية الناتجة عن البرق، كما استخدمها في عدة تجارب أخرى. وأصبح لهذا الجهاز الذي يعمل على تخزين الشحنات شكل جديد، بحيث أصبح أصغر حجماً ويسمى المكثف الكهربائي.

السعة الكهربائية $C = \frac{q}{\Delta V}$

السعة الكهربائية هي النسبة بين الشحنة على أحد اللوحين وفرق الجهد بينهما.

تقاس السعة الكهربائية بوحدة الفاراد والتي سميت بهذا الاسم نسبة إلى العالم مايكل فارادي. والفاراد الواحد عبارة عن واحد كولوم لكل فولت C/V. و 1C وحدة كبيرة جداً لقياس الشحنة، فإن 1F وحدة كبيرة جداً أيضاً لقياس السعة الكهربائية، فأغلب المكثفات المستخدمة في الإلكترونات الحديثة لها سعات كهربائية تتراوح بين 10 بيكوفاراد $(10 \times 10^{-12} F)$ و 500 ميكروفاراد . أما المكثفات التي تستخدم في ذاكرة الحاسوب لمنع الضياع في الذاكرة فلها سعات كهربائية كبيرة تتراوح بين 0.5F و 1.0F ، إذا زادت الشحنة زاد فرق الجهد الكهربائي أيضاً، أي أن سعة المكثف لا تعتمد على الشحنة q وإنما تعتمد على الأبعاد الهندسية للمكثف فقط.

حلول مسائل تدريبية

27. مكثف كهربائي سعته 27 µF وفرق الجهد الكهربائي بين لوحيه يساوي 45 V. ما مقدار شحنة المكثف؟

$$q = C\,\Delta V$$

$$= (27 \times 10^{-6}\,F)(45V)$$

$$= 1215 \times 10^{-6}\,C$$

28. مكثفان، سعة الأول 3.3 µF، وسعة الآخر 6.8 µF، إذا وصل كل منهما بفرق جهد 24 V فأي المكثفين له شحنة أكبر؟ وما مقدارها؟

$$q_1 = c_1\,\Delta V$$

$$= (3.3 \times 10^{-6}\,F)(24V)$$

$$= 79.2 \times 10^{-6}\,C$$

$$q_2 = c_2\,\Delta V$$

$$= (6.8 \times 10^{-6} F)(24V)$$

$$= 163.2 \times 10^{-6}\ C$$

المكثف ذو السعة الأكبر $(6.8 \times 10^{-6} F)$ له شحنة أكبر.

29. إذا شحن كل من المكثفين في المسألة السابقة بشحنة مقدارها 3.5×10^{-4} C فأي المكثفين له فرق جهد كهربائي أكبر بين طرفيه؟ وما مقداره؟

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

$$V1 = \frac{q}{C1} = \frac{(3.5 \times 10^{-4}\ C)}{(3.3 \times 10^{-6}\ F)}$$

$$= 1.06 \times 10^{2}\ V$$

$$V2 = \frac{q}{C2} = \frac{(3.5 \times 10^{-4}\ C)}{(6.8 \times 10^{-6} F)}$$

$$= 0.5 \times\times 10^{2}\ V$$

المكثف ذو السعة الأكبر $6.8 \times 10^{-6} F$ له فرق جهد أقل.

30. شحن مكثف كهربائي سعته 2.2 μF حتى أصبح فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه 6.0 V، ما مقدار الشحنة الإضافية التي يتطلبها رفع فرق الجهد بين طرفيه إلى 15.0 V؟

$$q = C\,\Delta V = (2.2 \times\approx 10^{-6}\ F)(15V - 6V)$$

$$= 19.8 \times 10^{-6}\ C$$

31. عند إضافة شحنة مقدارها 2.5×10^{-5} C إلى مكثف يزداد فرق الجهد بين لوحيه من 12.0 V إلى 14.5 V، احسب مقدار سعة المكثف.

$$C = \frac{q}{\Delta V} = \frac{(2.5 \times 10^{-5}\ C)}{(14.5V - 12V)}$$

$$= 10^{-5}\ F$$

$$F_e = q\,E$$

$$V = E\ d$$

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

$$F_e = q\,E \ = \ q\,\frac{V}{d}$$

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

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

$$F_e = q\,\frac{V}{d} \ = \ \frac{q\,\frac{q}{c}}{d} = \frac{q^2}{cd}$$

$$q^2 = \ F_e\ cd$$

$$= (2N)(22 \times 10^{-6}F)(1.5 \times 10^{-3}m)$$

$$= 66 \times 10^{-9}\ C^2$$

$$q = \ \sqrt{q^2} = \sqrt{66 \times 10^{-9}}\ C$$

أنواع المكثفات المختلفة:

تصنع المكثفات بأشكال وأحجام مختلفة، كما هو موضح بالشكل أدناه، فبعض المكثفات كبيرة وضخمة جداً حتى أنها تملأ غرفة كاملة، ويمكنها تخزين شحنات تكفي لإحداث برق اصطناعي، أو تشغيل ليزرات عملاقة قادرة على إطلاق آلاف الجولات من الطاقة خلال بضعة أجزاء من المليون من الثانية، أما المكثفات الموجودة في التلفاز فيمنها تخزين كمية كافية من الشحنات عند فروق جهد مساوية لعدة مئات من الفولتات، لذا تكون خطيرة جداً إذا لمست. وتبقى هذه المكثفات مشحونة عدة ساعات بعد إغلاق التلفاز، وهذا هو السبب في التحذير من نزع غطاء التلفاز أو غطاء شاشة جهاز الحاسوب حتى لو لم تكن متصلة بمصدر جهد كهربائي.

يمكن التحكم في السعة الكهربائية لمكثف بتغيير المساحة السطحية للموصلين، أو اللوحين الفلزيين داخل المكثف، أو تغيير المسافة بين اللوحين، أو تغيير طبيعة المادة العازلة لينهما، وتسمى المكثفات حسب نوع العازل الذي يفصل بين اللوحين، مثل السيراميك والمايكا والبوليستر والورق والهواء. ويمكن الحصول على سعة كهربائية كبيرة لمكثف بزيادة المساحة السطحية للوحين الفلزيين وتقليل المسافة بينهما. ولبعض المواد العازلة القدرة على عزل الشحنات الموجودة على لوحي المكثف بفاعلية وكفاءة، بحيث تسمح بتخزين كمية أكبر من الشحنة.

حلول 2-2 مراجعة

32. ما الفرق بين طاقة الوضع الكهربائية وفرق الجهد الكهربائي؟

فرق الجهد الكهربائي وهو النسبة بين الشغل اللازم لتحريك شحنة ومقدار تلك الشحنة ويقاس بوحدة الفولت.

طاقة الوضع الكهربية هي الطاقة التي تختزنها الشحنة بسبب بذل شغل عليها لسحبها عن شحنة أخرى وكلما زاد مقدار الشحنة كانت الزيادة في طاقة الوضع الكهربية لتلك الشحنة أكبر على عكس فرق الجهد الذي يقل بزيادة مقدار الشحنة المبذول عليها الشغل.

33. بين أن الفولت لكل متر هو نفسه نيوتن لكل كولوم.

$$E = \frac{F_e}{q}\left(\frac{N}{C}\text{ بوحدة}\right), \qquad E = \frac{V}{d}\ (\text{ بوحدة فولت على متر})$$

$$E = E$$

$$\frac{F_e}{q} = \frac{V}{d}$$

$$\frac{N}{C} = \frac{\text{فولت}}{\text{متر}}$$

34. **تجربة مليكان** عندما تتغير شحنة قطرة الزيت المعلّقة داخل جهاز مليكان تبدأ القطرة في السقوط. كيف يجب تغيير فرق الجهد بين اللوحين لجعل القطرة تعود إلى الاتزان من جديد؟

نغير فرق الجهد بين اللوحين بحيث نضبط شدة المجال الكهربي حتى تتساوى القوتان القوة الكهربية المؤثرة في الشحنة وقوة وزن الشحنة فتتزن القطرة وتستقر بين اللوحين حيث Fe = Fg

35. **الشحنة وفرق الجهد** إذا كان التغير في فرق الجهد الكهربائي في المسألة السابقة لا يؤثر في القطرة الساقطة فعلام يدل ذلك بشأن الشحنة الجديدة على القطرة؟

إذا كان التغير في فرق الجهد الكهربي لا يؤثر في القطرة الساقطة فهذا يعني أن القطرة غير مشحونة (ليس لها شحنة) بحيث تكون القوة الكهربية المؤثرة في القطرة تساوي صفر وتتأثر القطرة بقوة وزنها فحسب فتستمر في السقوط.

36. **السعة الكهربائية** ما مقدار الشحنة المختزنة في مكثف سعته $0.47\ \mu F$ عندما يُطبّق عليه فرق جهد مقداره $12\ V$؟

$$q = C\,V$$

$$= (0.47 \times 10^{-6}\ F)(12V)$$

$$= 5.64 \times 10^{-6}\ C$$

37. **توزيع الشحنات** عند ملامسة كرة موصلة صغيرة مشحونة بشحنة سالبة لكرة موصلة كبيرة مشحونة بشحنة موجبة، ماذا يمكن القول عن:
   a. جهد كل من الكرتين.
   b. شحنة كل من الكرتين.

a. جهد الكرة الصغيرة يساوي جهد الكرة الكبيرة بسبب التوزيع المتماثل للـ شحنة على الكرتين بعد التلامس
b. شحنة كل من الكرتين هي شحنة الكرة الأكبر لذا فهي موجبة.

دليل الدراسة

١. توليد المجالات الكهربية وقياسها:

- يوجد مجال كهربائي حول أي جسم مشحون، ويؤثر هذا المجال بقوى في الأجسام المشحونة الأخرى.
- المجال الكهربائي يساوي القوة مقسومة على وحدة الشحنات.

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

- اتجاه المجال الكهربائي هو اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة صغيرة.
- توفّر خطوط المجال الكهربائي صورة للمجال الكهربائي؛ حيث تكون دائمًا خارجة من الشحنة الموجبة وداخلة إلى الشحنة السالبة، ولا تتقاطع مطلقًا، وترتبط كثافتها بشدة المجال.

٢. تطبيقات المجالات الكهربائية:

- فرق الجهد الكهربائي يساوي التغير في طاقة الوضع الكهربائية لوحدة الشحنات الكهربائية في المجال الكهربائي.

$$\Delta V = \frac{W}{q'}$$

- يُقاس فرق الجهد الكهربائي بوحدة الفولت.
- يكون المجال الكهربائي بين لوحين مشحونين متوازيين منتظمًا ما عدا النقاط التي تكون عند أطراف اللوحين؛ حيث يكون المجال هناك غير منتظم، ويرتبط فرق الجهد مع شدة المجال الكهربائي من خلال العلاقة التالية:

$$\Delta V = Ed$$

- بيّنت تجربة مِلّيكان أن الشحنة الكهربائية مكمّاة.

- يمنع التأريض حدوث الشرارة الكهربائية الناتجة عن ملامسة الجسم المتعادل لأجسام أخرى تراكم عليها كمية كبيرة من الشحنات.
- يكون المجال الكهربائي أكبر ما يمكن عند المناطق المدبّبة أو الحادة من سطح الموصل.
- السعة الكهربائية هي النسبة بين شحنة جسم وفرق الجهد الكهربائي عليه.

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

- لا تعتمد السعة الكهربائية على شحنة الجسم ولا على فرق الجهد عليه.
- يستخدم المكثّف الكهربائي في تخزين الشحنات الكهربائية.

- بيّنت تجربة مليكان أن الشحنة الكهربائية مكمّاة.
- بيّن مليكان أيضًا أن مقدار الشحنة السالبة التي يحملها الإلكترون تساوي $1.6\times10^{-19}\,C$.

حلول التقويم:

.39

41. كيف يحدد اتجاه المجال الكهربائي؟

خطوط المجال الكهربي تكون داخلة إلى الشحنة السالبة وخارجة من الشحنة الموجبة.

42. ما المقصود بخطوط المجال الكهربي؟

خطوط المجال الكهربي هي الخطوط المستخدمة لتمثيل المجال الكهربي الفعلي في الفراغ أو الوسط المحيط بالشحنة

44. في الشكل التالي أين تنتهي خطوط المجال الكهربائي الخارجة من الشحنة الموجبة؟

تنتهي خطوط المجال الكهربي الخارجة من الشحنة الموجبة بالدخول إلى الشحنة السالبة.

45. كيف يتم الإشارة لشدة المجال الكهربائي من خلال خطوط المجال الكهربائي؟

كلما كانت خطوط المجال الكهربي المتوازية متقاربة أكثر كلما ازدادت شدة المجال والعكس صحيح.

46. ما وحدة قياس طاقة الوضع الكهربائية؟ وما وحدة قياس فرق الجهد الكهربائي، حسب النظام العالمي للوحدات SI؟

حسب النظام العالمي للوحدات فإن وحدة قياس طاقة الوضع الكهربية هي الجول ووحدة قياس فرق الجهد هي الفولت.

47. عرف الفولت بدلالة التغير في طاقة الوضع الكهربائية لشحنة تتحرك في مجال كهربائي؟

الفولت هو التغير في طاقة الوضع الكهربية بمقدار جول واحد واللازم لتحريك شحنة كهربية في مجال كهربي، ومقدار هذه الشحنة هو كولوم واحد.

48. لماذا يفقد الجسم المشحون شحنته عند وصله بالأرض؟

لأن الجسم الموصول بالأرض (مؤرض) يفقد صافي الشحنة عبر عملية التأريض.

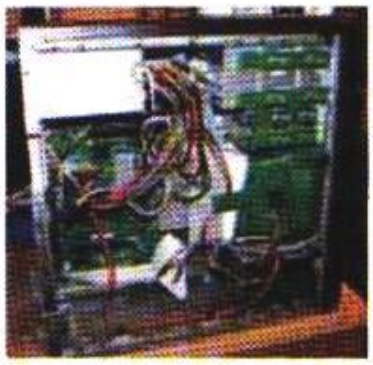
49. وضع قضيب مطاطي مشحون على طاولة فحافظ على شحنته بعض الوقت. لماذا لا تفرغ شحنة القضيب المشحون مباشرة؟

بسبب انتقال الشحنة عن طريق التوصيل من القضيب المطاطي المشحون إلى الطاولة المتعادلة الشحنة، فيخسر القضيب شحنته لصالح الطاولة، والطاولة تكتسب شحنة القضيب وتخسرها للأرض بسبب ملامستها لها (التأريض) وهذه العملية تستغرق بعض الوقت.

50. شحن صندوق فلزي، قارن بين تركيز الشحنة على زوايا الصندوق وتركيزها على جوانب الصندوق؟

يكون تركيز الشحنة على زوايا الصندوق أكبر من على جوانب الصندوق وذلك لأن مساحة زاوية الصندوق أصغر من مساحة جانبه فيزداد تكاثف الشحنات في الزوايا ويزداد تركيزها مقارنة بالجوانب.

51. لماذا تكون الأجزاء الدقيقة في الأجهزة الإلكترونية- كتلك الموضحة بالشكل التالي- محتواة داخل صندوق فلزي موضوع داخل صندوق آخر بلاستيكي؟



توضع الأجزاء الدقيقة في الأجهزة الالكترونية داخل صندوق للحفاظ على منطقة المجال الكهربي ويوضع الصندوق الفلزي داخل صندوق بلاستيكي لعزل التأثيرات الفلزية والكهربية عن الوسط المحيط بالصندوق.

52. ماذا يحدث لشدة المجال الكهربائي عندما تنقص شحنة الاختبار إلى نصف قيمتها؟

لا تتأثر شدة المجال الكهربي عندما تنقص شحنة الاختبار إلى نصف قيمتها، لان شدة المجال لا تعتمد على شحنة الاختبار مطلقاً.

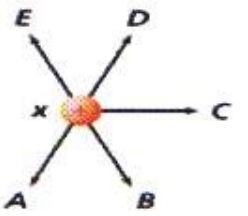
53. هل يلزم طاقة أكبر أم طاقة أقل لتحريك شحنة موجبة ثابتة خلال مجال كهربائي متزايد؟

يلزم طاقة أكبر لتحريك شحنة موجبة ثابتة خلال مجال كهربي متزايد، لأنه كلما زادت شدة المجال الكهربي زاد فرق الجهد المطبق وبالتالي تزداد طاقة التحريك.

54. ماذا يحدث لطاقة الوضع الكهربية لجسيم مشحون موجود داخل مجال كهربي عندما يطلق الجسيم ليصبح حر الحركة؟

تنعدم طاقة الوضع الكهربية للجسيم حر الحركة وتتحول كليا إلى طاقة حركة مستمرة وبالتالي تصبح الطاقة الكلية للجسيم هي طاقة حركة فقط وليس طاقة حركة ووضع.

55. يبين الشكل التالي ثلاث كرات مشحونة بالمقدار نفسه. أما أنواعها فموضحة على الشكل، الكرتان y ,z ثابتتان في مكانيهما أما الكرة x فهي حرة الحركة. والمسافة بين الكرة x وكل من الكرتين y ,z في البداية، حدد المسار الذي ستبدأ الكرة x في سلوكه، افترض أنه لا توجد أي قوى أخرى تأثر فيه.



بما أن الكرات مشحونة بالمقدار نفسه وبما أن المسافة بين الكرة x والكرتين z,y متساوية في البداية ، وبما أن الكرة z تخالف الكرة x في الشحنة فإن الكرة z ستؤثر بقوة تجاذب كهربية في

الاتجاه B ولأن الكرة y والكرة x متماثلتين في الشحنة (النوع) فإن الكرة y ستؤثر بقوة تنافر كهربية في الاتجاه D ولأن القوتين F_{BX} , F_{BY} متساويتان فسيكون اتجاه القوة المحصلة وهو الاتجاه الذي يسلكه الكرة x في البداية هو اتجاه C .

56. ما وحدة قياس فرق الجهد الكهربائي؟

$$w = q\,\Delta V$$

$$J = C\,V$$

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

ولكن

w = القوة x الإزاحة

$$J = m.N$$

والقوة = الكتلة x التسارع

$$N = kg \times \frac{m}{S^2}$$

$$J = m.N = \frac{m \times m}{s^2} \times kg = \frac{kg.m^2}{s^2}$$

$$V = \frac{J}{C} = \frac{\frac{kg.m^2}{s^2}}{C} = \frac{kg.m^2}{C.S^2}$$

57. كيف تبدو خطوط المجال الكهربائي للمجال الكهربائي الشدة نفسها عند النقاط جميعها في منطقة ما؟

تبدو خطوط المجال الكهربي منتظمة الشكل بسبب تساوي شدة المجال عند جميع النقاط في منطقة ما.

58. **تجربة قطرة الزيت لمليكان** يفضل عند إجراء هذه التجربة استخدام قطرات زيت لها شحنات صغيرة. هل يتعين عليك البحث عن القطرات التي تتحرك سريعًا أو تلك التي تتحرك ببطء عندما يتم تشغيل المجال الكهربائي؟ وضّح إجابتك.

يتعين علينا في تجربة قطرة الزيت عند تشغيل مجال كهربي أن نبحث ونراقب القطرات التي تتحرك بسرعة منتظمة وثابتة (في خط مستقيم) وذلك تحت تأثير الاتزان (تساوي القوة الكهربية مع قوة وزن القطرة) بحيث أن تسارع قطرة الزيت يساوي صفر، وحينها يمكن حساب قيمة شحنة القطرة.

60. يقف زيد وأخته ليلى على سطح مستو معزول متلامسين بالأيدي عندما تم إكسابهما شحنة، كما هو موضح بالشكل أدناه. إذا كانت المساحة السطحية لجسم زيد أكبر من ليلى فمن منهما سيمتلك كمية أكبر من الشحنات، أم أنهما سيمتلكان المقدار نفسه من الشحنات؟

سيمتلك زيد كمية أكبر من الشحنات من ليلى حيث العلاقة العكسية بين المساحة السطحية للجسم وكمية الشحنة المتراكمة عليه.

61. إذا كان قطرا كرتي ألومنيوم 10cm, 1cm فأيهما له سعة أكبر؟

الكرة ذات القطر 10cm لها سعة أكبر وذلك لأن مساحتها السطحية (الخارجية) أكبر منها للكرة ذات القطر 1cm .

62. كيف يمكنك تخزين كميات مختلفة من الشحنة في مكثف؟

يمكن تخزين كميات مختلفة من الشحنة في مكثف له سعة محددة عن طريق التحكم في فرق الجهد المطبق بين لوحي المكثف بحيث تكون النسبة بين كمية الشحنة المخزنة وفرق الجهد تساوي مقدار ثابت (سعة المكثف) وذلك وفق العلاقة:

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

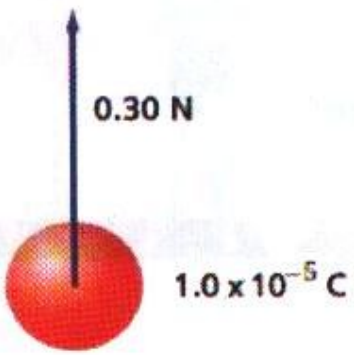
شحنة الإلكترون تساوي $-1.60\times10^{-19}\ C$، استخدم هذه القيمة حيث يلزم.

63. ما مقدار شحنة اختبار إذا تعرضت لقوة مقدارها $1.4\times10^{-8}\ N$ عند نقطة شدة المجال الكهربائي فيها $5.0\times10^{-4}\ N/C$ ؟

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

$$= \frac{1.4 \times 10^{-8}\ N}{5 \times 10^{-4}\ \frac{N}{C}} = 0.28 \times 10^{-4}\ C$$

64. يوضح الشكل **19–2** شحنة موجبة مقدارها $1.0\times10^{-5}\ C$، تتعرض لقوة $0.30\ N$، عند وضعها عند نقطة معينة. ما شدة المجال الكهربائي عند تلك النقطة؟



$$E = \frac{F}{q} = \frac{0.30\ N}{1 \times 10^{-5} C} = 30\,000\ \frac{N}{C}$$

65. إذا كان المجال الكهربائي في الغلاف الجوي يساوي $150\ N/C$ تقريبًا، ويتجه إلى أسفل، فأجب عما يلي:

a. ما اتجاه القوة المؤثرة في جسيم مشحون بشحنة سالبة؟

b. أوجد القوة الكهربائية التي يؤثر بها هذا المجال في إلكترون.

c. قارن بين القوة في الفرع **b** وقوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في الإلكترون نفسه. (كتلة الإلكترون تساوي $9.1 \times 10^{-31}\ kg$)

a. اتجاه القوة إلى أعلى بعكس اتجاه المجال.

b. $F_e = q\,E$

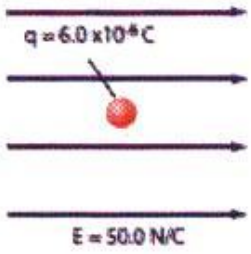
$$Fg = m\,g = (9.1 \times 10^{-31}\ kg)(9.8\ \frac{m}{s^2})$$ .c

$$= 89.1 \times 10^{-31}\ N$$

$$Fe = 240 \times 10^{-19}\ N$$

القوة الكهربية أكبر من قوة الجاذبية الأرضية (Fe >> Fg)

67. وضعت شحنة اختبار موجبة مقدارها 6.0×10^{-6} C في مجال كهربائي شدته 50.0 N /C، كما موضّح في الشكل **20–2**. ما مقدار القوة المؤثرة في شحنة الاختبار؟



$$F = q\,E$$

$$= (6 \times\times\ 10^{-6}\ C)\left(50\ \frac{N}{C}\right)$$

$$= 300 \times 10^{-6}\ N$$

69. تتسارع الإلكترونات في أنبوب الأشعة المهبطية في تلفاز نتيجة مجال كهربائي مقداره 1.00×10^{5} N /C. احسب مايلي:

a. القوة المؤثرة في الإلكترون.

b. تسارع الإلكترون إذا كان المجال منتظمًا. اعتبر كتلة الإلكترون 9.11×10^{-31} kg

a. $Fe = q\,E$

$$= (1.6 \times 10^{-19}\ C)\left(1 \times 10^{5}\ \frac{N}{C}\right)$$

$$= 1.6 \times 10^{-14}\ N$$

b. $Fe = m\,a$

$$1.6 \times 10^{-14}\ N = m\ a$$

$$1.6 \times 10^{-14}\ N\ = (9.1 \times 10^{-31}\ kg)\ g$$

$$a = \frac{1.6 \times 10^{-14}\ N}{9.1 \times 10^{-31}} = 0.17\ \times 10^{17}\ \frac{m}{s^2}$$

70. أوجد شـدة المجال الكهربائي على بُعد **20.0 cm** من شحنة نقطية مقدارها **8.0×10^{-7} C** .

$$E = k\frac{q}{d^2}$$

$$= \frac{\left(9 \times 10^{9}\ \frac{N.m^2}{C^2}\right)(8 \times 10^{-7}\ C)}{(20 \times 10^{-2}\ m)^2} = 1800\ \times 10^{-2}\ \frac{N}{C}$$

71. شحنة نواة ذرة رصاص تساوي شحنة **82** بروتونًا.

a. أوجـد مقـدار واتجاه المجـال الكهربائـي على بُعد **1.0×10^{-10} m** من النواة.

b. أوجـد مقـدار واتجـاه القـوة المؤثـرة في إلكـترون موضوع على البعد نفسه.

a. شحنة البروتون = شحنة الإلكترون (من حيث المقدار)

$$q = ne\ = 82 \times (+1.6 \times 10^{-19}\ C)$$

$$= +\ 131.2 \times 10^{-19}\ C$$

$$E = k\frac{q}{d^2} = \frac{(9 \times 10^{9})(131.2 \times 10^{-19})}{(1 \times 10^{-10})^2}$$

$$= 1180.8 \times 10^{10}\ \frac{N}{C}$$

في نفس اتجاه القوة الكهربية.

b. $Fe = q\ E$

$$= (-1.6 \times 10^{-19})\left(1180.8 \times 10^{10}\ \frac{N}{C}\right)$$

$$=\ -1889.2 \times 10^{-9}\ N$$

في عكس اتجاه المجال الكهربي.

72. إذا بُذل شغل مقداره 120 J لتحريك شحنة مقدارها 2.4 C من اللوح الموجب إلى اللوح السالب، كما هو موضّح في الشكل 21-2، فما فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين؟

$$w = q\,\Delta V$$

$$\Delta V = \frac{w}{q} = \frac{120\,J}{2.4\,C} = 50V$$

73. ما مقدار الشغل اللازم لنقل شحنة مقدارها 0.15 C خلال فرق جهد كهربائي مقداره 9.0 V ؟

$$w = q\,\Delta V$$

$$= (0.15\ C)\ (9V) = 1.35\ J$$

74. بذلت بطارية شغلاً مقداره 1200 J لنقل شحنة كهربائية. ما مقدار هذه الشحنة المنقولة إذا كان فرق الجهد بين طرفي البطارية 12 V؟

$$q = \frac{w}{\Delta V} = \frac{1200J}{12V} = 100\ C$$

75. إذا كانت شدة المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين مشحونين 1.5×10^3 N /C، والبعد بينهما 0.060 m فما فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين بوحدة الفولت؟

$$V = E\ d$$

$$= \left(1.5 \times 10^3 \frac{N}{C}\right)(0.060\ m) = 90\ V$$

76. تبيّن قراءة فولتمتر أن فرق الجهد الكهربائي بين لوحين متوازيين مشحونين 70.0 V. فإذا كان البعد بين اللوحين 0.020 m فما شدة المجال الكهربائي بينهما؟

$$E = \frac{V}{d} = \frac{70V}{0.020m} = 3500\frac{N}{C}$$

77. يخزّن مكثف موصول بمصدر جهد 45.0 V شحنة مقدارها 90.0 μC، ما مقدار سعة المكثف؟

$$C = \frac{q}{V} = \frac{(9 \times 10^{-6}\ C)}{45V} = 2 \times 10^{-6}\ F$$

78. تم تثبيت قطرة الزيت الموضحة في الشكل **2-22** والمشحونة بشحنة سالبة في مجال كهربائي شدته $5.6\times10^{3}\ N/C$. فإذا كان وزن القطرة $4.5\times10^{-15}\ N$:

a. فما مقدار الشحنة التي تحملها القطرة؟

b. وما عدد الإلكترونات الفائضة التي تحملها القطرة؟

$$Fe = Fg \qquad .a$$

$$qE = Fg \ldots\ldots\ldots q = \frac{Fg}{E}$$

$$q = \frac{4.5 \times 10^{-15}\ N}{5.6 \times 10^{3}\ \frac{N}{C}} = 0.80 \times 10^{-18} C$$

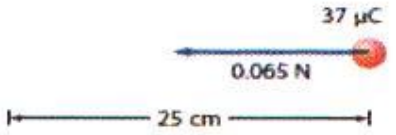
$$\text{b. } n = \frac{q}{e} = \frac{0.80\times10^{-18}\ C}{1.6\times10^{-19} C} = 5$$

79. ما شحنة مكثف سعته 15.0 pF عند توصيله بمصدر جهد 45.0 V؟

$$q = C\,V = (15 \times 10^{-12}\ F)(45V)$$

$$= 675 \times 10^{-12}\ C$$

80. إذا لـزم قـوة مقدارهـا 0.065 N لتحريـك شـحنة مقدارهـا 37 μC مسـافة 25 cm في مجـال كهربائـي منتظـم، كـما يوضّح الشـكل **23-2**، فما مقـدار فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين؟



$$F = q\,E = q\,\frac{V}{d}$$

$$V = \frac{F\ d}{q} = \frac{(0.065N)(0.25m)}{37 \times 10^{-6}\ C}$$

$$= 439.18\ V$$

81. **آلـة التصويـر** يعـبر عن الطاقـة المختزنـة في مكثف سعته C، وفرق الجهد الكهربائي بين طرفيه $V\Delta$ كما يلي: $W = \frac{1}{2} C\Delta V^2$. ومن التطبيقات على ذلك آلة التصوير الإلكترونيـة ذات الفـلاش الضوئـي، كالتـي تظهـر في الشـكل **24-2**. إذا شُحن مكثف في آلة تصوير مماثلة سـعته 10.0 μF، إلى أن أصبـح فـرق الجهـد عليـه 3.0×10^2 V فما مقدار الطاقة المختزنة في المكثف؟

$$W = \frac{1}{2}\ C\ \Delta V^2$$

$$= \frac{1}{2}(10 \times 10^{-6}F)(3 \times 10^2V)^2$$

$$= 0.45\ J$$

82. افترض أن شحن المكثف في المسألة السابقة استغرق 25 s، فأجب عما يلي:

a. أوجد متوسط القدرة اللازمة لشحن المكثف خلال هذا الزمن.

b. عند تفريغ شحنة هذا المكثف خلال مصباح الفلاش يفقد طاقته كاملة خلال زمن مقداره 1.0×10^{-4} s. أوجد القدرة التي تصل إلى مصباح الفلاش.

c. ما أكبر قيمة ممكنة للقدرة؟

a. متوسط القدرة = $\frac{W}{\text{الزمن}} = \frac{0.45J}{25S} = 0.018\ W$

b. متوسط القدرة = $\frac{w}{\text{الزمن}} = \frac{0.45J}{1\times10^{-4}S} = -4500\ W$

أشارة السالب يعني فقد في الطاقة.

c. أكبر قيمة ممكنة للقدرة هي 4500 W

83. **الليزر** تستخدم أجهزة الليزر لمحاولة إنتاج تفاعلات اندماج نووي مسيطر عليها. ويتطلب تشغيل هذه الليزرات نبضات صغيرة من الطاقة تُخزّن في غرف كبيرة مملوءة بالمكثفات. وتقدّر السعة الكهربائية لغرفة واحدة بـ 61×10^{-3} F تشحن حتى يصل فرق الجهد عليها إلى 10.0 kV.

a. إذا علمت أن $W = \frac{1}{2} C\Delta V^2$ فأوجد الطاقة المختزنة في المكثفات.

b. إذا تم تفريغ المكثفات خلال 10 ns (أي 1×10^{-8} s) فما مقدار الطاقة الناتجة؟

c. إذا تم شحن المكثفات بوساطة مولّد قدرته 1.0 kW فما الزمن بالثواني اللازم لشحن المكثفات؟

a. $w = \frac{1}{2} C\,\Delta V^2 = \frac{1}{2}(61\times10^{-3}\,F)(10\times10^{3}V)^2$

b. الطاقة الناتجة = الطاقة المختزنة = 305J

c. القدرة = w x الزمن اللازم لشحن المكثفات

$1\times10^{3}W$ = 305 J x الزمن اللازم لشحن المكثفات

الزمن اللازم لشحن المكثفات = $\frac{1\times10^{3}\,W}{305J} = 3.275$

84. ما مقدار الشغل المبذول لتحريك شحنة مقدارها $0.25\ \mu C$ بين لوحين متوازيين، البعد بينهما $0.40\ cm$، إذا كان المجال بين اللوحين $6400\ N/C$؟

$$w = q\Delta V = q\ E\ d$$

$$= (0.25 \times 10^{-6} C)\left(6400\ \frac{N}{C}\right)(0.40 \times 10^{-2}\ m)$$

$$= 640 \times 10^{-6}\ J$$

85. ما مقدار الشحنات المخزّنة في مكثف ذي لوحين متوازيين سعته $0.22\ \mu F$، إذا كان البعد بين لوحيه $1.2\ cm$، والمجال الكهربائي بينهما $2400\ N/C$؟

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

$$q = CEd = (0.22 \times 10^{-6} F)\left(2400\ \frac{N}{C}\right)(1.2 \times 10^{-2} m)$$

$$= 633.6 \times 10^{-8}\ C$$

87. إذا شُحن هذا المكثف حتى أصبح فرق الجهد بين لوحيه $120\ V$ فما مقدار الشحنة المخزّنة فيه؟

$$q = C\ \Delta V$$

$$= (0.047 \times 10^{-6}\ F)(120V)$$

$$= 5.64 \times 10^{-6}\ C$$

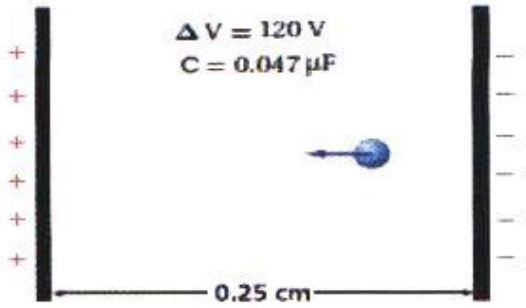
88. ما مقدار شدة المجال الكهربائي بين لوحي المكثف؟

$$E = \frac{V}{d} = \frac{120V}{(0.25 \times 10^{-2}\ m)} = 48000\ \frac{N}{C}$$

89. إذا وضع إلكترون بين لوحي المكثف فما مقدار القوة المؤثرة فيه؟

$$F = q\ E = (1.6 \times\times 10^{-19}\ C)\left(48000\ \frac{N}{C}\right) = 76800 \times 10^{-19}\ N$$

90. ما مقدار الشغل اللازم لتحريك شحنة إضافية مقدارها $0.010\ \mu C$ بين لوحي المكثف عندما يكون فرق الجهد بينهما $120\ V$؟



$$w = q\,\Delta V$$

$$= (0.010 \times 10^{-6}\ C)(120V)$$

$$= 1.2 \times 10^{-6}\ J$$

91. ماذا يمثّل ميل الخط الموضّح على الرسم البياني؟

السعة الكهربية حيث : $C = \frac{q}{\Delta V}$

92. ما سعة المكثف الممثّل في هذا الشكل؟

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

$$= \frac{10 \times 10^{-6}\ C - 5 \times 10^{-6} C}{20V - 10V} = 0.5 \times 10^{-6}\ F$$

93. ماذا تمثّل المساحة تحت الخط البياني؟

تمثل المساحة تحت الخط البياني الطاقة المختزنة في المكثف والتي تساوي مساحة المثلث = الارتفاع x القاعدة x 2/1

$$= \frac{1}{2} \times \Delta V \times q = \frac{1}{2}\, q\, \Delta V = W$$

97. أين يكون المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية صفرًا؟

يكون المجال الكهربي الناشئ عن شحنة نقطية عند نقطة تقع على بعد الما لا نهاية لأن:

$E\ \alpha \frac{1}{d^2}$ ، وحيث البعد d = ما لانهاية فإن E تساوي صفر.

99. تطبيق المفاهيم على الرغم من تصميم قضيب مانعة الصواعق ليوصل الشحنات بأمان إلى الأرض، إلا أن هدفه الرئيس هو منع ضربة الصاعقة في المقام الأول، فكيف تعمل مانعة الصواعق ذلك؟

١. في العاصفة الرعدية، تتجمع الشحنات السالبة وتتراكم في المناطق السفلية للسحب، ويتنافر المجال الكهربي للشحنات السالبة على السحابة مع الإلكترونات التي على الأرض المتعادلة كهربياً، مما يؤدي إلى تكون طرف أو منطقة على الأرض مشحونة بشحنة موجبة عن طريق الحث.

٢. يسرع المجال الكهربي الكبير (بسبب فرق الجهد بين السحب والأرض) الإلكترونات والأيونات، مما يسبب سلسلة من التفاعلات في الهواء مكوناً البلازما (وهي هواء متأين ويشكل مادة موصلة، حيث يتفرغ خارجاً من الغيوم مكوناً ما يسمى عتبات قيادة التفريغ (الشعاع القائد).

٣. تنطلق الشحنات الموجبة في صورة شرارة خارجة من قضيب مانعة الصواعق لتقابل الشعاع القائد فيكتمل المسار الموصل، ويعمل التيار على معادلة الشحنات المنفصلة وحتى إذا لم تضرب الشرارة قضيب مانعة الصواعق مباشرة فسيبقى التيار الهائل قادراً على الوصول إلى قضيب مانعة الصواعق وهو المسار الأقل مقاومة إلى الأرض.

حلول اختبار مقنن:

١. D
٢. D
٣. D
٤. C
٥. B
٦. B
٧. A

الفصل الثالث

الكهرباء التيارية

الكهرباء التيارية

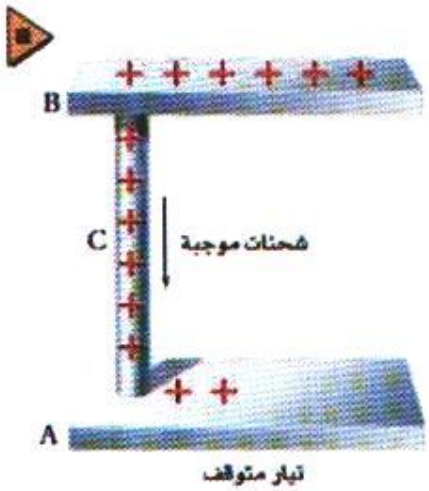
كان الطبيب الإيطالي (لوجي جلفاني) في عام 1786 يقوم بتشريح ضفدعة فلاحظ ارتعاد عضلات أرجلها عندما يلامس جسمها معدنين مختلفين مثل النحاس والحديد كما لو كان قد مر بها صدمة كهربية. وتوصل العالم الطبيعي (فولتا) بتجاربه إلى أن منشأ هذه الكهربية يرجع إلى وجود معدنين مختلفين بينهما سائل كيميائي كالسائل الذي يرطب جسم الضفدعة. وتمكن بعد ذلك العالم فولتا من تصميم أول عمود كهربي بسيط (بطارية) يمكن بواسطته الحصول على تيار كهربي.

- توليد التيار الكهربي:

إذا وصل سلك معدني بقطبي عمود كهربي (بطارية) فإن الالكترونات الحرة الموجودة في ذرات السلك المعدني تتنافر مع القطب السالب للبطارية وتتحرك جميعها في اتجاه واحد نحو القطب الموجب ويطلق على سريان الالكترونات الحرة في الموصل من القطب السالب إلى القطب الموجب للبطارية (التيار الكهربي).

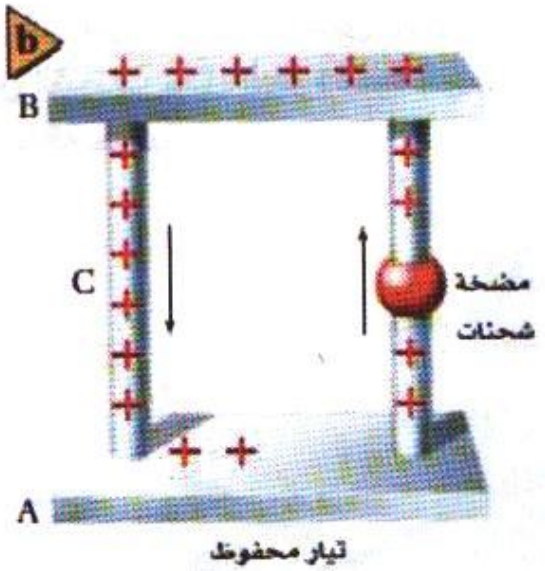
التيار الكهربي: هو فيض من الالكترونات الحرة تسري في السلك (الموصل المعدني) من القطب السالب إلى القطب الموجب للبطارية.

ومازال يصطلح على أن اتجاه التيار الكهربي هو اتجاه سريان الشحنات الكهربية الموجبة من القطب الموجب إلى القطب السالب للبطارية ويسمى هذا الاتجاه (الاتجاه الاصطلاحي للتيار الكهربي). ويوضح الشكل الآتي لوحين موصلين B, A تم توصيلهما بواسطة سلك موصل C لأن جهد B أكبر من جهد A فإن الشحنات تتدفق من B إلى A عبر السلك C وتدفق الشحنات الموجبة هذا يعرف بالتيار الاصطلاحي.



تيار متوقف

ويتوقف التدفق عندما يصبح فرق الجهد بين C, B, A صفراً، ويمكن المحافظة او الإبقاء على وجود فرق جهد كهربي بين B, A عن طريق ضخ جسيمات مشحونة من اللوح A لتعود إلى اللوح B كما يوضح الشكل الآتي:



ولأن المضخة (مصدر الجهد) تعمل على زيادة طاقة الوضع الكهربية للشحنات فإنها تحتاج إلى مصدر طاقة خارجي حتى تعمل، ولهذه الطاقة مصادر متنوعة ، فمثلاً تعد خلية الفولتية أو الخلية الجلفانية (البطارية الجافة المعروفة) إحدى هذه المصادر المألوفة إذ تقوم بتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربية، عند وصل عدة خلايا جلفانية معاً يتشكل ما يسمى البطارية، وهناك مصدر آخر للطاقة الكهربية وهو خلية الفولتية الضوئية أو الخلية الشمسية حيث تعمل هذه الخلية على تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربية.

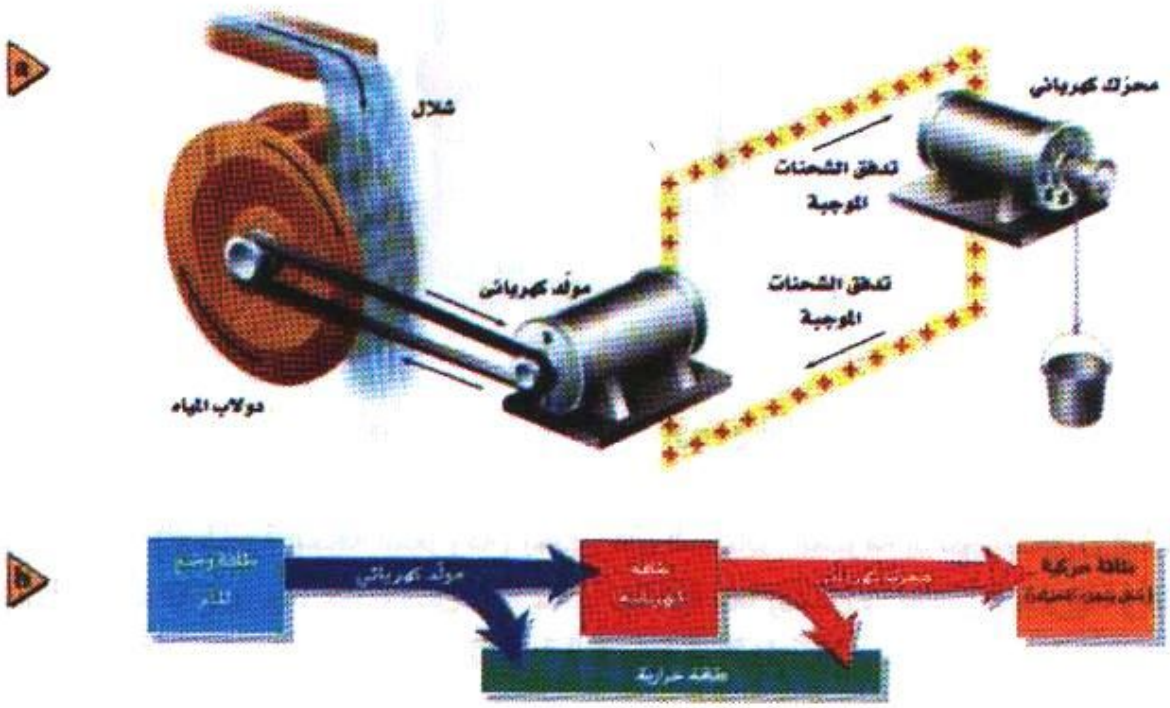
- **الدوائر الكهربية:**

تتحرك الشحنات الموضحة بالشكل في مسار مغلق بحيث تتحرك في دورة تبدأ من المضخة، ثم تصل إلى اللوح B من خلال الموصل C وتصل بعد ذلك إلى اللوح A لتعود إلى المضخة مرة أخرى. وتسمى أي حلقة مغلقة أو مسار موصل يسمح بتدفق الشحنات الكهربائية الدائرة الكهربية، وتحتوي الدائرة على مضخة للشحنات، تعمل على زيادة طاقة الوضع الكهربائية للشحنات المتدفقة من A إلى B، كما تحتوي أيضاً على أداة تقلل من طاقة الوضع الكهربائية للشحنات المتدفقة من B إلى A. وتتحول عادة طاقة الوضع التي تفقدها الشحنات المتحركة، qV بوساطة هذه الأداة إلى أشكال أخرى للطاقة ، فمثلاً يعمل المحرك على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية، ويحول المصباح الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية، وتحول المدفأة الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.

تعمل مضخة الشحنات على تدفق الجسيمات المشحونة، والتي بدورها تشكل التيار الكهربائي، لندرس مثلاً مولداً كهربائياً تم تشغيله بوساطة دولاب (ناعورة) كما هو موضح بالشكل أدناه، حيث يسقط الماء فيدير الدولاب، الذي يدير بدوره المولد، وهكذا تتحول الطاقة الحركية للمياه

إلى طاقة كهربائية بوساطة المولد. فعمل المولد يشبه عمل مضخة الشحنات، إذ يزيد من فرق الجهد الكهربائي V ونحتاج إلى طاقة qV لزيادة فرق الجهد للشحنات، وتأتي هذه الطاقة من التغير في طاقة المياه، ولا تتحول جميع الطاقة الحركية للمياه إلى طاقة كهربائية.

إذا وصل المولد المتصل بدولاب المياه بمحرك فستتدفق الشحنات الموجودة في السلك داخل المحرك، وسوف يستمر تدفق الشحنات خلال الدائرة لتعود إلى المولد، حيث يعمل المحرك على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية.



الشحنات لا تفنى ولا تستحدث ولكن يمكن فصلها لذا فإن الكمية الكلية للشحنة - عدد الإلكترونات السالبة والأيونات الموجبة في الدائرة لا تتغير. فإذا تدفق كولوم واحد خلال ثانية واحدة في المولد فسيتدفق عندئذ كولوم واحد أيضاً في المحرك خلال ثانية واحدة، لذا تكون الشحنة كمية محفوظة.

القدرة $P = IV$

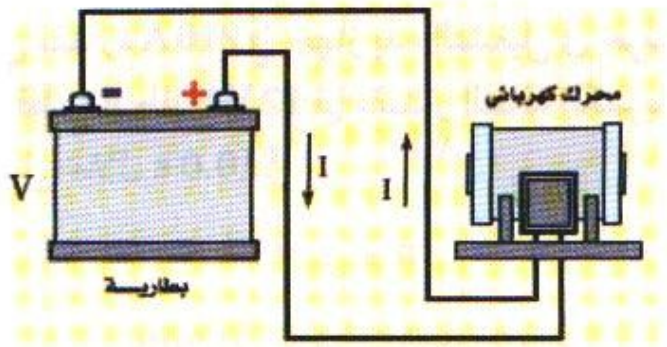
القدرة تساوي التيار مضروبًا في فرق الجهد.

مثال

القدرة الكهربائية والطاقة ولّدت بطارية جهدها 6.0 V تيارًا مقداره 0.50 A في محرك كهربائي عند وصله بطرفيها. احسب مقدار:

a. القدرة الواصلة إلى المحرك.

b. الطاقة الكهربائية الواصلة إلى المحرك، إذا تم تشغيله مدة 5.0 min



$$P = IV$$
$$= (0.50\,A)(6.0\,V) = 3.0\,W$$

$$E = Pt$$
$$= (3.0\,J/s)(5.0\,min)\left(\frac{60\,s}{1\,min}\right)$$
$$= 9.0\times10^{2}\,J$$

حلول مسائل تدريبية

1. إذا مرّ تيار كهربائي مقداره 0.50 A في مصباح كهربائي فرق الجهد بين طرفيه 125 V، فما المعدل الزمني لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية؟ افترض أن كفاءة المصباح 100%.

$$P = I\ V$$

$$= (0.50A)(125V) = 62.5\ w$$

2. تَوَلّد تيار مقداره 2.0 A في مصباح متصل ببطارية سيارة. ما مقدار القدرة المستهلكة في المصباح إذا كان فرق الجهد عليه 12 V؟

$$P = I\ V$$

$$= (2A)(12V) = 24\ W$$

3. ما مقدار التيار الكهربائي المار في مصباح قدرته 75 W متصل بمصدر جهد مقداره 125 V؟

$$P = I\ V$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{75W}{125V} = 0.6A$$

4. يمرّ تيار كهربائي مقداره 210 A في جهاز بدء التشغيل في محرك سيارة. فإذا كان فرق الجهد بين قطبي البطارية 12 V فما مقدار الطاقة الكهربائية التي تصل إلى جهاز بدء التشغيل خلال 10.0 s؟

$$P = I\ V$$

$$= (210A)(12) = 2520W$$

$$E = Pt = (2520w\ )(10s)$$

$$= 25200\ J$$

5. مصباح كهربائي كُتب عليه 0.90 W. إذا كان فرق الجهد بين طرفيه 3.0 V فما مقدار شدة التيار المار فيه؟

$$P = I\ V$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{0.90W}{3\ V} = 0.30\ A$$

المقاومة الكهربية وقانون أوم

توصل العالم جورج سيمون أوم (1787-1854) إلى صيغة تجاربية لتحديد مقاومة موصل وذلك بقياس فرق الجهد بين طرفي ذلك الموصل عندما يمر به تيار شدته I حيث وجد أن حاصل قسمة فرق الجهد بين طرفي الموصل على مقدار شدة التيار المار فيه تساوي كمية ثابتة أطلق عليها مقاومة الموصل، أي إن:

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

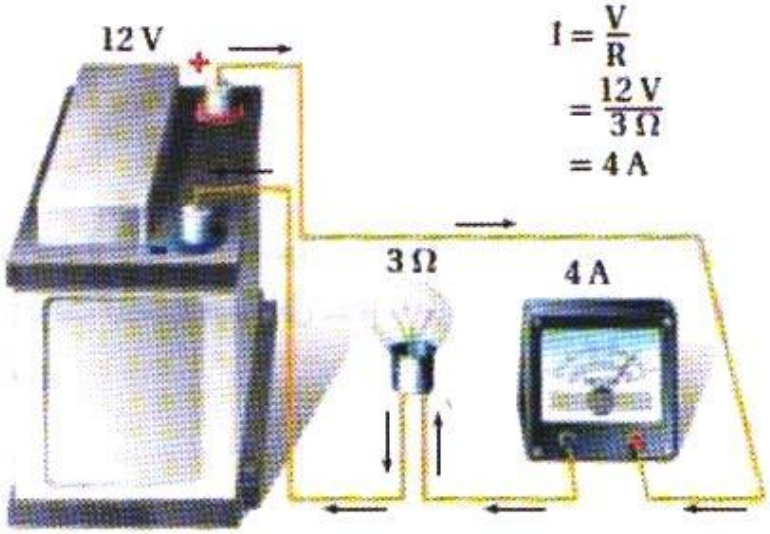
حيث R: المقاومة الكهربية بوحدة فولت/أمبير وتعادل أوم

V: فرق الجهد بوحدة الفولت

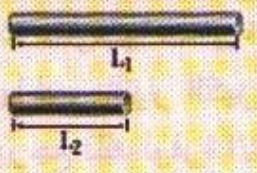
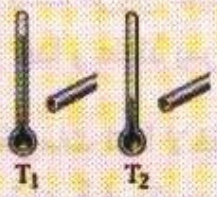
I: شدة التيار بوحدة الأمبير.

وتقاس المقاومة الكهربية لموصل ما R بوحدة الأوم، ويعرف الأوم الواحد 1Ω على أنه مقاومة موصل يمر فيه تيار شدته 1A عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1V ويوضح الشكل أدناه

دائرة كهربية بسيطة تربط بين المقاومة والتيار والجهد وفق قانون أوم وقد أكملت الدائرة الكهربية بتوصيل أميتر بها وهو جهاز يقيس شدة التيار الكهربي.



$$I = \frac{V}{R} = \frac{12\,V}{3\,\Omega} = 4\,A$$

تغير المقاومة		
العامل	كيفية تغير المقاومة	مثال
الطول	تزداد المقاومة الكهربائية بزيادة الطول.	$R_{l1} > R_{l2}$ 
مساحة المقطع العرضي	تزداد المقاومة الكهربائية بنقصان مساحة المقطع العرضي.	$R_{A1} > R_{A2}$
درجة الحرارة	تزداد المقاومة بزيادة درجة الحرارة.	$R_{T1} > R_{T2}$ 
نوع المادة	عند تثبيت كلٍّ من الطول ومساحة المقطع العرضي ودرجة الحرارة، تتغير المقاومة الكهربائية وفق نوع المادة المستخدمة.	البلاتين الحديد الألومنيوم الذهب النحاس الفضة تزداد R

س. مدفأة كهربية تعمل على فرق جهد قدره 220V ، فإذا كان شدة التيار المار فيها 5.5A أوجد مقاومة سلك المدفأة؟

الحل : $R = \frac{V}{I} = \frac{220V}{5.5A} = 40\ \Omega$

س. ما معنى أن المقاومة الكهربية لموصل = 10 أوم؟

الحل:

معنى ذلك أن النسبة بين فرق الجهد بين طرفي الموصل وشدة التيار المار به = 10 فولت/أمبير . أي أن هذا الموصل يسمح بمرور تيار شدته 1 أمبير عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه = 10 فولت.

س. منصهر يتحمل تيارا شدته 1.5 أمبير. وضع في دائرة كهربية تحتوي على بطارية قوتها الدافعة الكهربية 9 فولت احسب قيمة أقل مقاومة توصل مع المنصهر على التوالي في هذه الدائرة دون أن ينصهر.

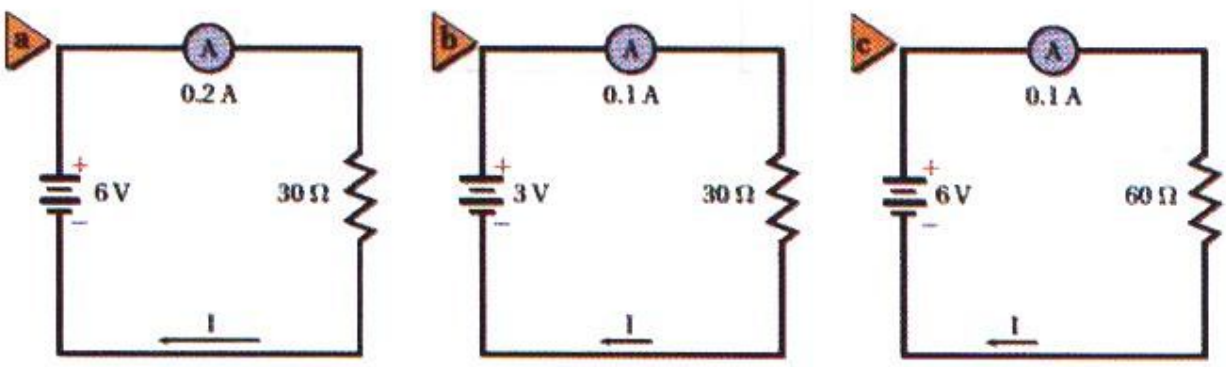
الحل:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{9}{1.5} = 6\ \Omega$$

- **اختلاف المقاومة من مادة إلى أخرى:**

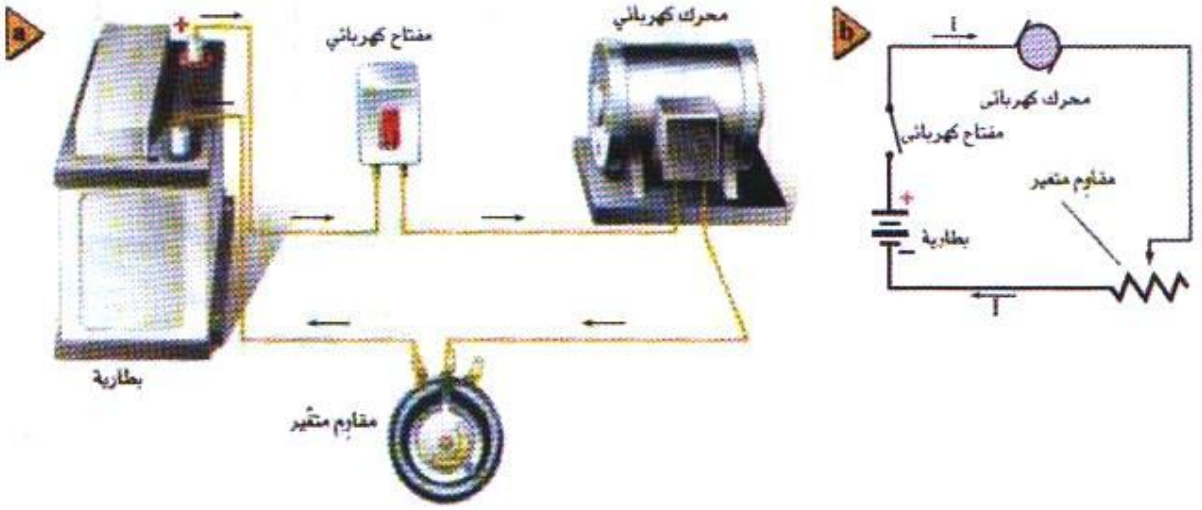
١. الفلزات عادة مقاومتها صغيرة لمرور التيار الكهربي خلالها، فيستطيع فرق الجهد التغلب عليها فيمر التيار الكهربي في أسلاكها لذا تعتبر الفلزات موصلات جيدة للكهرباء ويرجع ذلك لوفرة الالكترونات الحرة بها.
٢. بعض المواد كالزجاج والمطاط مقاومتها الكهربية كبيرة جدا، وللتغلب على مقاومتها نحتاج إلى فرق جهد كبير جداً لذا تعتبر هذه المواد عوازل جيدة للكهرباء ويرجع ذلك إلى ندرة وجود الالكترونات الحرة بها.
٣. الهواء يقاوم بشدة مرور التيار الكهربي وللتغلب على مقاومته نحتاج إلى فرق جهد كهربي كبير جداً وعندئذ يمر التيار الكهربي في الهواء على شكل شرر كهربي.

ويختلف استخدام المقاومات تبعاً لاختلاف الغرض الذي تستخدم لأجله فعلى سبيل الإيضاح، إن مقاومة الأسلاك المستخدمة في توصيل الأجهزة الكهربية قليلة فمقاومة سلك مثالي طوله 1m من النوع المستخدم في مختبرات الفيزياء تساوي 0.03Ω أما الأسلاك المستخدمة في التمديدات المنزلية فتكون مقاومتها صغيرة جدا وتساوي 0.004Ω تقريباً لكل متر من طولها وهناك طريقتان للتحكم في شدة التيار المار في دارة كهربية حيث يمكن عن طريق تغيير قيمة V أو R أو كليهما وذلك لأن I = V/R (من قانون أوم)



فبالرجوع إلى قانون أوم نلاحظ أنه كلما زاد فرق الجهد المطبق على مقاوم زادت شدة التيار الكهربي المار فيه وأما إذا قل فرق الجهد المقاوم فستقل شدة التيار المار فيه.

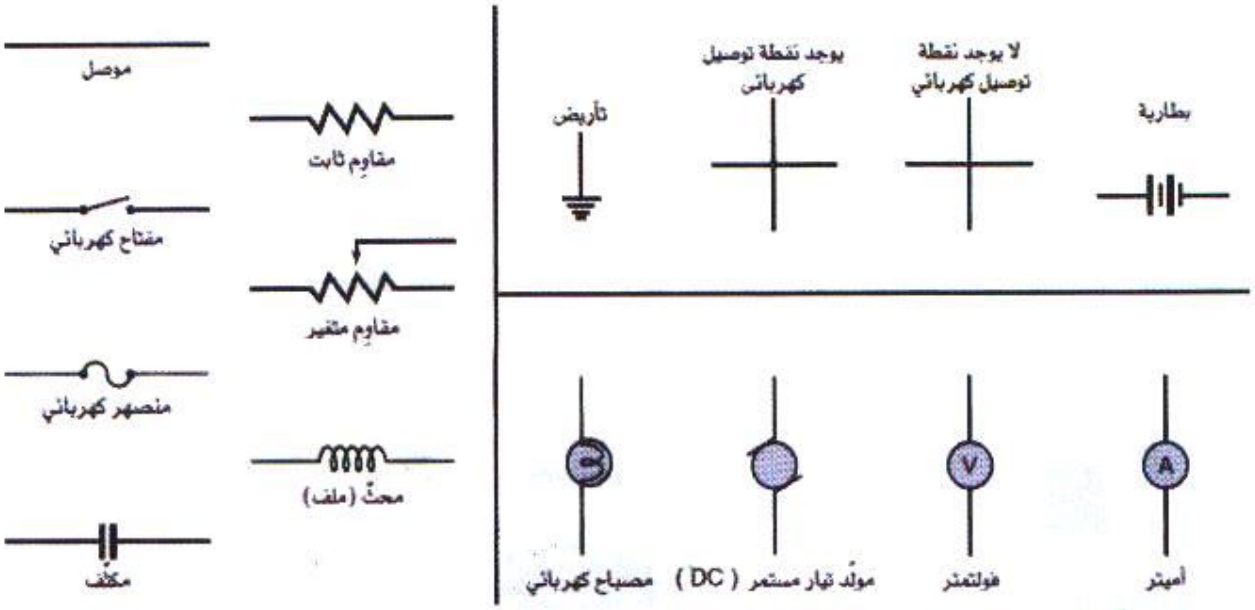
وتستخدم المقاومات عادة للتحكم في التيار المار في الدائرة الكهربية أو في أجزاء منها وتعرف هذه المقاومات باسم المقاومات المتغيرة (الريوستات) وهي مقاومات يمكن تغيير قيمة مقاومتها وذلك بتحريك زالق على سلك مقاومة لتغيير طول السلك الذي يمر به التيار وبذلك يمكن التحكم في شدة التيار المار في الدائرة.



ويؤثر جسم الإنسان بوصفه مقاوماً متغيراً، حيث تكون مقاومة الجلد الجاف كبيرة بقدر يكفي لجعل التيارات الناتجة عن الجهود المعتدلة والصغيرة قليلة. أما إذا أصبح الجلد رطباً فستكون مقاومته أقل. وقد يرتفع التيار الكهربي الناتج عن هذه الجهود إلى مستويات خطرة. ويمكن الشعور بتيار كهربي صغير يصل مقداره إلى قيمة قريبة من الواحد ملي أمبير في هيئة صدمة كهربية خفيفة. أما التيارات التي مقاديرها قريبة من 15 ملي أمبير فقد يؤدي إلى فقدان السيطرة على العضلات في حين أن التيارات التي مقاديرها قريبة من 100 ملي أمبير قد تؤدي إلى الموت.

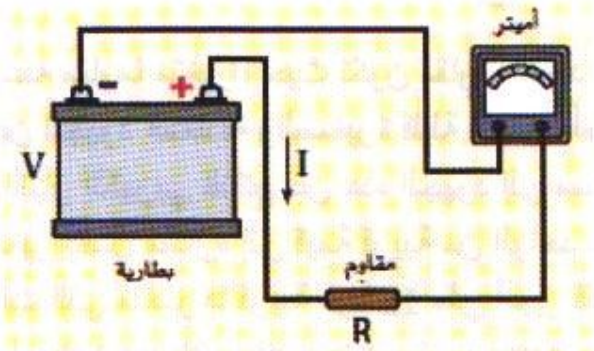
• تمثيل الدوائر الكهربية:

يمكن وصف دائرة كهربائية بسيطة بالكلمات، كما يمكن أيضاً تصويرها فوتوجرافياً أو بالرسم الفني لأجزائها. وترسم الدوائر الكهربائية غالباً باستخدام رموز معينة لأجزاء الدائرة، ومثل هذا الرسم يسمى الرسم التخطيطي للدائرة. ويوضح الشكل أدناه بعض الرموز المستخدمة في الرسوم التخطيطية للدوائر الكهربائية.



مثال

التيار المار في مقاوم وصلت بطارية فرق الجهد بين قطبيها 30.0 V بمقاوِم مقداره 10.0 Ω. ما مقدار التيار المار في الدائرة؟



$$I = \frac{V}{R}$$
$$= \frac{30.0\ V}{10.0\ \Omega} = 3.00\ A$$

مسائل تدريبية

افترض في هذه المسائل جميعها أن جهد البطارية ومقاومات المصابيح ثابتة، بغض النظر عن مقدار التيار.

6. إذا وُصل محرك بمصدر جهد، وكانت مقاومة المحرك في أثناء تشغيله 33 Ω، ومقدار التيار المار في تلك الدائرة 3.8 A، فما مقدار جهد المصدر؟

من قانون أوم:

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

$$V = R\,I = (33\Omega)(3.8A)$$

$$125.4\ V$$

7. يمر تيار مقداره 2.0×10^{-4} A في مجسّ عند تشغيله ببطارية جهدها 3.0 V. ما مقدار مقاومة دائرة جهاز المجسّ؟

$$R = \frac{V}{I} = \frac{3V}{2\times10^{-4}\,A}$$

$$= 1.5\times10^{-4}\ \ \Omega$$

8. يسحب مصباح تيارًا مقداره 0.5 A عند توصيله بمصدر جهد مقداره 120 V. احسب مقدار:

a. مقاومة المصباح.

b. القدرة الكهربائية المستهلكة في المصباح.

a. $R = \frac{V}{I} = \frac{120V}{0.5A} = 240\ V$

b. $P = I\,V = (0.5\,A)(120V) = 60\ w$

9. وصِل مصباح كُتب عليه 75 W بمصدر جهد 125 V، احسب مقدار:

a. التيار المار في المصباح. **b.** مقاومة المصباح.

a. $P = I\,V$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{75W}{125V} = 0.6\,A$$

b. $R = \frac{V}{I} = \frac{125V}{0.6A} = 208.3\ \Omega$

10. في المسألة السابقة، إذا أضيف مقاوِم للمصباح لتقليل التيار المار فيه إلى نصف قيمته الأصلية، فما مقدار:

a. فرق الجهد بين طرفي المصباح؟

b. المقاومة التي أُضيفت إلى الدائرة؟

c. القدرة الكهربائية التي يستهلكها المصباح الآن؟

لكي يتم تقليل التيار إلى نصف قيمته الأصلية، فإن ذلك يتطلب مضاعفة قيمة المقاومة إلى الضعف حيث العلاقة العكسية بين التيار والمقاومة وفق نص قانون أوم:

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

$$V = R\,I$$

$$V = (2R)\left(\frac{1}{2}I\right) = \ R\,I$$

$$= (208\,\Omega)(0.5A) = 125V$$

المقاومة التي أضيفت إلى الدارة تساوي 2R

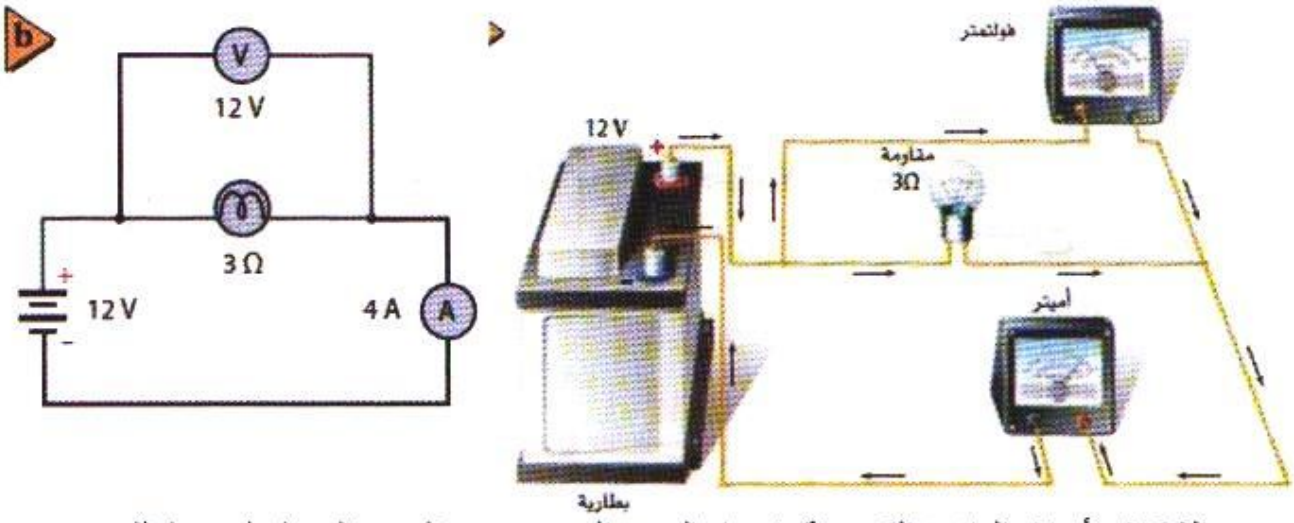
b. $= 2 \times 208.3\,\Omega = 416.6\,\Omega$

c. $P = I\,V$

$$= \left(\frac{1}{2} \times 0.6A\right)(125V)$$

$$= 37.5\ w$$

وتساوي نصف القدرة الكهربية للمصباح في المسألة السابقة.



يوضح الشكلان أعلاه الدائرة الكهربية نفسها بالرسم التصويري والرسم التخطيطي. ولعلك تلاحظ أن الشحنة الكهربية في كلا الشكلين تتدفق إلى الخارج من القطب الموجب للبطارية. ولإنشاء الرسوم التخطيطية للدوائر الكهربية استخدم إستراتيجية حل المسألة أدناه وحدد دائماً اتجاه التيار الاصطلاحي.

استراتيجيات حل المسألة:

إنشاء الرسوم التخطيطية:

اتبع هذه الخطوات عند إعداد الرسوم التخطيطية:

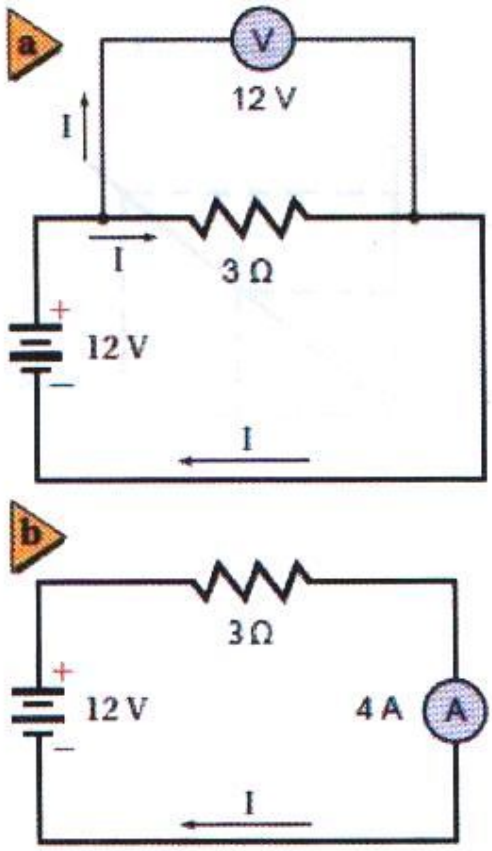
١. ارسم رمز البطارية أو رمز أي مصدر آخر للطاقة الكهربائية، مثل البطارية الموضحة بالشكل أعلاه، واجعل الطرف الموجب، وهو الخط الأكبر في الأعلى.
٢. ارسم سلكاً خارجاً من الطرف الموجب للبطارية، وعند الوصول إلى مقاوم أو أي مكون (عنصر) آخر ارسم الرمز الخاص به.

٣. عند الوصول إلى نقطة يكون عندها مساران للتيار الكهربائي، كتلك النقطة الموصول عندها الفولتميتر، نرسم الرمز ⊥ في الرسم التخطيطي، اتبع أحد المسارين إلى أن يتجمع مسارا التيار مرة أخرى، ثم ارسم بعد ذلك المسار الثاني.
٤. تبع مسار التيار حتى تصل إلى الطرف السالب للبطارية، والذي يرسم على شكل خط مواز للطرف الموجب، ولكن بطول أقصر.
٥. تحقق من صحة عملك، وأنه يتضمن كل الأجزاء وأن المسارات مكتملة لكي يمر التيار.

درسنا في السابق أن جهاز الأميتر يستخدم لقياس (قراءة) شدة التيار المار في الدائرة الكهربية وهو جهاز قياس وتوصيل معاً، إذ يوصل في الدارة الكهربية على التوالي وبالتالي فإن الأميتر يقيس التيار المار في عنصر في الدارة ونفس التيار المار في العنصر يجب أن يمر في الأميتر، لذا يكون هناك مسار واحد فقط للتيار ، حيث يعني أن توصيل الأميتر على التوالي في الدارة مع بقية العناصر والتي يرافقها عبارة عدم انقسام التيار بين عناصر الدارة بمعنى أن التيار متساو.

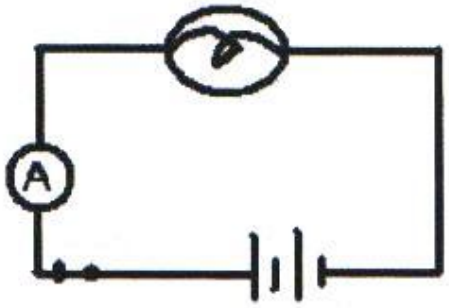
وأما عن جهاز الفولتميتر فيقيس فرق الجهد في الدارة وهو جهاز قياس فقط لذا يوصل بين طرفي العنصر في الدارة الكهربية على التوازي (انقسام التيار) وعدم انقسام الجهد أي أن الجهد متساو.

ولكلا جهازي الأميتر والفولتميتر طرفان يحددان عادة ب + و – لأجهزة قياس التيار المستمر.



حلول 3-1 مراجعة:

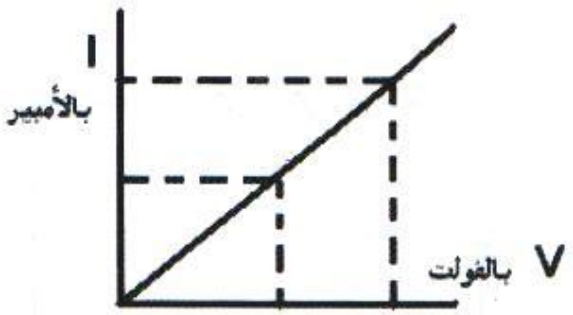
14. **رسم تخطيطي** ارسم رسمًا تخطيطيًّا لدائرة كهربائية تحتوي على بطارية ومصباح كهربائي، وتأكد من أن المصباح الكهربائي سيضيء في هذه الدائرة .



15. **المقاومة الكهربائية** يدعي طارق أن المقاومة ستزداد بزيادة فرق الجهد؛ وذلك لأن $R = V / I$. فهل ما يدعيه طارق صحيح؟ فسر ذلك.

إدعاء طارق غير صحيح، وذلك لأن هناك علاقة خطية (طردية) بين التيار وفرق الجهد، حيث تمثل العلاقة بينهما بيانايً بخط مستقيم، وميل الخط المستقيم يمثل المقاومة الخطية.

16. **المقاومة الكهربائية** إذا أردت قياس مقاومة سلك طويل فبيّن كيف تركّب دائرة كهربائية باستخدام بطارية وفولتمتر وأميتر والسلك الذي تريد قياس مقاومته. حدّد ما الذي ستقيسه؟ وبيّن كيف ستحسب المقاومة؟



وبالتالي كلما زادت قيمة المقاومة الكهربية الموضوعة في الدارة، كلما قلت شدة التيار المار في الدارة عبر هذه المقاومة، وبالتالي يصحبه قلة في فرق الجهد.

نقوم بتوصيل البطارية والسلك الطويل والأميتر معاً على التوالي ونقوم بتوصيل الفولتميتر بين طرفي البطارية على التوازي، فيعطي الأميتر قراءة لشدة التيار المار في الدارة، والفولتميتر قراءة لفرق الجهد بين طرفي السلك والذي يساوي تقريباً فرق جهد البطارية، فنحصل على قيمة المقاومة للسلك الطويل من قانون أوم $R = \frac{V}{I}$

17. القدرة تتصل دائرة كهربائية مقاومتها $12\ \Omega$ ببطارية جهدها $12\ V$. حدّد التغير في القدرة إذا قلّت المقاومة إلى $9.0\ \Omega$؟

$$P = I V$$

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

$$P = I V = \frac{V}{R} \qquad V = \frac{v^2}{R}$$

$$\Delta P = \frac{V^2}{R}$$

$$= \frac{12^2}{(9 - 12)}$$

$$= \frac{144}{-3} = -48\ W$$

نقصان المقاومة أدى إلى تغير القدرة.

18. الطاقة تحوّل دائرة كهربائية طاقة مقدارها $2.2\times10^3\ J$ عندما تُشغّل ثلاث دقائق. حدّد مقدار الطاقة التي ستتحول عندما تشغل مدة ساعة واحدة.

بما أن الساعة الواحدة عبارة عن 60 دقيقة فإذا كان مقدار الطاقة المتحول بواسطة الدارة الكهربية هو $2.2 \times 10^3\ J$ 3 دقائق فإن مقدار الطاقة التي ستتحول خلال 60 دقيقة (3 دقائق x 20) هو ($2.2 \times 10^3\ J$ 3 x دقائق x 20)

$44 \times\times 10^3\ J$ = في الساعة الواحدة.

19. **التفكير الناقد** نقول إن القدرة تستهلك وتُستنفد في مقاوِم. والاستنفاد يعني الاستخدام، أو الضياع. فما (الاستخدام) عند مرور شحنات في مقاوِم كهربائي؟

بما أن الإلكترونات تفقد طاقتها بفعل تصادماتها مع ذرات الموصل، أثناء سريان التيار الكهربي في موصل، لتكتسب المادة هذه الطاقة على شكل طاقة حرارية تساوي الشغل المبذول في نقل الإلكترونات (الاستخدام) والذي يساوي حاصل ضرب الشحنة المنقولة في فرق الجهد بين طرفي الانتقال، وهذا ما يفسر سبب سخونة البطارية بعد فترة من الاستعمال.

استخدام الطاقة الكهربائية

تعمل العديد من الأجهزة الكهربائية المنزلية المألوفة على تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى للطاقة، كالضوء أو الطاقة الحركية أو الصوت أو الطاقة الحرارية. فعند تشغيل أحد هذه الأجهزة فأنت تغلق الدائرة الكهربائية ويبدأ تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى.

تحولات الطاقة في الدوائر الكهربائية

القدرة $P = I^2R$

القدرة تساوي مربع التيار مضروبًا في المقاومة.

القدرة $P = \frac{V^2}{R}$

القدرة تساوي مربع الجهد مقسومًا على المقاومة.

$E = Pt$

الطاقة الحرارية $E = I^2Rt$

$E = (\frac{V^2}{R})t$

الطاقة الحرارية تساوي القدرة المستنفدة مضروبة في الزمن، كما أنها تساوي مربع التيار مضروبًا في المقاومة والزمن، وتساوي مربع الجهد مقسومًا على المقاومة، ومضروبًا في الزمن.

20. يعمل سخّان كهربائي مقاومته $15\ \Omega$ على فرق جهد مقداره $120\ V$. احسب مقدار:

a. التيار المار في مقاومة السخان.

b. الطاقة المستهلكة في مقاومة السخان خلال $30.0\ s$.

c. الطاقة الحرارية الناتجة في هذه المدة.

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

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

$$P = I\,V$$

$$= (8A)(120V) = 960\ w$$

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

$$E = Pt = (960\ w)(30s)$$

$$= 28800\ J$$

(c).....E = 28800 J الطاقة المستهلكة في المقاومة = الطاقة الحرارية الناتجة وبالتالي

21. وُصِل مقاوِم مقداره $39\ \Omega$ ببطارية جهدها $45\ V$. فاحسب مقدار:

a. التيار المار في الدائرة.

b. الطاقة المستهلكة في المقاوِم خلال $5.0\ min$.

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

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

$$= \frac{45V}{39\ \Omega} = 1.15\ A$$

b. $P = I\ V$

$$= (1.15\ A)(45V) = 51.9\ w$$

$$P = E\,t$$

$$E = \frac{P}{t} = \frac{51.9w}{(5 \times 60\ s)} = 0.17\ J$$

22. مصباح كهربائي قدرته 100.0 W، وكفاءته 22%؛ أي أن 22% فقط من الطاقة الكهربائية تتحول إلى طاقة ضوئية.

a. ما مقدار الطاقة الحرارية التي ينتجها المصباح الكهربائي كل دقيقة؟

b. ما مقدار الطاقة التي يحوّلها المصباح إلى ضوء كل دقيقة في أثناء إضاءته؟

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

$$E = Pt = (100\ w)(60\ s)$$

$$= 6000\ J$$

بما أن الطاقة الكهربية المستنفذة تساوي الطاقة الحرارية، فإن الطاقة التي يحولها المصباح إلى ضوء كل دقيقة من الإضاءة تساوي 22% x E

(b) ..... = 22% x 6000 J = 1320 J

23. تبلغ مقاومة عنصر التسخين في طبّاخ كهربائي عند درجة حرارة تشغيله 11 Ω .

a. إذا تم توصيل الطبّاخ بمصدر جهد مقداره 220 V فما مقدار التيار الكهربائي المار في عنصر التسخين؟

b. ما مقدار الطاقة التي يحوّلها هذا العنصر إلى طاقة حرارية خلال 30.0 s؟

c. استخدم العنصر في تسخين غلاية تحتوي على 1.20 kg من الماء. افترض أن الماء امتص 65% من الحرارة الناتجة، فما مقدار الارتفاع في درجة حرارته خلال 30.0 s؟

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

$$I = \frac{V}{R} = \frac{220V}{11\ \Omega} = 20A$$

b. $P = I\,V$

$$= (20A)(220V) = 4400\ w$$

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

$$E = Pt = (4400\ w)(30s)$$

$$= 132000\ J$$

c. Q = C m Δt ..... $\Delta t = \frac{Q}{c\ m}$

$$= \frac{\frac{65}{100} \times 13200}{(4200)(1.2)} = 17°C$$

علما بأن الحرارة النوعية C للماء = $4200\ \frac{J}{kg.C°}$

24. استغرق سخان ماء كهربائي جهده 120 V زمنًا مقداره 2.2 h لتسخين حجم معيّن من الماء إلى درجة الحرارة المطلوبة. احسب المدة اللازمة لإنجاز المهمة نفسها، وذلك باستخدام سخّان آخر جهده 240 V مع بقاء التيار نفسه.

$$P = I\ V$$

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

$$\frac{E}{t} = I\ V$$

$$\frac{E}{t1} = I\ V1 \quad , \quad \frac{E}{t2} = I\ V2$$

$$\frac{E}{I} = V1\ t1 \quad , \frac{E}{I} = V2\ t2$$

$$\frac{E}{I} = \frac{E}{I}$$

$$V1\ t1 = V2\ t2$$

$$(120\ V)(2.2\ L) = (240\ V)t2$$

$$t2 = \frac{(120V)(2.2L)}{(240V)} = 1.1\ L$$

- **الموصلات فائقة التوصيل:**

إن انخفاض درجات الحرارة إلى قيم محددة متدنية (إلى أقل من 100k) في بعض الموصلات يؤدي إلى انعدام مقاومية المادة تقريباً، وعندئذ تعد مقاومة هذا الموصل عملياً معدومة، وسوف يسري التيار في الموصل دون أية إعاقة ، ويعرف الموصل بفائق التوصيل. إن التيار الكهربي في دارة تتمتع بحالة موصلية فائقة يمكن أن يسري لعدة أسابيع دون أن يتناقص من دون استمرارية التأثير عليه بمصدر فرق جهد. ومن الاستخدامات العملية للموصلات الفائقة التوصيل صناعة المغانط المستخدمة في أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي، وفي السيكلترون (مسارع الجسيمات النووية)، حيث تستخدم تيار كهربية ضخمة، كما يمكن المحافظة عليها عند درجات حرارة قريبة من 0 K

- **نقل الطاقة الكهربية:**

إن المنشآت الكهرمائية، السد العالي في مصر الموضح بالشكل أدناه ومحطات التوليد الكهربائية في كافة الدول قادرة على إنتاج كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية حيث تنقل هذه الطاقة غالبا

إلى مسافات كبيرة حتى تصل إلى المنازل والمصانع، فكيف يمكن أن تحدث عملية النقل هذه بأقل خسارة ممكنة للطاقة على شكل طاقة حرارية؟

تعلم أن الطاقة الحرارية تنتج في الأسلاك بمعدل يمكن تمثيله بالمعادلة $P = I^2R$. ويسمّي المهندسون الكهربائيون هذه الطاقة الحرارية المتولّدة غير المرغوب فيها القدرة الضائعة "I^2R". ولتقليل مقدار هذه القدرة الضائعة يتم تقليل التيار I أو المقاومة R.

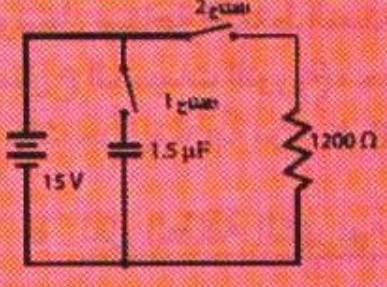
لجميع أسلاك التوصيل مقاومة، إلا أن مقاومتها صغيرة؛ فمقاومة السلك المستعمل لنقل التيار الكهربائي إلى بيت تساوي $0.20\ \Omega$ لكل $1\ km$ من طوله. افترض أنه تم ربط بيت ريفي مباشرة بمحطة كهرباء تبعد عنه مسافة $3.5\ km$. إن مقاومة الأسلاك المستخدمة لنقل التيار في دائرة كهربائية إلى البيت ثم عودته إلى المحطة تُمثَل بالمعادلة التالية:

$$R = 2(3.5\ km)(0.20\ \Omega/km) = 1.4\ \Omega$$

وإذا استعملت هذه الأسلاك في طبّاخ كهربائي فإنه سيمر فيه تيار مقداره $41\ A$، ويُعبَّر عن القدرة الضائعة في الأسلاك بالعلاقة التالية: $P = I^2R = (41\ A)^2\ (1.4\ \Omega) = 2400\ W$.

حلول مسألة تحفيز:

استخدم الشكل المجاور للإجابة عن الأسئلة التالية:



1. في البداية، المكثف غير مشحون، والمفتاح 1 مغلق، والمفتاح 2 يبقى مفتوحًا. احسب فرق الجهد بين طرفي المكثف.
2. إذا فُتح المفتاح 1 الآن، ويبقى المفتاح 2 مفتوحًا فما فرق الجهد بين طرفي المكثف؟ لماذا؟
3. بعد ذلك، أُغلق المفتاح 2، ويبقى المفتاح 1 مفتوحًا. ما فرق الجهد بين طرفي المكثف؟ وما مقدار التيار المار في المقاوم بعد إغلاق المفتاح 2 مباشرة؟
4. مع مرور الوقت، ماذا يحدث لجهد المكثف والتيار المار في المقاوم؟

١. من قانون كيرشوف الثاني، الذي ينص على أن مجموع فروق (تغيرات) الجهد عبر دارة مغلقة تساوي صفراً فإن فرق جهد البطارية + (- فرق جهد المكثف) = صفر.
فرق جهد المكثف = فرق جهد البطارية = 15 V

٢. فرق الجهد بين طرفي المكثف يساوي سفر، وذلك لأن الدارة مفتوحة، فلا يسري أي تيار كهربي، ومن قانون أوم:

٣. a. فرق الجهد بين طرفي المكثف لازال يساوي صفر لما هو مذكور في فرع 2
b. بتطبيق قانون كيرشوف الثاني على الدارة المغلقة ، نجد أن:

فرق الجهد بين طرفي البطارية + (- فرق الجهد بين طرفي المقاوم) =ص فر

فرق الجهد بين طرفي البطارية = فرق الجهد بين طرفي المقاوم

$$I\,R = 15\,V$$

$$I\ (1200\ \Omega) = 15\,V$$

$$I = \frac{15V}{1200\ \Omega} = 0.0125\,A$$

٤. a. مع مرور الوقت يبقى جهد المكثف مساويا صفر، لأن المفتاح 1 لا يزال مفتوحا.
b. مع مرور الوقت يتناقص التيار تدريجيا إلى أن يصل إلى الصفر، وذلك لأن:

$$P = \frac{E}{t} = I^2\,R$$

فهناك علاقة عكسية بين مربع شدة التيار المار في المقاوم وبين الزمن.

مسائل تدريبية

25. يمر تيار كهربائي مقداره 15.0 A في مدفأة كهربائية عند وصلها بمصدر فرق جهد 120 V. فإذا تم تشغيل المدفأة بمتوسّط 5.0 h يوميًّا فاحسب:
a. مقدار القدرة التي تستهلكها المدفأة.
b. مقدار الطاقة المستهلكة في 30 يومًا بوحدة kWh.
c. تكلفة استخدام المدفأة عند تشغيلها مدة 30 يومًا، إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.12 ريال.

a. $P = I\ V$

$$= (15A)(120V) = 1800\ w$$

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

$$E = P\,t$$

$$= (1800\,w)(30 \times 24L)$$

$$= 1296 \times 10^3$$

$$= 1296\ kWh$$

تكلفة استخدام المدفأة= (مقدار الطاقة المستهلكة خلال 30يوماx ثمن الساعة)/ مقدار الطاقة المستهلكة خلال ساعة.

c. $\frac{0.12 \times 1296\ kwh}{1\ kwh} = 155.52$ ريال

26. تبلغ مقاومة ساعة رقمية 12,000 Ω، وهي موصولة بمصدر فرق جهد مقداره 115 V، فاحسب:

a. مقدار التيار الذي يمر فيها.

b. مقدار القدرة الكهربائية التي تستهلكها الساعة.

c. تكلفة تشغيل الساعة 30 يومًا، إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.12 ريال.

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

$$I = \frac{V}{R} = \frac{115V}{12000\Omega} = 9.58 \times 10^{-3}\ A$$

b. $P = I\,V$

$$= (9.58 \times 10^{-3}\ A)(115V)$$

$$= 1.102\ \frac{J}{s}$$

عدد ثواني الساعة الواحدة x P ثانية = P ساعة

P = P x (60 x 60)

= 1.102 J/S x 3600

$= 3.9 \times 10^6\ \frac{J}{S}$

تكلفة تشغيل الساعة = (مقدار الطاقة المستهلكة خلال 30يوماx ثمن الساعة)/ مقدار الطاقة المستهلكة خلال ساعة.

وبما أن عدد ساعات الـ 30 يوم هو 30 x 24 = 720 ساعة.

فإن مقدار الطاقة المستهلكة خلال 30 يوم هو مقدار الطاقة المستهلكة في ساعة x 720

$= 720 \times 3.9 \times 10^6 \ W$

$= 2808 \times 10^6 \ w$

وبالتالي تكلفة تشغيل الساعة =

$$\frac{0.12 \times 2808 \times 10^6 \ w}{3.9 \times 10\text{^}6}$$

86.4 ريال

27. تنتج بطارية سيارة تيارًا مقداره 55 A لمدة 1.0 h، وذلك عندما يكون فرق جهدها 12 V. ويتطلب إعادة شحنها طاقة أكبر 1.3 مرّة ضعف الطاقة التي تزوّدنا بها؛ لأن كفاءتها أقل من الكفاءة المثالية. ما الزمن اللازم لشحن البطارية باستخدام تيار مقداره 7.5 A؟ افترض أن فرق جهد الشحن هو نفسه فرق جهد التفريغ.

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

$$E = I\,V\,t = (55A)(12V)(1 \times 60\ s)$$

$$= 39600\ J$$

طاقة إعادة الشحن = E x 2 x 1.3

$$= 1.3 \times 2 \times 39600\ J = 102960\ J$$

$$\frac{E}{t} = I\,V \ \ldots\ldots t = \frac{E}{I\,V} = \frac{102960\,J}{(7.5A)(12V)} = 1144\ S$$

حلول 2-3 مراجعة

28. طاقة حركة (ميكانيكية) ..... طاقة كهربية ..... طاقة كيميائية .... طاقة ضوئية

وذلك وفق تتبع الخطوات:

محرك السيارة .... توليد كهرباء ..... تخزين الكهرباء في البطارية .... إضاءة مصابيح السيارة

29. تكون المقاومة أصغر في الخيار الدافئ، لأنه كلما قلت درجة الحرارة كلما قلت المقاومة والعكس صحيح، حيث شدة التيار المار في هذا الخيار أكبر حيث تسري الشحنات دون مقاومة

كبيرة بسبب قلة التصادمات بين ذرات السلك (لأنها ليست في تلك الحالة من الهيجان) وبين الشحنات الكهربية العابرة في السلك.

30. $P1 = I\,V$

$$P2 = I\,\frac{V}{2} = \frac{1}{2}\,I\,V$$

$$= \frac{1}{2}\,P1$$

التغير في القدرة = $P2 - P1 = \frac{1}{2}P1 - P1$

$$= -\frac{1}{2}\,P1$$

إشارة السالب تعني أن القدرة الجديدة P2 تقل إلى نصف القدرة الأصلية P1 .

32. يتم توصيل الطباخ الكهربائي وسخان الماء الكهربي بدائرة جهدها 240V بدلاً من دائرة جهدها 120V وذلك لضمان عدم حدوث فتح للدارة الكهربية في حال تشغيل الطباخ والسخان في آن واحد ففي حال كان جهد الدائرة 120V وقم بتشغيل الطباخ والسخان في نفس الوقت فإن ذلك يؤدي إلى زيادة في الحمل الكهربي وزيادة شدة التيار المار في الدائرة عن الحد المسموح به مما يؤدي إلى قطع الدارة الكهربية، علماً بأن الطباخ والسخان يوصلان على التوازي.

33. حسب العلاقة P = I V

فلتقليل الطلب على القدرة P نقلل فرق الجهد V بحيث يبقى التيار الكهربي I ثابت.

دليل الدراسة:

١. التيار الكهربي والدوائر الكهربية

- يعرّف التيار الاصطلاحي على أنه التيار الذي يكون في اتجاه حركة الشحنات الموجبة.
- تحوّل المولدات الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.
- تحوّل الدائرة الكهربائية الطاقة الكهربائية إلى حرارة أو ضوء أو إلى أشكال أخرى مفيدة للطاقة.
- عندما تتحرك شحنة في دائرة كهربائية، تُسبّب المقاوِمات نقصًا في طاقتها الكهربائية.
- الأمبير يساوي واحد كولوم لكل ثانية 1 C/s.
- يمكن حساب القدرة بضرب الجهد في التيار. $P = IV$
- تُعطى مقاومة جهاز ما من خلال النسبة بين جهد الجهاز والتيار المار فيه. $R = \frac{V}{I}$
- ينص قانون أوم على أن النسبة بين فرق الجهد بين طرفي موصل وشدة التيار المار فيه ثابتة لهذا الموصل. وأيّ مقاومة لا تتغير بتغيّر درجة حرارتها أو الجهد المُطبّق عليها أو اتجاه حركة الشحنة فيها- تحقّق قانون أوم.
- يمكن التحكم في تيار دائرة كهربائية بتغيير الجهد أو المقاومة أو كليهما.

٢. استخدام الطاقة الكهربائية:

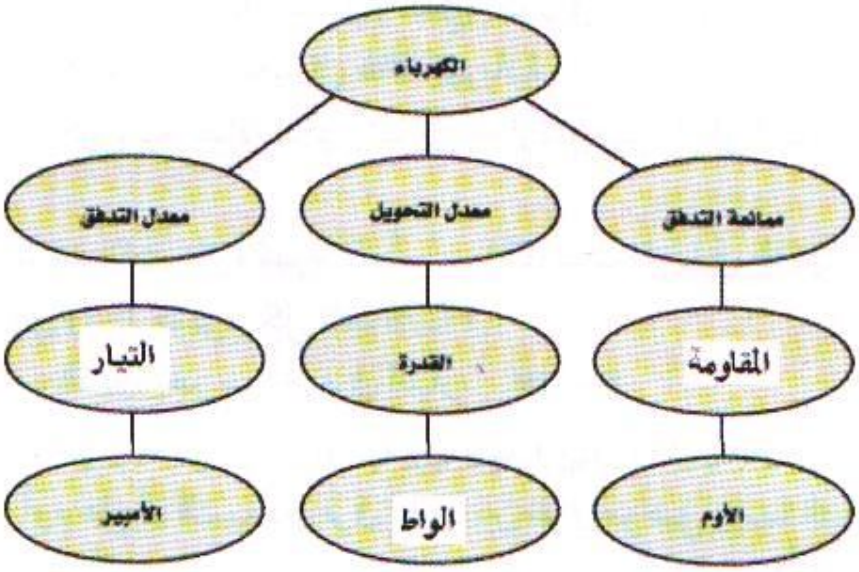
- القدرة في دائرة كهربائية تساوي مربع التيار مضروبًا في المقاومة، أو تساوي مربع الجهد مقسومًا على المقاومة. $P = I^2R$ أو $P = \frac{V^2}{R}$
- إذا استُنفِدت القدرة بمعدل منتظم فإن الطاقة الحرارية الناتجة تساوي القدرة مضروبة في الزمن، كما يمكن أيضًا التعبير عن القدرة بـ I^2R و V^2/R للحصول على المعادلتين الأخيرتين:

$$E = Pt$$
$$= I^2Rt$$
$$= \frac{V^2}{R}t$$

- الموصلات فائقة التوصيل مواد مقاومتها صفر، ولا زالت استخداماتها العملية حتى وقتنا الحاضر محدودة.
- الطاقة الحرارية غير المرغوب فيها الناتجة عن نقل الطاقة الكهربائية تسمّى القدرة الضائعة I^2R. وأفضل طريقة لتقليل ضياع أو فقد I^2R إلى أقل حدّ هي تقليل قيمة التيار المار في أسلاك التوصيل. ويمكن تقليل قيمة التيار المار في أسلاك التوصيل دون تقليل القدرة من خلال نقل الكهرباء عند جهود عالية.
- الكيلوواط.ساعة (kWh) وحدة طاقة تساوي 3.6×10^6 J.

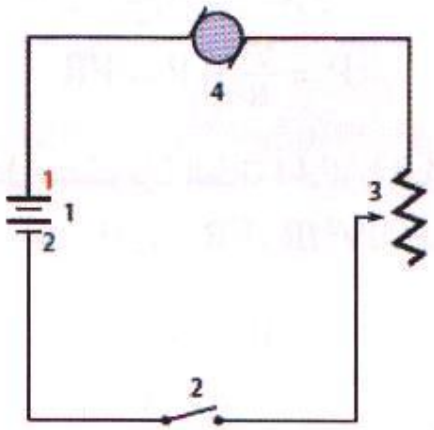
حلول التقويم:

.34



35. عرّف وحدة قياس التيار الكهربائي بدلالة الوحدات الأساسية MKS.

الأمبير (وحدة قياس التيار الكهربي) : كمية الشحنة التي يبلغ مقدارها كولوم واحد والتي تمر عبر مقطع عرضي لموصل في زمن قدره ثانية واحدة.



36. كيف يجب وصل فولتمتر في الشكل لقياس جهد المحرك؟

على التوازي

37. كيف يجب وصل أميتر في الشكل لقياس تيار المحرك؟

على التوالي

38. ما اتجاه التيار الاصطلاحي في المحرك؟

مع عقارب الساعة.

39. ما رقم الأداة التي :

a. تحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية؟ 3

b. تحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية؟ 1

c. تعمل على فتح الدائرة وإغلاقها؟ 2

d. توفّر طريقة لضبط السرعة وتعديلها؟ 4

40. صف تحوّلات الطاقة التي تحدث في الأدوات التالية:

a. مصباح كهربائي متوهّج.

تتحول الطاقة الكهربية إلى طاقة ضوئية.

b. مجفّفة ملابس.

تتحول الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية حركية.

c. مذياع رقمي مزوّد بساعة.

تتحول الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية صوتية.

41. أي السلكين يوصل الكهرباء بمقاومة أقل: سلك مساحة مقطعه العرضي كبيرة، أم سلك مساحة مقطعه العرضي صغيرة؟

السلك ذو مساحة مقطع عرضي كبيرة يوصل الكهرباء بمقاومة أقل، لأن هناك علاقة عكسية مثبتة عملياً ونظرياً بين مساحة المقطع العرضي للموصل ومقاومة الموصل.

42. لماذا يكون عدد المصابيح التي تحترق لحظة إضاءتها أكبر كثيرًا من عدد المصابيح التي تحترق وهي مُضاءة؟

ذلك لأن لحظة إضاءة المصابيح تكون المقاومة للمصابيح صغيرة جداً فتكون شدة التيار كبيرة المار في المصابيح فتكون القدرة الناتجة أكبر من قدرة المصابيح المسموح بها ولكن بعد فترة من الإضاءة تزداد مقاومة المصابيح فيمر تيار يناسب تلك المصابيح وبالتالي يناسب قدرتها، فيقل عدد المصابيح المحترقة وهي إضاءة من حيث احتمالية حدوث ذلك مقارنة بلحظة إضاءة المصابيح.

43. عند عمل دائرة قصر لبطارية بوصل طرفي سلك نحاسي بقطبي البطارية ترتفع درجة حرارة السلك. فسّر لماذا يحدث ذلك؟

بسبب فقدان الإلكترون طاقتها بفعل تصادمها مع ذرات السلك، ليكتسب السلك الطاقة المفقودة على شكل طاقة حرارية كوجه من أوجه الطاقة المتحول إليها من الطاقة الكهربية.

44. ما الكميَّات الكهربائية التي يجب المحافظة على مقاديرها قليلة عند نقل الطاقة الكهربائية مسافات طويلة بصورة اقتصادية؟

١. المقاومة الكهربية للموصل، وذلك باستعمال أسلاك ذات موصلية كبيرة وقطر كبير.
٢. التيار الكهربي المار، لأن تشتت الطاقة يتناسب مع مربع التيار المار في الموصل تناسباً طردياً.

45. عرف وحدة القدرة الكهربائية بدلالة الوحدات الأساسية MKS؟

الواط: وهو القدرة على استهلاك طاقة مقدارها جول واحد في زمن قدره ثانية واحدة.

46. **خطوط القدرة** لماذا تستطيع الطيور الوقوف على خطوط الجهد المرتفع دون أن تتعرض لصدمة كهربائية؟

بسبب الطبقة العازلة للكهرباء والتي تكسو أرجل الطيور فتمنع تدفق التيار الكهربي إليها، حيث المقاومة الكهربية الكبيرة جدا لأرجل الطيور.

47. صِف طريقتين لزيادة التيار في دائرة كهربائية.

لزيادة التيار في دائرة كهربية، يتم انقاص عدد المقاومات في الدارة الكهربية (إنقاص المقاومة الكلية) مع ثبوت جهد المصدر، أو بزيادة جهد المصدر مع ثبوت عدد المقاومات (ثبوت قيمة المقاومة الكلية) في الدائرة الكهربية.

48. **المصابيح الكهربائية** يعمل مصباحان كهربائيان في دائرة كهربائية جهدها 120 V، فإذا كانت قدرة أحدهما 50 W والآخر 100 W، فأيّ المصباحين مقاومته أكبر؟ وضّح إجابتك.

$P = I V$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{50W}{120V} = 0.41\ A$$

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

$$R = \frac{120V}{0.41A} = 292.6\ \Omega \quad \text{المصباح الأول}$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{100w}{120V} = \quad 0.83\ A \quad \text{المصباح الثاني}$$

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

$$R = \frac{120V}{0.83\ A} = 144.5\ \Omega \qquad \text{المصباح الثاني}$$

إن مقاومة المصباح الأول أكبر منها للثاني وذلك لان شدة التيار المار في المصباح الأول أقل منها في الثاني.

49. إذا ثبّـت فرق الجهد في دائرة كهربائية، وتم مضاعفة مقدار المقاومة، فما تأثير ذلك في تيار الدائرة؟

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

$$V = R\,I$$

وبما أن فرق الجهد يساوي مقدار ثابت، وبالتالي فإن أي مضاعفة في المقاومة من شأنها أن تضعف (تقلل) شدة التيار بقدر تلك المضاعفة لمقدار المقاومة

50. مـا تأثـير مضاعفـة كل من الجهـد والمقاومـة في تيار دائرة كهربائية؟ وضّح إجابتك.

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

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

$$R \rightarrow \quad 2R \quad , V \rightarrow 2V \quad \text{في حال}$$

$$I = \frac{V}{R} \ \rightarrow \ I = \frac{2V}{2R}$$

$$= \frac{V}{R}$$ التيار كما هو

تبقى شدة التيار ثابتة في حين مضاعفة المقاومة وفرق الجهد.

51. قانون أوم وجدت سارة أداة تُشبه مقاومًا. عندما وصلت هذه الأداة ببطارية جهدها 1.5 V مرَّ فيها تيار مقداره 45×10^{-6} A فقط، ولكن عندما استخدمت بطارية جهدها 3.0 V مر فيها تيار مقداره 25×10^{-3} A، فهل تحقّق هذه الأداة قانون أوم؟

$$R1 = \frac{V1}{I1} = \frac{1.5V}{45 \times 10^{-6}A} = 0.03 \times 10^{6}\ \Omega$$

$$R2 = \frac{V2}{I2} = \frac{3V}{25 \times 10^{-3}\,A} = 0.12 \times 10^{-3}\ \Omega$$

$$R1 \neq R2$$

إذن هذه الأداة لا تحقق قانون أوم.

52. إذا غُيّر موقع الأميتر المبين في الشكل **3–4a** ليُصبح أسفل الشكل، فهل تبقى قراءة الأميتر هي نفسها؟ وضّح ذلك.

بالرجوع إلى الشكل فإن قراءة الأميتر تبقى ثابتة في حال غيرنا موقع الأميتر ليصبح أسفل الشكل وذلك لأن المقاومة متصلة على التوالي مع مصدر الجهد، وبما أن الدائرة دائرة توالي فإن التيار ثابت القيمة في أي جزء من أجزاء الدائرة لأنه لا ينقسم ولا يتجزأ.

53. سلكان أحدهما مقاومته كبيرة والآخر مقاومته صغيرة. إذا وصِل كل منهما بقطبي بطارية جهدها 60 V، فأي السلكين ينتج طاقة بمعدل أكبر؟ ولماذا؟

السلك ذو المقاومة الصغيرة ينتج طاقة بمعدل أكبر من السلك ذو المقاومة الكبيرة، لأن المقاومة الصغيرة تمرر تيار ذو شدة أكبر، (تقل الممانعة أو المعاوقة لسريان التيار) وذلك لأن:

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

$$E = I\,V\,t$$

حيث نلاحظ العلاقة الطردية بين التيار I والطاقة المنتجة E فكلما زادت I زادت E والعكس صحيح.

54. وصل محرك ببطارية جهدها 12 V كما هو موضّح في الشكل **13–3**. احسب مقدار:

a. القدرة التي تصل إلى المحرك؟

b. الطاقة المُحوَّلة إذا تم تشغيل المحرك 12 min؟

a. $R = \frac{V}{I} = \frac{12V}{1.5A} = 8\ \Omega$

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(12V)^2}{8\ \Omega} = 18w$$

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

$$E = P\,t = (18w)(12 \times 60S)$$

$$= 12960\ J$$

55. يمر تيار كهربائي مقداره 0.50 A في مصباح متصل بمصدر جهده 120 V، احسب مقدار:

a. القدرة الواصلة.

b. الطاقة التي يتم تحويلها خلال 5.0 min.

a. $P = I\,V = (0.50A)(120V) = 60\ w$

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

$$E = Pt = (60w)(5 \times 60s) = 18000\ J$$

56. **مجففات الملابس** وصلت مجففة ملابس قدرتها 4200 W بدائرة كهربائية جهدها 220 V، احسب مقدار التيار المار فيها.

$$P = I\,V$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{4200w}{220V} = 19.09\ A$$

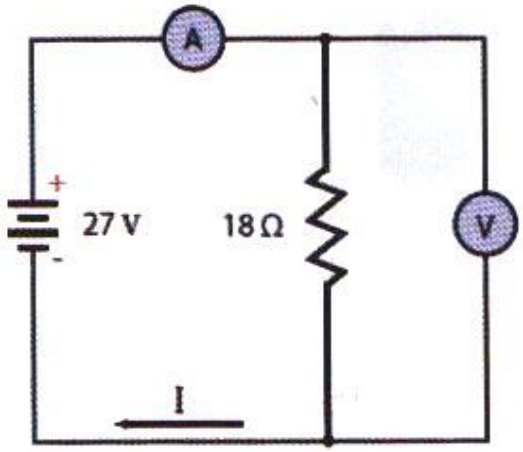
57. ارجع إلى الشكل **14–3** للإجابة عن الأسئلة التالية:

a. ما قراءة الأميتر؟

b. ما قراءة الفولتمتر؟

c. ما مقدار القدرة الواصلة إلى المقاوِم؟

d. ما مقدار الطاقة التي تصل إلى المقاوِم كل ساعة؟



a. $I = \frac{V}{R} = \frac{27V}{18\ \Omega} = 1.5\ A$

b. $V = I\,R = (1.5A)(18\ \Omega) = 27\ V$

c. $P = I\,V = (1.5A)(27V) = 40.5\ w$

d. $P = \frac{E}{t} \rightarrow E = Pt\ = (40.5w)(60 \times 60s) = 145800\ J$

58. **المصابيح اليدوية** وصِل مصباح يدوي بفرق جهد **3.0 V**، فمرّ فيه تيار مقداره **1.5 A**

a. ما معدل الطاقة الكهربائية المستهلكة في المصباح؟

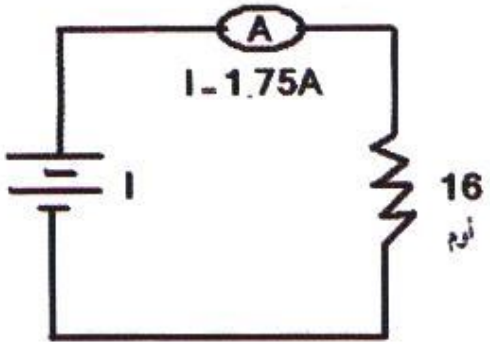
b. ما مقدار الطاقة الكهربائية التي يحولها المصباح خلال **11 min**؟

a. $P = I\,V = (1.5A)(3V) = 4.5\ w$

b. $E = Pt = (4.5w)(11 \times 60s) = 2970\ J$

59. ارسم رسمًا تخطيطيًّا لدائرة تيارٍ كهربائية تتضمن مقاوِمًا مقداره **16 Ω**، وبطارية، وأميتر قراءته **1.75 A**، حدّد كلًّا من الطرف الموجب للبطارية وجهدها، والطرف الموجب للأميتر، واتجاه التيار الاصطلاحي.

$$V = I\,R = (1.75A)(16\ \Omega) = 28V$$



60. يمـر تيار كهربائـي مقـداره 66 mA في مصباح عند توصيلـه ببطاريـة جهدهـا 6.0 V، ويمـر فيـه تيـار مقـداره 75 mA عنـد اسـتخدم بطاريـة جهدهـا 9.0 V، أجب عن الأسئلة التالية:

a. هل يحقّق المصباح قانون أوم؟

b. مـا مقـدار القـدرة المسـتنفدة في المصبـاح عنـد توصيله ببطارية 6.0 V؟

c. مـا مقـدار القـدرة المسـتنفدة في المصبـاح عنـد توصيله ببطارية 9.0 V؟

$$R1 = \frac{V1}{I1} = \frac{6V}{66 \times 10^{-3}A} = 90\ \Omega$$

$$R2 = \frac{V2}{I2} = \frac{9V}{75 \times\times 10^{-3}A} = 120\ \Omega$$

وبما أن $R1 \neq R2$ إذن لا يحقق المصباح قانون أوم ..... (a)

$$P = I\,V$$

$$= (66 \times 10^{-3}\ A)(6V)$$

(b) $\ldots\ldots\ldots\ldots = 396 \times 10^{-3}\ w$

$$P = I\,V$$

$$= (75 \times 10^{-3}A)(9V)$$

(c) $\ldots\ldots\ldots\ldots = 675 \times 10^{-3}\ w$

61. يمر تيار مقداره **0.40 A** في مصباح موصول بمصدر جهد **120 V**، أجب عما يلي:

a. ما مقدار مقاومة المصباح في أثناء إضاءته؟

b. تُصبح مقاومة المصباح عندما يبرد **⅕** مقاومته عندما يكون ساخنًا. ما مقدار مقاومة المصباح وهو بارد؟

c. ما مقدار التيار المار في المصباح لحظة إضاءته من خلال وصله بفرق جهد مقداره **120 V**؟

a. $R = \frac{V}{I} = \frac{120}{0.40} = 300\ \Omega$

$$R_{\text{بارد}} = \frac{1}{5} \quad R_{\text{ساخن}}$$

$$= \frac{1}{5}\ (300) = 60\ \Omega$$

$$R_{\text{بارد}} = \frac{V}{I}$$

$$I = \frac{V}{R_{\text{بارد}}} = \frac{120V}{60\Omega} = 2A$$

62. **المصابيح الكهربائية** ما مقدار الطاقة المستنفدة في مصباح قدرته **60.0 W** خلال نصف ساعة؟ وإذا حوّل المصباح **12%** من الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية فما مقدار الطاقة الحرارية التي يولّدها خلال نصف ساعة؟

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

$$E = P\,t = (60w)(30 \times 60s) = 108000\ J$$

الطاقة الحرارية = الطاقة المستنفذة x (100-12)%

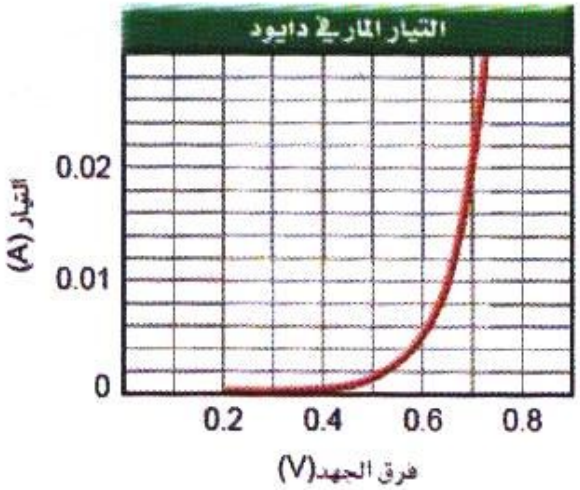
J 88% x 108000 = 95040

63. يمثل الرسم البياني في الشكل **15–3** العلاقة بين فرق الجهد والتيار المار في جهاز يسمى الصمام الثنائي (الدايود) وهو مصنوع من السليكون. أجب عن الأسئلة التالية:

a. إذا وصِل الدايود بفرق جهد مقداره **0.70 V** فما مقدار مقاومته؟

b. ما مقدار مقاومة الدايود عند استخدام فرق جهد مقداره **0.60 V**؟

c. هل يُحقّق الدايود قانون أوم؟



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

ومن الرسم البياني

$$R = \frac{0.70V}{0.018A} = 38.8\ \Omega$$

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

ومن الرسم البياني:

$$R = \frac{0.60V}{0.005A} = 120\ \ \Omega$$

لايحقق الدايود قانون أوم حيث إن مقاومته غير ثابتة المقدار أثناء تغير فرق الجهد مع التيار...(c)

64. البطاريات يبلغ ثمن بطارية جهدها **9.0 V** تقريبًا **10** ريالات، وتولّد هذه البطارية تيارًا مقداره **0.0250 A** مدة **26.0 h** قبل أن يتم تغييرها. احسب تكلفة كل **kWh** تُزوّدنا به هذه البطارية.

$$P = I\,V = (0.0250A)(9V) = 0.225\ w$$

$$P = \frac{E}{t} \rightarrow E = Pt = (0.225w)(26 \times 60 \times 60) = 21060\ w.s$$

إذا كان 21060 w.s ثمنه 10 ريالات

فإن $1 \times 10^3 \times \frac{1}{60}\ kwh$ ثمنه ؟ ريال

$$?= \frac{1 \times 10^3 \times \frac{1}{60} \times 10}{21060} = 0.0079 \text{ ريال}$$

65. ما مقدار أكبر تيار ينتج عن قدرة كهربائية مقدارها 5.0 W في مقاوِم مقداره 220 Ω ؟

$$P = I^2\ R$$

$$I^2 = \frac{P}{R} = \frac{5w}{220\Omega}$$

$$I = 0.15\ A$$

66. يمر تيار مقداره 3.0 A في مكواة كهربائية جهدها 110 V. ما مقدار الطاقة الحرارية الناتجة خلال ساعة؟

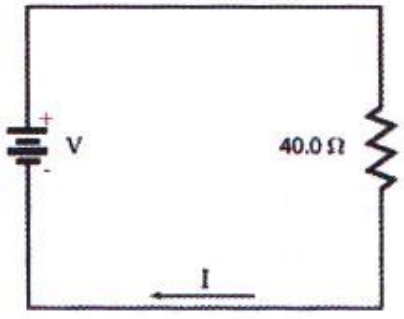
$$P = I\ V = (3A)(110V)$$

$$= 330\ w$$

$$E = Pt\ = (330w)(60 \times 60s) = 1188 \times\times 10^3\ J$$

67. في الدائرة الموضّحة في الشكل 16–3 تبلغ أكبر قدرة كهربائية آمنة 50 W. استخدم الشكل لإيجاد كل مما يلي:

a. أكبر تيار آمن. **b.** أكبر جهد آمن.

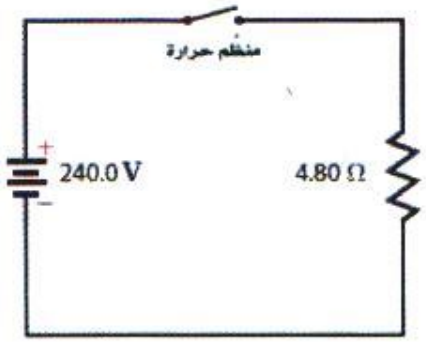


$$I^2 = \frac{P}{R} = \frac{50w}{40\Omega} = 1.25A$$

$$I = 1.1A$$

$$V = \frac{P}{I} = \frac{50w}{1.1A} = 45.4\ V$$

68. يمثل الشكل **17–3** دائرة فرن كهربائي. احسب قيمة الفاتورة الشهرية (**30** يومًا) إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة **0.10** ريال، وتم ضبط منظّم الحرارة ليشتغل الفرن ربع الفترة الزمنية؟



$$I = \frac{V}{R} = \frac{240V}{4.80\Omega} = 50\ A$$

$$P = I\,V = (50A)(240V) = 12000\ w$$

في الساعة $12\ kw$ = في زمن قدره ثانية $12 \times 60s = 720\ kw$

وإذا كان ثمن الكيلو واط في الساعة هو 0.10 ريال فإن ثمن 720kw في الساعة هو 720 x ثمن الكيلو واط في الساعة = 0.10 x 720 = 72 ريال وإذا كان الفرن يشتغل ربع الفترة الزمنية بمعنى $\frac{1}{4} \times 30$ يوم = 7.5 يوم بمعنى 7.5 يوم x 24 ساعة/يوم = 180 ساعة، فإن مقدار القدرة المستهلكة خلال هذه الفترة هي 180x720= 129600 kw وبالتالي ثمن استهلاك 180 ساعة يساوي زمن استهلاك الساعة الواحدة مضروبا في عدد الساعات = 180x72 = 12960 ريال

70. **المذياع** يتم تشغيل مذياع ببطارية جهدها **9.0 V**، بحيث تزوّده بتيار مقداره **50.0 mA**.

a. إذا كان ثمن البطارية **10** ريالات، وتعمل لمدة **300.0 h** فاحسب تكلفة كل **kWh** تُزوِّدنا به هذه البطارية عند تشغيل المذياع هذه الفترة.

b. إذا تم تشغيل المذياع نفسه بواسطة محوّل موصول بدائرة المنزل، وكان ثمن الكيلوواط.ساعة **0.12** ريال، فاحسب تكلفة تشغيل المذياع مدة **300 h**.

$$P \text{ قدرة البطارية} = I\,V = (50 \times 10^{-3A})(9V) = 450 \times 10^{-3}w$$
$$= 450 \times 10^{-6}kw$$

وهذا في زمن قدره ثانية واحدة أي 1/60 ساعة = 0.016 ساعة.

وبالتالي فإن قدرة البطارية في زمن قدره 300 ساعة هو:

(ساعة300 × $(450 \times 10^{-6}\ kw)$ / 0.016 ساعة = 8.4 kw

وإذا كان ثمن البطارية (8.4 kw) هو 10 ريالات، فإن ثمن الكيلو واط هو $1kw \times 10$ / 8.4
= 1.19 ريال ..... (a)

تكلفة التشغيل لمدة (300h) = $\frac{0.12\times\times300h\times8.4kw}{1h\times1kw}$ = 302.4 ريال. ..... (b)

71. يمر تيار مقداره **1.2 A** في مقاوِم مقداره **50.0 Ω** مدة **5.0 min**، احسب مقدار الحرارة المتولدة في المقاوِم خلال هذه الفترة؟

$$P = I^2\ R$$

$$= (1.2A)^2(50\ \Omega) = 72\ w$$

$$E = P\ t = (72w)(5 \times 60s)$$

$$= 21600\ J$$

72. وصِل مقاوِم مقداره **6.0 Ω** ببطارية جهدها **15 V**

a. ما مقدار التيار المار في الدائرة؟

b. ما مقدار الطاقة الحرارية الناتجة خلال **10.0 min**؟

$$I = \frac{V}{R} = \frac{15V}{6\Omega} = 2.5A$$

$$P = I\ V = (2.5A)(15V) = 37.5\ w$$

$$E = Pt = (37.5w)(10 \times 60s) = 22500\ J$$

73. **المصابيح الكهربائية** تبلغ مقاومة مصباح كهربائي متوهّج **10.0 Ω** قبل إنارته، وتُصبح **40.0 Ω** عند إنارته بتوصيله بمصدر جهد مقداره **120 V**. أجب عن الأسئلة التالية:

a. ما مقدار التيار الذي يمر في المصباح عند إنارته؟

b. ما مقدار التيار الذي يمر في المصباح لحظة إنارته (التيار اللحظي)؟

c. متى يستهلك المصباح أكبر قدرة كهربائية؟

a. $I = \frac{V}{R} = \frac{120V}{40\Omega} = 3\ A$

b. $I = \frac{V}{R} = \frac{120V}{10\Omega} = 12\ A$

قبل إنارة المصباح:..... (c)

$$P = I\,V = (12A)(120V) = 1440\ w$$

عند إنارة المصباح:

$$P = I\,V = (3A)(120V) = 360\ w$$

إذن يستهلك المصباح أكبر قدرة استهلاكية قبل الإنارة.

74. يستخدم مقاوِم مُتغيّر للتحكم في سرعة محرك كهربائي جهده 12 V، عند ضَبط المقاوِم ليتحرك المحرك بأقل سرعة يمر فيه تيار مقداره 0.02 A، وعندما يُضبط المقاوِم ليتحرك المحرك بأكبر سرعة يمر فيه تيار مقداره 1.2 A، ما مدى المقاوِم المتغير؟

$$\Delta R = \frac{V}{\Delta I} = \frac{12V}{1.2A - 0.02A} = 10.16\ \Omega$$

75. يُشغّل محرك كهربائي مضخّة توزيع الماء في مزرعة بحيث تضخ 1.0×10^4 L من الماء رأسيًّا إلى أعلى مسافة 8.0 m في كل ساعة. فإذا وصِل المحرك بمصدر جهد مقداره 110 V، وكانت مقاومته في أثناء تشغيله 22.0 Ω فما مقدار:

a. التيار المار في المحرك؟

a. $I = \frac{V}{R} = \frac{110V}{22\Omega} = 5\ A$

76. ملف تسخين مقاومته 4.0 Ω، ويعمل على جهد مقداره 120 V، أجب عما يلي:

a. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الملف عند تشغيله؟

b. ما مقدار الطاقة الواصلة إلى الملف خلال 5.0 min؟

c. إذا غُمر الملف في وعاء عازل يحتوي على 20.0 kg من الماء فما مقدار الزيادة في درجة حرارة الماء؟ افترض أن الماء امتص الحرارة الناتجة بنسبة 100 %.

d. إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.08 ريال فما تكلفة تشغيل الملف 30 min في اليوم مدة 30 يومًا؟

a. $I = \frac{V}{R} = \frac{120V}{4\Omega} = 30\ A$

b. $P = I\,V = (30A)(120V) = 3600\ w$

$$E = P\,t = (3600\ w)(5 \times 60s) = 1080 \times 10^3\ J$$

$$= 1080\ kws$$

c. $Q = m\,c\,\Delta\,t \rightarrow \Delta t = \frac{Q}{mc}$

$$= \frac{\frac{100}{100} \times 1080 \times 10^3\ J}{20kg \times 4200 \frac{J}{kg.c}} = 12.85\ °C$$

(d) إجمالي مدة تشغيل الملف = مدة التشغيل في اليوم x عدد الأيام.....

إجمالي مدة تشغيل الملف = (0.5h) x 30 days

= 15 x (60 x 60s) = 54 000 s

إذا كان يستهلك 1080 kws فإن في زمن قدره 54000 s

يستهلك 54000 x 1080 = 5832 x 10^4 kws

أي بمعدل (5832 x 10^4 x 1/60) = 972000 kwh

وإذا كان ثمن الكيلو واط. ساعة = 0.08ريال

فإن ثمن 972000 kwh يساوي 0.08x 972000

77760 ريال

77. **التطبيقات** مدفأة كهربائية تصل قدرتها إلى 500 W، أجب عما يلي:

a. ما مقدار الطاقة الواصلة إلى المدفأة في نصف ساعة؟

b. تستخدم المدفأة لتدفئة غرفة تحتوي على 50 kg من الهواء، فإذا كانت الحرارة النوعية للهواء 1.10 kJ /kg. °C، و50% من الطاقة الحرارية الناتجة تعمل على تسخين الهواء في الغرفة، فما مقدار التغير في درجة هواء الغرفة خلال نصف ساعة؟

c. إذا كان ثمن الكيلوواط.ساعة 0.08 ريال، فما تكلفة تشغيل المدفأة 6.0 h في اليوم مدة 30 يومًا؟

a. $E = Pt = (500w)(30 \times 60s) = 900 \times 10^3\ J = 900\ kws$

$$= 900 \times \frac{1}{60}\ kwh = 15\ kwh$$

b. $\frac{50}{100} \times 900 \times 10^3 J = (50kg)\left(1.10 \times 10^3 \frac{J}{kg.C}\right)\Delta t$

$$\Delta t = 8.18\ °C$$

(c) إجمالي مدة تشغيل المدفأة = مدة التشغيل في اليوم x عدد الأيام.....

180 h = 30 x 60h

وإذا كان يستهلك 15kwh فإنه يستهلك 180x15kwh = 2700kw في زمن قدره 180h وإذا كان ثمن الكيلو واط . ساعة = 0.08 ريال فإن ثمن 2700 kw يساوي 0.08x2700= 216ريال

80. **تطبيق المفاهيم** تتراوح أحجام مقاومة مقدارها 10 Ω بين رأس دبوس إلى وعاء حساء. وضح ذلك.

$$R = \frac{\text{المقاومة النوعية} \times \text{الطول}}{\text{المساحة}}$$

لاحظ أن المقاومة تعتمد على المساحة، فكلما زادت المساحة قلت المقاومة والعكس صحيح، بالإضافة إلى اعتماد المقاومة على المقاومة النوعية التي تختلف بناء على نوع المادة التي تصنع منها المقاومة.

فكلما زادت المقاومة النوعية زادت المقاومة وبالتالي يمكن الحصول على مقاومة مقدارها 10 أوم بحيث تتراوح أحجامها (الحجم يساوي الطول x المساحة) بين رأي دبوس إلى وعاء حساء عبر التحكم (بتغيير) بالعناصر التالية (الطول والمقاومة النوعية والمساحة) بحيث تحقق القانون أعلاه وتكون قيمة المقاومة ثابتة وتساوي مثلا 10 أوم في كل مرة نغير فيها قيم تلك العناصر.

81. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها الرسم البياني للصمام الثنائي (الدايود) الموضّح في الشكل **15–3** أكثر فائدة من رسم بياني مشابه لمقاوِم يحقّق قانون أوم. وضح ذلك.

إن الرسم البياني للديود أكثر فائدة من الرسم البياني المشابه لمقاوم يحقق قانون أوم لأنه في الديود يتم رصد مقاومات متغيرة (غير خطية) تختلف قيمها باختلاف قيم فرق الجهد والتيار الموافقة لها خروجاً عن قانون أوم للمقاومات الخطية، وبالتالي تتعدد وتتنوع استعمالات المقاومات غير الخطية وتصبح أنجح من المقاومات الأومية الخطية في تنفيذ العمليات الكهربية وتصميم الأجهزة والتي تحل الكثير من المشاكل الفيزيائية وغير ذلك من الاستخدامات وبالمختصر المفيد فإن المقاومات غير الخطية أكثر طواعية من المقاومات الخطية لتحقيق الاحتياجات الفيزيائية والحياتية.

84. تبعد شحنة مقدارها $+3.0\times10^{-6}\ C$ مسافة $2.0\ m$ عن شحنة أخرى مقدارها $+6.0\times10^{-5}C$، احسب مقدار القوة المتبادلة بينهما.

$$F_{A\text{في}B} = k\,\frac{q_A q_B}{d^2}$$

$$= \frac{\left(9\times10^{5}\,\frac{N.m^2}{C^2}\right)(3\times10^{-6C})(6\times10^{-5}C)}{(2m)^2} = 40.5\times10^{-2}\,N$$

حلول اختبار مقنن:

١. A
٢. D
٣. C
٤. D
٥. C
٦. C
٧. D

8. $I = \frac{V}{R} = \frac{120V}{8.5} = 14.1\ \text{A}$

$$P = I\,V = (14.1A)(120V)$$

$$= 1694.1\ w$$

$$E = P\,t = (1694.1\ w)(2.5 \times 60s) = 2.5 \times 10^5\ J$$

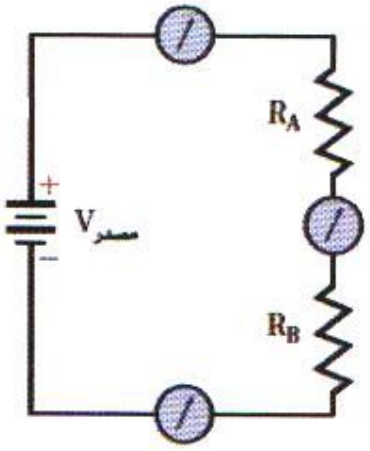
الفصل الرابع

الدوائر الكهربية

الدوائر الكهربية البسيطة

يمكن اعتبار النهر الجبلي نموذجاً لتوضيح التوصيلات الكهربية لدائرة كهربية حيث ينحدر ماء النهر من أعلى الجبل إلى سفحه، ويكون التغير في الارتفاع عند جريان الماء من قمة الجبل حتى وصوله إلى السفح هو نفسه بغض النظر عن المسار الذي يسلكه ماء النهر. وتنحدر المياه في بعض الأنهار الجبلية في صورة جدول مفرد، وفي أنهار أخرى تتفرع المياه إلى فرعين أو أكثر عند تدفقها من فوق شلال أو من فوق سلسلة من المنحدرات المتتالية، حيث يتدفق جزء من ماء النهر في مسار في حين تتدفق أجزاء أخرى في مسارات مختلفة. وبغض النظر عن عدد المسارات التي يسلكها ماء النهر فإن الكمية الكلية للماء المتدفق إلى أسفل الجبل تبقى ثابتة، أي أن كمية الماء المتدفق لا تتأثر بالمسار الذي تسلكه.

دوائر التوالي الكهربية:



وبالحديث عن كيفية توصيل عناصر الدارة الكهربية على التوالي، يوصل أحد طرفي المقاومة (R_A) بأحد طرفي المقاومة الثانية (R_B) وبذلك تصبح المقاومتين عبارة عن ممر متصل للتيار الكهربي له مقاومة معينة.

ولتعيين المقاومة المكافئة لمجموعة من المقاومات المتصلة على التوالي عملياً، نتبع الإجراءات التالية:

١. تدمج مجموعة المقاومات المتصلة على التوالي في دائرة كهربية تحتوي على بطارية ومقاوم متغير (ريوستات) ومفتاح موصلة جميعها على التوالي كما في الشكل أدناه.
٢. تغلق الدائرة وتعدل المقاومة المتغيرة حتى يمر في الدائرة تيار كهربي مناسب. وبأخذ قراءة جميع الأميترات الموجودة بالدائرة نجد أن شدة التيار متساوية في جميع أجزاء الدائرة ولتكن شدته (I) أمبير.
٣. يقاس فرق الجهد الكهربي بين طرفي كل مقاومة (الهبوط في الجهد) على حدة وليكن V_A , V_Bعلى الترتيب ثم يقاس فرق الجهد الكلي (الهبوط الكلي في الجهد) بين طرفي المجموعة وليكن $V_{مصدر}$. نجد أن: $V_{مصدر} = V_A + V_B$
٤. نعين المقاومة المكافئة (الكلية) للمجموعة بقسمة فرق الجهد الكلي ($V_{مصدر}$) على شدة التيار (I) أي أن: $R = \frac{V_{مصدر}}{I}$

ولحساب قيمة المقاومة لعدة مقاومات متصلة على التوالي: (رياضياً) نفرض أن المقاومة المكافئة للمجموعة = R أوم، وبما أن شدة التيار المار في المجموعة متساوية ويساوي I أمبير، إذاً فرق الجهد بين طرفي المجموعة هو:

$$V_{مصدر} = I\ R$$

فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة هو:

$$V_A = IR_A \quad ، \quad V_B = IR_B .$$

وبما أن:

$$V_{مصدر} = IR_A + IR_B$$

إذاً:

$$I\ R = IR_A + IR_B$$

أي أن: $R = R_A + R_B$

ومنه بوجه عام:

$$R = R_A + R_B + R_C + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

حيث يمكن وصل عدد أكبر من المقاومات على التوالي بنفس الكيفية.

أي أن: المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات متصلة على التوالي يساوي مجموع هذه المقاومات.

- **الغرض من توصيل المقاومات على التوالي:**

الحصول على مقاومة كبيرة من مجموعة من المقاومات صغيرة القيمة.

ولتعيين شدة التيار المار في كل مقاومة نعين شدة التيار المار في كلها من القانون $I = \frac{V_{مصدر}}{R}$ ، فيكون هو شدة التيار المار في كل مقاومة.

مسائل تدريبية

1. وصِلت المقاوِمات 5Ω و15Ω و10Ω في دائرة توالٍ كهربائية ببطارية جهدها 90 V. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟ وما مقدار التيار المار فيها؟

$$R = R_A + R_B + R_c$$

$$= 10\Omega + 15\Omega + 5\Omega$$

$$= 30\ \Omega$$

$$I = \frac{V_{مصدر}}{R} = \frac{90V}{30\Omega} = 3A$$

2. وصِلت بطارية جهدها 9 V بثلاثة مقاوِمات موصولة على التوالي في دائرة كهربائية. إذا زاد مقدار أحد المقاوِمات فأجب عما يلي:

a. كيف تتغير المقاومة المكافئة؟

تزداد المقاومة المكافئة التي هي عبارة عن مجموع تلك المقاومات $R = R_A + R_B + R_c$

b. ماذا يحدث للتيار؟

بحكم القيمة الجديدة الأعلى لإحدى المقاومات عن ذي قبل فإن ذلك بدوره يؤدي إلى زيادة في المقاومة الكلية المكافئة R والذي من شأنه تقليل التيار حيث $I = \frac{V}{RA+RB+RC}$

c. هل يكون هناك أي تغير في جهد البطارية؟

جهد البطارية (المصدر) لا يتغير إذ يتوزع على المقاومات الموصولة على التوالي حسب قيمة كل مقاومة علما بأن التيار ثابت في حالة التوالي.

3. وصِل طرفا سلك بعشرة مصابيح ذات مقاومات متساوية ومتصلة على التوالي بمصدر جهد مقداره 120 V، فإذا كان التيار المار في المصابيح 0.06 A فاحسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة للدائرة.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{120V}{0.06A} = 2000\ \Omega$$

b. مقاومة كل مصباح.

$$R_{\text{مصباح}} = \frac{R}{\text{عدد المصابيح}} = \frac{2000\Omega}{10} = 200\ \Omega$$

وذلك لأن المصابيح ذات مقاومة متساوية.

4. احسب الهبوط في الجهد خلال المقاومات الثلاثة الواردة في المسألة 1، ثم تحقق أن مجموع الهبوط في الجهد عبر المصابيح الثلاثة يساوي جهد البطارية.

$$VA = I\,RA = (3A)(10\Omega) = 30\,V$$

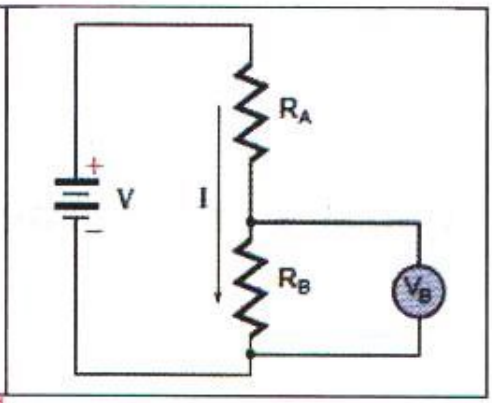
$$VB = I\,RB = (3A)(15\Omega) = 45\ V$$

$$VC = I\,RC = (3A)(5\Omega) = 15\,V$$

$$V = VA + VB + VC = 30V + 45V + 15V = 90\,V$$

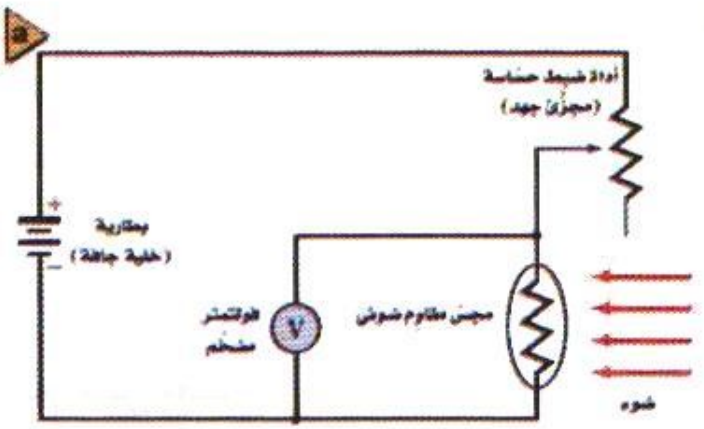
= 90 V جهد البطارية

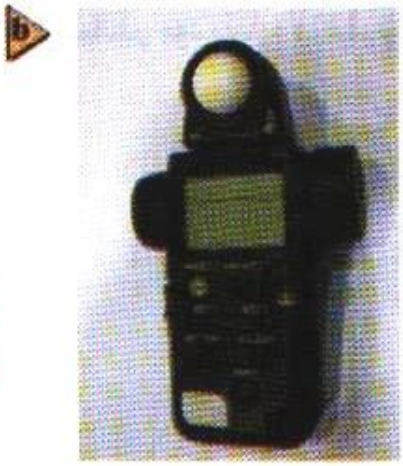
الهبوط في الجهد في دائرة التوالي عند مرور تيار كهربائي في أيّ دائرة كهربائية يجب أن يكون مجموع التغيرات في الجهد عبر كل عناصر الدائرة صفرًا؛ وذلك لأن مصدر الطاقة الكهربائية للدائرة؛ أي البطارية أو المولّد الكهربائي، يعمل على رفع الجهد بمقدار يساوي مجموع الهبوط في الجهد الناتج عن مرور التيار في جميع مقاومات الدائرة الكهربائية، لذا يكون المجموع الكلي للتغيرات في الجهد صفرًا.



$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{R_A + R_B}$$

$$V_B = I\,R_B = \left(\frac{V}{R_A + R_B}\right)R_B = \left(\frac{V\,R_B}{R_A + R_B}\right)$$





تستخدم عادة مجزئات الجهد مع المجسات، مثل المقاومات الضوئية، حيث تعتمد مقاومة مقاوم ضوئي على كمية الضوء التي تسقط عليه، وهو يصنع عادة من مواد شبه موصلة، مثل السيليكون أو السيلينيون أو كبريتيد الكادميوم. تتغير مقاومة مقاوم ضوئي مثالي من 100 أوم عند سقوط ضوء عليه إلى 400000 أوم عندما يكون المقاومة في مكان معتم ويعتمد الجهد الناتج عن مجزئ الجهد المستخدم في المقاوم الضوئي على كمية الضوء التي تسقط على مجس المقاوم، ويمكن استعمال هذه الدائرة مقياسا لكمية الضوء كما هو موضح بالشكل أعلاه، حيث تكشف دائرة إلكترونية في هذا الجهاز فرق الجهد وتحوله إلى قياس للاستضاءة يمكن قراءته على شاشة رقمية. وستقل قراءة الفولتميتر المضخم عند زيادة الاستضاءة.

مسائل تدريبية

5. إذا أظهرت الدائرة الموضحة في المثال 1 النتائج التالية: قراءة الأميتر 0 A، وقراءة V_A تساوي 0 V، وقراءة V_B تساوي 45 V، فما الذي حدث؟

الذي يحدث هو أن الدارة مفتوحة (قطع التيار الكهربي) عن المقاومة RA وتكون الدارة مغلقة عند المقاومة RB وتصبح الدارة تتألف من RB والبطارية وفولتمتر يقيس VB وأميتر يقيس شدة التيار في الدارة المغلقة وبالتالي تنفرد المقاومة RB بجهد البطارية (حيث RA كأنها لا وجود لها في الدارة).

6. افترض أن قيم عناصر الدائرة الكهربائية الموضحة في المثال 1 هي: $R_A = 255\,\Omega$ و $R_B = 292\,\Omega$ و $V_A = 17.0\,V$، وليس هناك أيّ معلومات أخرى، فأجب عما يلي:

a. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟

$$I = \frac{VA}{RA} = \frac{17V}{255\Omega} = 0.06\ A$$

b. ما مقدار جهد البطارية؟

$$VB = I\ RB = (0.06A)(292\Omega) = 19.46\ V$$

$$V\text{ مصدر} = VA + VB = (17V) + (19.46V) = 36.4\ V$$

c. ما مقدار القدرة الكهربائية الكلية المستنفدة؟ وما مقدار القدرة المستنفدة في كل مقاوم؟

$$P\text{الكلية} = I\ V\text{المصدر}$$

$$= (0.06\ A)(36.4V) = 2.188\ w$$

$$PA = I\ VA = (0.06\ A)(19.46\ V) = 1.167\ w$$

$$PB = I\ VB = (0.06A)(17V) = 1.02\ w$$

d. هل مجموع القدرة المستنفدة في كل مقاوم يساوي القدرة الكلية المستنفدة في الدائرة؟ وضّح ذلك.

مجموع القدرة المستنفذة في كل مقاوم يساوي القدرة الكلية المستنفذة في الدائرة بدليل:

$$PA + PB = 1.167\ w + 1.02\ w = 2.188\ w = P\text{ الكلية}$$

8. تتكوّن دائرة توالٍ كهربائية من بطارية جهدها 12.0 V وثلاثة مقاومات. فإذا كان جهد أحد المقاومات 1.21 V، وجهد مقاوم ثانٍ 3.33 V، فما مقدار جهد المقاوم الثالث؟

$$V = VA + VB + VC$$

$$= 12V = 1.21V + 3.33V + VC$$

$$Vc = 12V - (1.2V + 3.33\ V) = 7.46\ V$$

9. وصِل المقاومان 22 Ω و33 Ω في دائرة توالٍ كهربائية بفرق جهد مقداره 120 V. احسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة للدائرة.

$$R = RA + RB = 22\Omega + 33\Omega = 55\ \Omega$$

b. التيار المار في الدائرة.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120V}{55\Omega} = 2.18\ A$$

c. الهبوط في الجهد عبر كل مقاوم.

$$VA = I\ RA = (2.18A)(22\Omega) = 48\ V$$

$$VB = I\ RB = (2.18A)(33\Omega) = 71.94\ V$$

d. الهبوط في الجهد عبر المقاومين معًا.

$$V = VA + VB$$

$$= 48V + 71.94\,V = 119.94\ V \approx 120\,V$$

10. قام طالب بعمل مجزئ جهد يتكوّن من بطارية جهدها 45 V ومقاومين قيمتاهما: 475 kΩ و 235 kΩ. فإذا قيس الجهد الناتج عبر المقاوم الأصغر فما مقدار هذا الجهد؟

بما أن مجزئ الجهد هو تطبيق على دائرة التوالي الكهربية فإن:

$$R = RA + RB = 235\ k\Omega + 475\ k\Omega = 710\ k\Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{45V}{710 \times 10^3\Omega} = 0.06 \times 10^{-3}\ A$$

$$VA = I\,RA = (0.06 \times 10^{-3}A)(235 \times 10^3\Omega) = 14.8\,V$$

11. ما مقدار المقاوم الذي يمكن استخدامه عنصرًا في دائرة مجزئ جهد مع مقاوم آخر مقداره 1.2 kΩ، بحيث يكون الهبوط في الجهد عبر المقاوم 1.2 kΩ يساوي 2.2 V عندما يكون جهد المصدر 12 V؟

$$I = \frac{VB}{RB} = \frac{2.2V}{1.2 \times 10^3\Omega} = 1.8 \times 10^{-3}\ A$$

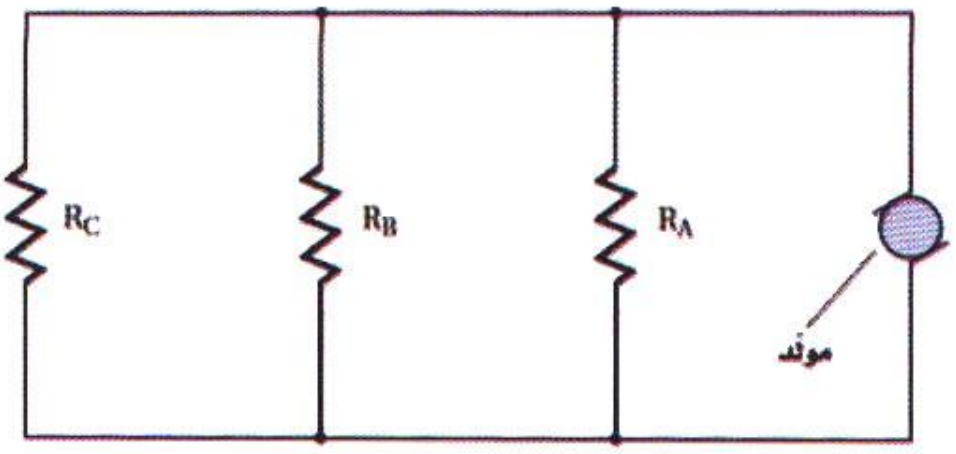
$$V\text{مصدر} = VA + VB \rightarrow VA = V\text{مصدر} - VB$$

$$= 12V - 2.2V = 9.8\ V$$

$$VA = I\,RA$$

$$RA = \frac{VA}{I} = \frac{9.8V}{1.8 \times 10^{-3}A} = 5.4\ k\Omega$$

- **دوائر التوازي:**



ولتوصيل المقاومات على التوازي يوصل طرفي كل من المقاومات (R_A, R_B, R_C) بنقطتين ثابتتين كما يوضح الشكل أعلاه.

ولتعيين المقاومة المكافئة لمجموعة المقاومات المتصلة على التوازي عملياً:

١. تدمج المجموعة في دائرة كهربية تشمل بطارية ومقاوم متغير ومفتاح كما في الشكل أدناه.
٢. تغلق الدائرة وتعدل المقاومة المتغيرة حتى يمر في الدائرة الرئيسية تيار مناسب نعين شدته بواسطة الأميتر ولتكن I أمبير.
٣. تعين شدة التيار المار في كل من المقاومات الثلاث ولتكن I_A, I_B, I_C على الترتيب نجد أن: $I = I_A + I_B + I_C$
٤. يقاس فرق الجهد الكلي (الهبوط الكلي في الجهد) بين طرفي مجموعة المقاومات بواسطة فولتميتر وليكن $V_{مصدر}$ فولت.
٥. تعين المقاومة المكافئة للمجموعة بقسمة فرق الجهد $V_{مصدر}$ على شدة التيار الكلي في الدائرة الرئيسية (I) أي أن: $R = \frac{V}{I}$

ولحساب قيمة المقاومة المكافئة لعدة مقاومات متصلة على التوازي:

١. نفرض أن المقاومة المكافئة للمجموعة تساوي R أوم وبما أن فرق الجهد (V) متساو في جميع المقاومات إذن، شدة التيار الكلي في الدائرة الرئيسية:

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

$$I_A = V/R_A$$

يمكن إعادة كتابة معادلة مجموع التيارات في الدائرة كما يلي:

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_A} + \frac{V}{R_B} + \frac{V}{R_C}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} \ldots\ldots$$

أي أن مقلوب المقاومة المكافئة لمجموعة من المقاومات متصلة على التوازي يساوي مجموع مقلوبات هذه المقاومات.

- الغرض من التوصيل على التوازي: هو الحصول على مقاومة مكافئة من مجموعة من المقاومات بحيث تكون قيمتها (المقاومة المكافئة) أصغر من قيمة أي مقاومة في المجموعة.

ويمكن استخدام المعادلة الأخيرة لإيجاد المقاومة المكافئة لأي عدد من المقاومات الموصولة على التوازي، أي أن:

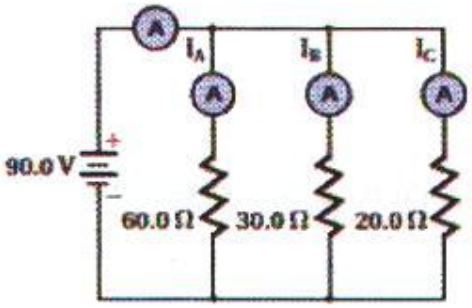
$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_A}+\frac{1}{R_B}+\frac{1}{R_C}\cdots\cdots$$

المقاومة المكافئة والتيار في دائرة توازٍ كهربائية وصِلت المقاوِمات الثلاثة التالية: 60.0 Ω و30.0 Ω و20.0 Ω على التوازي ببطارية جهدها 90.0 V، احسب مقدار:

a. التيار المار في كل فرع في الدائرة الكهربائية.

b. المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية.

c. التيار المار في البطارية.



بالتعويض عن $R_A = 60.0\ \Omega$ ،$V = 90.0\ V$

$$I_A=\frac{V}{R_A}=\frac{90.0\ V}{60.0\ \Omega}=1.50\ A$$

بالتعويض عن $R_B = 30.0\ \Omega$ ،$V = 90.0\ V$

$$I_B=\frac{V}{R_B}=\frac{90.0\ V}{30.0\ \Omega}=3.00\ A$$

بالتعويض عن $R_C = 20.0\ \Omega$ ،$V = 90.0\ V$

$$I_C=\frac{V}{R_C}=\frac{90.0\ V}{20.0\ \Omega}=4.50\ A$$

b. استخدم معادلة المقاومة المكافئة لدوائر التوازي.

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_A}+\frac{1}{R_B}+\frac{1}{R_C}$$

بالتعويض عن $R_A = 60.0\ \Omega$ ،$R_B = 30.0\ \Omega$ ،$R_C = 20.0\ \Omega$

$$=\frac{1}{60.0\ \Omega}+\frac{1}{30.0\ \Omega}+\frac{1}{20.0\ \Omega}=\frac{1}{10.0\ \Omega}$$

$$R = 10.0\ \Omega$$

c. استخدم $I=\frac{V}{R}$ لإيجاد التيار الكلي.

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

بالتعويض عن $R = 10.0\ \Omega$ ،$V = 90.0\ V$

$$=\frac{90.0\ V}{10.0\ \Omega}=9.00\ A$$

مسائل تدريبية

12. وصلت ثلاثة مقاومات مقدارها Ω 120.0 و Ω 60.0 و Ω 40 على التوازي مع بطارية جهدها V 12.0، احسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة لدائرة التوازي.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} \ldots\ldots$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{120} + \frac{1}{60} + \frac{1}{40}$$

$$R = 20\ \Omega$$

b. التيار الكهربائي الكلي المار في الدائرة.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12V}{20\Omega} = 0.6\ A$$

c. التيار المار في كل مقاوم.

$$IA = \frac{V}{RA} = \frac{12V}{120\Omega} = 0.1\ A$$

$$IB = \frac{V}{RB} = \frac{12V}{60\Omega} = 0.2\ A$$

$$IC = \frac{V}{RC} = \frac{12V}{40\Omega} = 0.3\ A$$

13. إذا أردنا تغيير مقاومة فرع في دائرة كهربائية من Ω 150 إلى Ω 93 فإنه يجب إضافة مقاوم إلى هذا الفرع. ما مقدار المقاوم الذي يجب إضافته؟ وكيف يتم توصيله؟

ينبغي لتغيير مقاومة فرع في دائرة كهربية من 150أوم إلى 93 أوم أن يتم توصيل المقاوم الإضافي على التوازي مع المقاوم 150 أوم للحصول على مقاومة مكافئة أصغر من قيمة المقاوم 150أوم وأصغر من قيمة المقاوم الإضافي لتكون المقاومة المكافئة مساوية 93أوم وبالتالي:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{RA} = \frac{1}{RB}$$

$$\frac{1}{93} = \frac{1}{150} = \frac{1}{RB}$$

المقاوم الاضافي $RB = 244.7\ \Omega$

14. وُصل مقاوِم مقداره 12 Ω وقدرته 2 W على التوازي بمقاوِم آخر مقداره 6.0 Ω وقدرته 4 W. أيهما يسخّن أكثر إذا زاد فرق الجهد بين طرفيهما باستمرار؟

المقاوم ذو المقدار 12 أوم والقدرة 2 w يسخن أكثر من المقاوم الآخر إذا زاد فرق الجهد بين طرفيهما باستمرار وذلك لأن بوصل المقاومين على التوازي يكون الهبوط في الجهد (فرق الجهد) هو نفسه لكل المقاومين وبما أن P=IV فإن شدة التيار المار في المقاوم الأول أقل منها في المقاوم الثاني حيث مقاومة الأول أكبر منها للثاني أيضاً، حيث P=V/I وإذا زودنا فرق الجهد بين طرفي المقاومين باستمرار فإن مقاومة المقاوم الأول وفق العلاقة السابقة ستكون أعلى من مقاومة الآخر، مما يعني أن موصلية الأول للتيار الكهربي أقل منها للمقاوم الآخر مما يعني أن احتمالية تصادم الإلكترونات الحرة مع ذرات المقاوم الأول أكبر منها للآخر(مقاومة شديدة) مما يعني أن سعة اهتزاز الذرات، وبالتالي درجة حرارة المقاوم الأول أكبر منها للمقاوم الآخر.

- تختلف توصيلات التوالي والتوازي في كيفية تأثيرها في دوائر الإضاءة. تخيل مصباحين كهربيين قدرة الأول 60w وقدرة الثاني 100w استخدما في دائرة إضاءة. تذكر أن سطوع إضاءة المصباح تتناسب طردياً مع القدرة المستنفذة وأن $P = I^2R$ عند وصل المصباحين على التوازي بجهد 120V يكون سطوع المصباح ذو القدرة 100wأكبر. وعند وصلهما على التوالي يكون التيار المار في كل منهما متساوياً.
ولان مقاومة المصباح الذي قدرته 60w أكبر من مقاومة المصباح الذي قدرته 100w لذا تكون القدرة المستنفذة فيه أكبر، أي أن سطوع المصباح الذي قدرته 60w سيكون أكبر.

حلول 1-4 مراجعة:

على التوالي	على التوازي
١. فرق الجهد بين طرفي أي مقاومة يختلف عنه للمقاومة الأخرى ويكون $V = VA + VB + VC + \cdots$	١. فرق الجهد V متساوي بين طرفي كل مقاومة.
٢. تزداد المقاومة الكلية للمجموعة $R = R1 + R2 + R3 + \cdots$	٢. تقل المقاومة الكلية للمجموعة: $\frac{1}{R} = \frac{1}{RA} + \frac{1}{RB} + \frac{1}{RC}$
٣. شدة التيار متساوية في جميع المقاومات.	٣. يتجزأ التيار في المقاومات.

16. بما أن التوصيل على التوازي :

$$I = IA + IB + IC + ID$$

$$I - 120mA + 250mA + 380mA + 2.1A = 2.85\ A$$

17. بما أن التوصيل على التوالي:

$$I = IA = IB = IC = ID$$

$$I = 810\ mA$$

18. .a مقدار التيار المار في السلك يساوي صفر وذلك لأن التيار المار من B إلى A يساوي مقداراً التيار المار من A إلى B ويعاكسه في الاتجاه فيلغي بعضهما البعض. فتكون محصلة التيار المار في السلك الواصل بين A,Bتساوي صفراً.

.b تقل شدة التيار في كل مقاوم وذلك لأن التيار المار في كل مقاوم يتوزع عند نقطتي التفرع A,B حيث توازي السلك الواصل بين النقطتين مع كل مقاوم في الدارة.

.c يقل التيار الخارج من البطارية ودليل ذلك قلة شدة التيار المار في كل مقاوم.

.d بما أن R=V/I ومنه V=IR وبما أن التيار المار في كل مقاوم يقل كما هو موضح بالفرع b ولأن R ثابتة القيمة ومتساوية لجميع المقاومات فإن فرق الجهد بين طرفي كل مقاوم يقل تباعاً لقلة التيار المار في كل مقاوم.

مسائل تدريبية

20. يتصل 11 مصباحًا كهربائيًّا معًا على التوالي، وتتصل المجموعة على التوالي بمصباحين كهربائيين يتصلان على التوازي. فإذا كانت المصابيح جميعها متماثلة، فأيها يكون سطوعه أكبر؟

يكون سطوع مجموعة المصابيح الكهربية المتصلة معاً على التوالي أكبر من سطوع المصباحين المتصلين معاً على التوازي لأن في التوالي لا ينقسم التيار ولا يتجزأ بين المصابيح على عكس التوازي الذي يتوزع فيه التيار بين المصباحين فيقل سطوعهما.

21. ماذا يحدث للدائرة الموصوفة في المسألة السابقة، إذا احترق أحد المصباحين المتصلين على التوازي؟

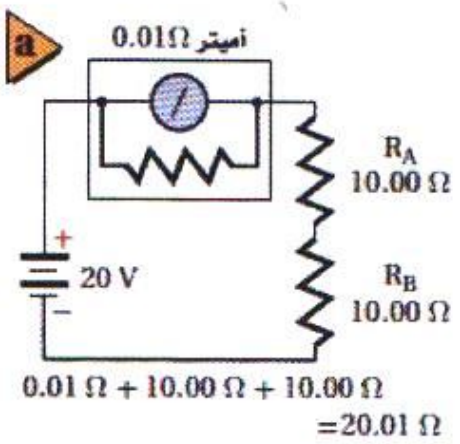
إذا احترق أحد المصباحين المتصلين على التوازي في المسألة السابقة فإن ذلك يزيد من سطوع المصباح الأخر ليكون متصلاً على التوالي مجموعة المصابيح الأخرى (الإحدى عشر المتصلة معاً على التوالي) وبنفس درجة السطوع وذلك لأن التيار لن يمر نهائياً في المصباح المحترق، (أي لن ينقسم بينه وبين المصباح الذي وازاه).

22. ماذا يحدث للدائرة الموصوفة في المسألة 20 إذا حدث دائرة قصر لأحد المصباحين المتصلين على التوازي؟

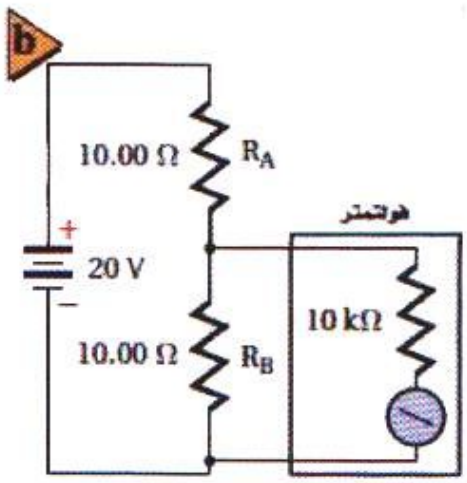
إذا حدث دائرة قصر لأحد المصباحين المتصلين على التوازي في المسألة 20 فإن ذلك سيؤدي إلى فتح الدائرة وعدم إنارة المصابيح.

- **الأميترات والفولتمترات:**

١. الأميتر عبارة عن جلفانومتر ذو ملف متحرك غير أن مداه محدود، ولزيادة مدى الجلفانومتر وجعله يقيس شدة التيارات الكبيرة (أي تحويله إلى أميتر) يوصل بملفه مقاومة صغيرة جداً على التوازي تسمى مجزئ التيار وتكمن فائدة المجزئ في جعل المقاومة الكلية للأميتر صغيرة حتى لا يؤثر في شدة التيار المراد قياسه بعد إدخال الأميتر في الدائرة على التوالي، ويجزئ التيار فيمر الجزء الأكبر منه في المجزئ و الجزء الأقل في ملف الجلفانومتر وبذلك يصبح الجهاز صالحاً لقياس شدة تيارات أكبر مما كان يتحملها الجلفانومتر بمفرده، وكلما قلت مقاومة مجزئ التيار في الأميتر كلما أمكن استخدامه لقياس تيارات كهربية شدتها أكبر.

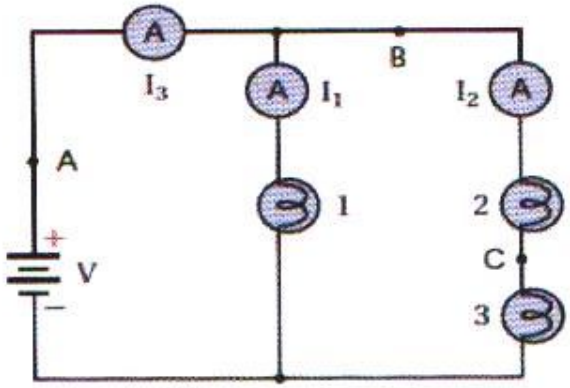


٢. الفولتميتر هو جهاز يستخدم لقياس فروق الجهد بين أي نقطتين في دائرة كهربية وكذلك قياس القوة الدافعة الكهربية لمصدر القدرة (بطارية) ويوصل الفولتميتر على التوازي بين طرفي الموصل المطلوب قياس فرق الجهد بين طرفيه، ويجب أن تكون مقاومة الفولتميتر كبيرة حتى لا يسحب تياراً كبيراً من الدائرة الأصلية فلا تتأثر شدة التيار في الدائرة الأصلية تأثراً كبيراً، وبالتالي لا يحدث تغيير في فرق الجهد المطلوب قياسه على التوالي بمقاومة كبيرة تسمى مضاعف الجهد أو مجزئ الجهد، حتى تصبح مقاومة الجهاز كبيرة جداً. وكلما زادت مقاومة مضاعف الجهد في الفولتميتر كلما أمكن استخدامه لقياس فروق جهد قيمتها أكبر.



حلول 2-4 مراجعة:

افترض أن جميع المصابيح في الدائرة الكهربائية متماثلة.



الشكل 13-4

23. **السطوع** قارن بين سطوع المصابيح.

سطوع المصابيح الكهربية متساو وذلك لأن I2=I1 حيث تماثل المصابيح لها نفس المقاومة كما أن I2 موحد (ثابت) في المصباحين المتصلين معا على التوالي (المصباحين 2,3)

24. **التيار** إذا كان $I_1=1.1\ A$ و $I_3=1.7\ A$ فما مقدار التيار المار في المصباح 2؟

$$I3 = I1 + I2$$

$$I2 = I3 - I1$$

$$= 1.7A - 1.1A = 0.6\ A$$

25. **دوائر التوالي الكهربائية** إذا فُصِل السلك عند النقطة C، ووُصِل مقاوم صغير على التوالي بالمصباحين 2 و3 فماذا يحدث لسطوع كل منهما؟

فصل السلك عند النقطة C يؤدي إلى أن يكون I2 المار في دائرة توالي المصباحين 3,2 والمقاوم المصغر مساويا صفر، ويكون I3=I1 وبالتالي تفقد المصابيح 3,2 سطوعها كليا (غير مضاءة).

26. **جهد البطارية** عند وصل فولتمتر بين طرفي المصباح 2 كانت قراءته 3.8 V، وعند وصل فولتمتر آخر بين طرفي المصباح 3 كانت قراءته 4.2 V. ما مقدار جهد البطارية؟

بما أن فرق الجهد للبطارية لا ينقسم عند نقطة تفرع التيار (التوازي) وينقسم عند التوالي فإن:

Vبطارية = V2 + V3 = 3.8V + 4.2V = 8V

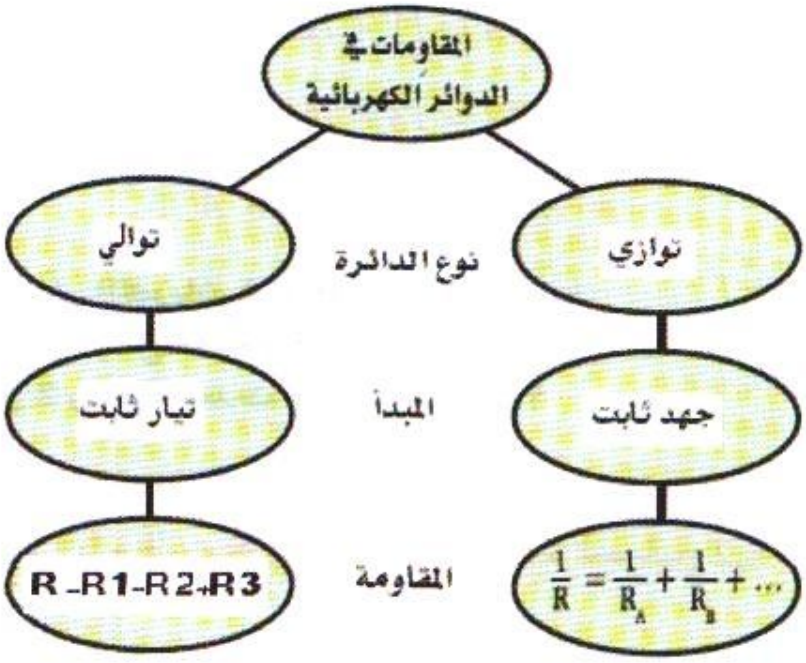
27. **الدوائر الكهربائية** بالرجوع إلى المعلومات الواردة في السؤال السابق، هل المصباحان 2 و3 متماثلان؟

المصباحين 3,2 غير متماثلان وذلك بسبب اختلاف مقاومتيهما باختلاف الجهد بين طرفيهما في حين أنه يمر فيهما نفس التيار حيث اتصالهما معاً على التوالي ويتضح ذلك من العلاقة V=IR فتتغير R بتغير V مع ثبات I (على التوالي).

28. **التفكير الناقد** هل هناك طريقة لجعل المصابيح الثلاثة في الشكل تُضيء بالشدة نفسها دون استخدام أيّ مقاوِمات إضافية؟ وضّح إجابتك.

يمكن جعل المصابيح الثلاثة في الشكل تضيء بالشدة نفسها دون الحاجة إلى استخدام أي مقاومات إضافية وذلك بوصل المصابيح الثلاثة معاً على التوالي في الدائرة الكهربية فيمر فيهم نفس التيار وبما أنهم يتماثلون (لهم نفس المقاومة) فإن فرق جهد البطارية (مصدر القدرة) يتجزأ بينهم بالتساوي أي لهم نفس القدرة وبالتالي نفس السطوع.

حلول التقويم:



30. لماذا يحدث استياء عندما يحترق فتيل أحد المصابيح الموصولة على التوالي في سلك الإضاءة المستخدم في المناسبات الاحتفالية؟

لأن احترق فتيل أحد المصابيح الموصولة على التوالي في سلك الإضاءة يؤدي إلى انطفاء بقية المصابيح في المناسبات الاحتفالية، حيث إن التيار هو نفسه المار في جميع المصابيح، فانقطاع التيار عن أحد المصابيح الموصولة معاً على التوالي يعني انقطاع التيار عن كافة بقية المصابيح

31. لماذا تقل المقاومة المكافئة في دائرة التوازي كلما أضيف المزيد من المقاومات؟

تقل المقاومة المكافئة في دائرة التوازي كلما أضيف المزيد من المقاومات وذلك بسبب انقسام التيار الرئيسي في الدارة بين المقاومات المتوازية فتقل المقاومة المكافئة وفق العلاقة:

كلما زادت قيمة ن كلما قلت قيمة المقاومة المكافئة.

32. إذا وصلت مجموعة مقاومات مختلفة في قيمها على التوازي، فكيف تُقارن قيمة كل منها بالمقاومة المكافئة للمجموعة؟

قيمة كل مقاومة في مجموعة المقاومات المختلفة الموصولة على التوازي تكون (أكبر) من قيمة المقاومة المكافئة لمجموعة المقاومات.

33. لماذا تكون تمديدات أسلاك الكهرباء في المنازل على التوازي، وليس على التوالي؟

وذلك لأن التوازي يعني انقسام التيار الكهربائي وتوزعه وبالتالي أي عطب في منطقة ما من البيت في الكهرباء ليس من شأنه أن يحدث أعطاباً كهربية أخرى أو انقطاع للتيار الكهربي في مناطق أخرى من البيت.

34. قارن بين مقدار التيار الداخل إلى نقطة تفرع في دائرة توازٍ ومقدار التيار الخارج منها (نقطة التفرع: نقطة تتصل بها ثلاثة موصلات أو أكثر).

مقدار التيار الداخل إلى نقطة تفرع يساوي مقدار التيار الخارج من نقطة تفرع في دائرة التوازي وهذا ما نص عليه وتوصل إليه العالم كيرشوف في قانونه الأول.

35. وضح كيف يعمل منصهر كهربائي على حماية دائرة كهربائية ما؟

المنصهر الكهربائي هو قطعة فلزية تنصهر عند مرور تيار كهربي كبير زائد عن حمل الدارة الكهربية فعندما يمر التيار الكبير في المنصهر ينصهر المنصهر مما يؤدي إلى قطع التيار عن الدارة وبالتالي حماية الدارة الكهربية من التلف.

36. ما المقصود بدائرة القصر؟ ولماذا تكون خطيرة؟

دائرة القصر وهي الدائرة التي يسري فيها تيار كبير جداً بسبب صغر قيمة المقاومة فمثلاً عند تلامس سلكان ذوا طبقة عازلة هشة وتالفة لهما فينتج عن ذلك مقاومة مقدارها 0.010أوم تقريباً. مما يؤدي إلى مرور تيار كهربي كبير جداً وفي حال عدم استعمال

منصهر أو قاطع في دارة القصر، فإن ذلك يؤدي إلى بدء اشتعال الحريق في الأسلاك أو قاطع في دارة الكهرباء، بالإضافة إلى أنه يشكل خطر على حياة الإنسان.

37. لماذا يُصمَّم الأميتر بحيث تكون مقاومته صغيرة جدًّا؟

حتى يتمكن من قياس شدة التيارات الكبيرة المارة في دائرة كهربية يتصل معها الأميتر على التوالي وذلك وفق العلاقة: I=V/R، حيث العلاقة العكسية بين التيار والمقاومة الكهربائيين.

38. لماذا يُصمَّم الفولتمتر بحيث تكون مقاومته كبيرة جدًّا؟

حتى لا يستنفذ من شدة التيار الرئيسي فيه ويمر جزء صغير من التيار الرئيسي في الفولتميتر الموصل على التوازي في الدارة بحيث لا يؤثر على قراءة الأميتر لشدة التيار الرئيسي المار في الدارة والذي ينقسم بين تيار صغير جداً وتيار كبير جدا يساوي تقريباً شدة التيار الرئيسي.

39. كيف تختلف طريقة توصيل الأميتر في دائرة كهربائية عن طريقة توصيل الفولتمتر في الدائرة نفسها؟

يوصل الأميتر في الدارة الكهربية على التوالي، وأما الفولتميتر فيوصل في الدارة على التوازي وذلك لان الأميتر يوصل التيار عبر الدارة كما يقيسه أيضاً، أما الفولتميتر إذا وصل على التوالي فإنه يسبب قطع التيار لذا يوصل على التوازي فهو أداة قياس فقط لفرق الجهد وليس أداة توصيل في الدارة على عكس الأميتر الذي هو أداة توصيل وقياس شدة التيار المار في الدارة.

40. تحتوي دائرة كهربائية على ثلاثة مصابيح كهربائية موصولة على التوالي. ماذا يحدث للتيار المار في مصباحين من هذه المصابيح إذا احترق فتيل المصباح الثالث؟

إذا احترق فتيل المصباح الثالث لا يمر التيار الكهربي في المصباحين الأخريين مما يؤدي إلى عدم إضاءتهما لأن التيار الكهربي المار في المصابيح الثلاثة هو نفسه لأن توصيل المصابيح على التوالي، فانقطاع التيار عن أحدهم يعني انقطاعه عن الآخرين.

41. افترض أن المقاوِم R_A في مجزئ الجهد الموضّح في الشكل 4-4 صُمِّم ليكون مقاوِمًا متغيّرًا، فماذا يحدث للجهد الناتج V_B في مجزئ الجهد إذا زاد مقدار المقاوِم المتغير؟

حسب العلاقة: $VB = \frac{VRB}{RA+RB}$

فإن زيادة RA يؤدي إلى نقصان VB

42. تحتوي الدائرة A على ثلاثة مقاوِمات مقدار كل منها 60 Ω موصولة على التوالي، أما الدائرة B فتحتوي على ثلاثة مقاوِمات مقدار كل منها 60 Ω موصولة على التوازي. كيف يتغير التيار المار في المقاوِم الثاني في كل دائرة منهما إذا قطع مفتاح كهربائي التيار عن المقاوِم الأول؟

إذا قطع التيار من المقاوم الأول في الدائرة A فهذا يجعل قيمة التيار المار في المقاوم الثاني في الدارة تساوي صفر، لأن التيار موحد القيمة في الثلاث مقاومات الموصولة على التوالي. وإذا قطع التيار عن المقاوم الأول في الدائرة B فهذا يجعل قيمة التيار المار في المقاوم الثاني في الدارة تزداد بمقدار نصف القيمة الأصلية للتيار في حال كان التيار غير مقطوع عن المقاوم الأول، حيث انقسام التيار الأصلي المار في الدارة الرئيسة بالتساوي بين أي مقاومات تتصل معاً على التوازي.

43. تحتوي دائرة كهربائية على ثلاثة مصابيح كهربائية موصولة على التوازي. ماذا يحدث للتيار المار في مصباحين من هذه المصابيح إذا احترق فتيل المصباح الثالث؟

تزداد شدة التيار المار في المصباحين الآخرين وتقوى شدة الإضاءة، لان التيار الأصلي المار في الدارة الرئيسة أصبح يتوزع بين مصباحين وليس بين ثلاثة مصابيح في حال احترق فتيل المصباح الثالث.

44. إذا توافر لديك بطارية جهدها 6 V وعدد من المصابيح جهد كلٍّ منها 1.5 V، فكيف تصل المصابيح بحيث تضيء، على ألا يزيد فرق الجهد بين طرفي كلٍّ منها على 1.5 V؟

أقوم بتوصيل أربعة مصابيح جهد المصباح الواحد 1.5V على التوالي بحيث يتوزع عليهم جهد البطارية بالتساوي.

45. مصباحان كهربائيان مقاومة أحدهما أكبر من مقاومة الآخر. أجب عمّا يلي:

a. إذا وصل المصباحان على التوازي فأيُّهما يكون سطوعه أكبر (أيْ أيُّهما يستنفد قدرة أكبر)؟

b. إذا وصِل المصباحان على التوالي فأيهما يكون سطوعه أكبر؟

a. يكون سطوع المصباح ذو المقاومة الأصغر أكبر ويستنفذ قدرة أكبر، وذلك لأن شدة التيار المار فيه أكبر من الثاني وحيث إن توصيل المصباحين على التوازي يعني عدم انقسام الجهد (ثابت لكلا المصباحين) وحسب العلاقة P=IV فتكون قدرة المصباح ذو المقاومة الأصغر(شدة التيار الأكبر) أكبر منها للمصباح الآخر.

b. في حال توصيل المصباحين على التوالي تكون شدة السطوع أكبر للمصباح ذو المقاومة الأكبر.

46. اكتب نوع الدائرة المستخدمة (توالٍ أم توازٍ) فيما يلي:

a. التيار متساوٍ في جميع أجزاء الدائرة الكهربائية. توالي

b. المقاومة المكافئة تساوي مجموع المقاومات المُفردة. توالي

c. الهبوط في الجهد عبر كل مقاوم في الدائرة الكهربائية متساوٍ. توازي

d. الهبوط في الجهد في الدائرة الكهربائية يتناسب طرديًا مع المقاومة. توالي

e. إضافة مقاوِم إلى الدائرة يُقلّل المقاومة المكافئة. توازي

f. إضافة مقاوِم إلى الدائرة يزيد المقاومة المكافئة. توالي

g. إذا أصبح مقدار التيار المار في أحد مقاوِمات دائرة كهربائية صفرًا، ولم يمر تيار في جميع المقاوِمات الأخرى الموجودة في الدائرة. توالي

h. إذا أصبح مقدار التيار المار في أحد مقاوِمات دائرة كهربائية صفرًا، ولم تتغيّر مقادير التيارات الكهربائية المارة في جميع المقاوِمات الأخرى الموجودة في الدائرة. توازي

i. هذا النوع من التوصيل مناسب لتمديدات الأسلاك في المنزل. توازي

47. منصهرات المنزل لماذا يكون خطيرًا استعمال منصهر 30 A بدلًا من المنصهر 15 A المستخدم في حماية دائرة المنزل؟

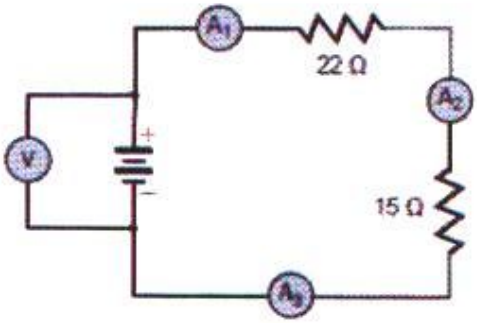
لأن أكبر تيار يتحمله المنصهر هو 15A فإن التيار 30A يكون أكبر من قدرة تحمل المنصهر الكهربائي مما يؤدي إلى صهره أو احتراقه ففتح الدائرة الكهربية.

48. احسب المقاومة المكافئة للمقاومات التالية: 680 Ω و 1.1 kΩ و 10 kΩ إذا وصلت على التوالي.

$$R = R1 + R2 + R3$$
$$= 680 + 1.1 \times 10^3 + 10 \times 10^3$$
$$= 11780\ \Omega$$

49. احسب المقاومة المكافئة للمقاومات التالية: 680 Ω و 1.1 kΩ و 10 kΩ إذا وصلت على التوازي.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}$$
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{68} + \frac{1}{1100} + \frac{1}{10000}$$
$$R = 403.2\ \Omega$$



50. إذا كانت قراءة الأميتر 1 الموضح في الشكل 14-4 تساوي 0.20 A، فما مقدار:

a. قراءة الأميتر 2؟

b. قراءة الأميتر 3؟

a. I = 0.20 A لأن التوصيل على التوالي

b. I = 0.20 A لان التوصيل على التوالي.

51. إذا احتوت دائرة توالٍ على هبوطين في الجهد 5.50 V و6.90 V فما مقدار جهد المصدر؟

$$V = V1 + V2$$
$$= 6.90V + 5.50V$$
$$= 12.4\ V$$

52. يمر تياران في دائرة توازٍ، فإذا كان تيار الفرع الأول 3.45 A وتيار الفرع الثاني 1.00 A فما مقدار التيار المار في مصدر الجهد؟

$$I = I1 + I\ 2$$
$$= 1A + 3.45\ A = 4.45A$$

53. إذا كانت قراءة الأميتر 1 في الشكل 14-4 تساوي 0.20 A فما مقدار:

a. المقاومة المكافئة للدائرة؟

$$R = R1 + R2$$
$$R = 22 + 15 = 37\ \Omega$$

b. جهد البطارية؟

$$V = V1 + V2$$
$$= IR1 + IR2$$
$$= (0.20A)(22\Omega) + (0.20A)(15\Omega$$
$$= 7.4\ V$$

c. القدرة المستنفدة في المقاوِم 22 Ω ؟

$$P = I^2\ R$$
$$= (0.20A)^2(22\Omega)$$
$$= 0.88\ W$$

d. القدرة الناتجة من البطارية؟

$$P = I\ V$$
$$= (0.20A)(7.4\ V)$$
$$= 1.48\ w$$

54. إذا كانت قراءة الأميتر 2 الموضّح في الشكل 4-14 تساوي 0.50 A فاحسب مقدار:

a. فرق الجهد بين طرفي المقاوِم 22 Ω؟

$$V1 = I\,R1 = (0.50A)(22\Omega) = 11\ V$$

b. فرق الجهد بين طرفي المقاوِم 15 Ω؟

$$V2 = I\,R2 = (0.50A)(15\Omega) = 7.5\ V$$

c. جهد البطارية؟

$$V = V1 + V2$$
$$11V + 7.5\,V$$
$$= 18.5\ V$$

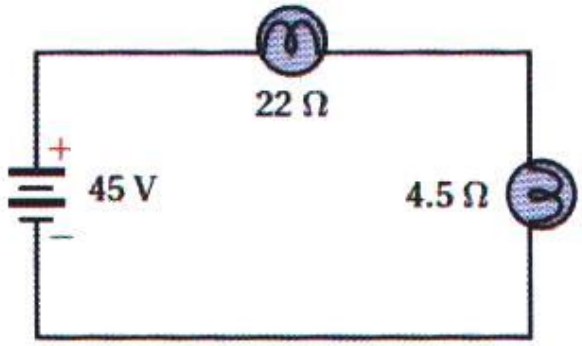
55. وصِل مصباحان مقاومة الأول 22 Ω ومقاومة الثاني 4.5 Ω على التوالي بمصدر فرق جهد مقداره 45 V، كما هو موضّح في الشكل 4-15. احسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة للدائرة.

b. التيار المار في الدائرة.

c. الهبوط في الجهد في كل مصباح.

d. القدرة المستهلكة في كل مصباح.



a. $R = R1 + R2 = 22 + 4.5 = 26.5\ \Omega$

b. $I = \frac{V}{R} = \frac{45V}{26.5\Omega} = 1.69\ A$

c. $V1 = IR1 = (1.69A)(22\Omega) = 37.3\ V$

$V2 = I\,R2 = (1.69A)(4.5\Omega) = 7.6\,V$

d. $P1 = I^2\,R1$

$= (1.69A)^2(22\Omega) = 62.83\ w$

$P2 = I^2\,R2$

$= (1.69A)^2(4.5\Omega) = 12.85\ w$

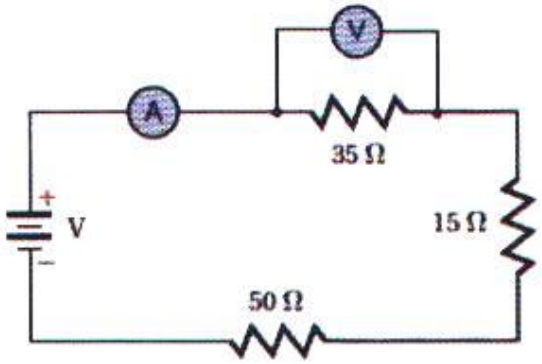
56. إذا كانت قراءة الفولتمتر الموضّح في الشكل 4-16 تساوي 70.0 V فأجب عن الأسئلة التالية:

a. ما مقدار قراءة الأميتر؟

b. أي المقاوِمات أسخن؟

c. أي المقاوِمات أبرد؟

d. ما مقدار القدرة المزوّدة بواسطة البطارية؟



$$R = R1 + R2 + R3$$

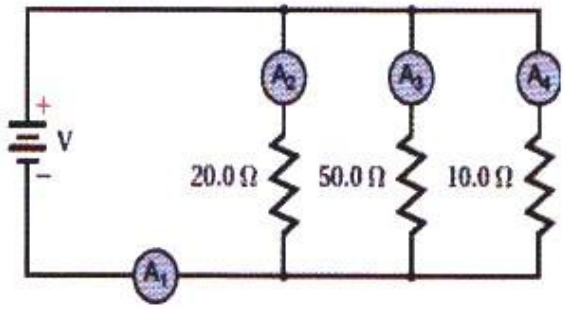
$$= 35 + 15 + 50 = 100\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{70V}{100\Omega} = 0.7\ A$$

b. المقاومة 50أوم هي أسخن المقاومات لأنها أعلاها مقاومة.

c. المقاومة 15أوم هي أبرد المقاومات لأنها أدناها مقاومة.

$$P = I\,V = (0.7A)(70V) = 49\ w$$ d.



57. إذا كان جهد البطارية الموضحة في الشكل 17-4 يساوي 110 V، فأجب عن الأسئلة التالية:

a. ما مقدار قراءة الأميتر 1؟

b. ما مقدار قراءة الأميتر 2؟

c. ما مقدار قراءة الأميتر 3؟

d. ما مقدار قراءة الأميتر 4؟

e. أي المقاوِمات أسخن؟

f. أي المقاوِمات أبرد؟

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{20} + \frac{1}{50} + \frac{1}{10}$$

$$R = 5.8\ \ \Omega$$

قراءة الأميتر 1 هي:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{110V}{5.8\Omega} = 18.9\ A$$

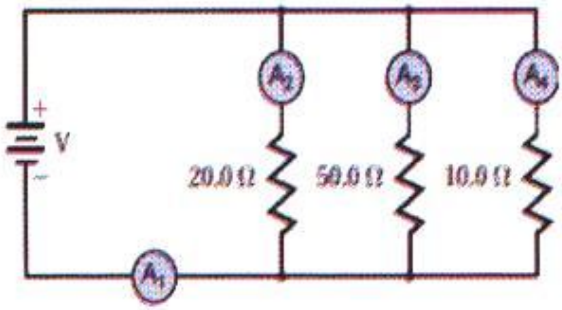
$$I2 = \frac{V}{R2} = \frac{110V}{20\Omega} = 5.5\ A$$

$$I3 = \frac{V}{R3} = \frac{110V}{50} = 2.2\ A$$

$$I4 = \frac{V}{R4} = \frac{110V}{10} = 11\ A$$

e. المقاومة 50أوم هي أسخن المقاومات لأنها أعلاها مقاومة.

f. المقاومة 10أوم هي أبرد المقاومات لأنها أدناها مقاومة.



58. إذا كانت قراءة الأميتر 3 الموضح في الشكل 17-4 تساوي 0.40 A فما مقدار:

a. جهد البطارية؟

b. قراءة الأميتر 1؟

c. قراءة الأميتر 2؟

d. قراءة الأميتر 4؟

a. $V = 110\ V$ لأن التوصيل على التوازي

b. $R3 = \frac{V}{I3} = \frac{110V}{0.40A} = 275\ \Omega$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4}$$

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{275} + \frac{1}{10}$$

$$R = 6.5\ \ \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{110V}{6.5} = 16.9\ A$$

c. $I2 = \frac{V}{R2} = \frac{110V}{20} = 5.5\ A$

d. $I4 = \frac{V}{R4} = \frac{110V}{10} = 11\ A$

59. ما اتجاه التيار الاصطلاحي المار في المقاوم 50.0Ω الموضّح في الشكل 17-4؟

60. إذا كان الحمل الموصول بطرفي بطارية يتكون من مقاومين 15 Ω و47 Ω موصولين على التوالي فما مقدار:

a. المقاومة الكلية للحمل؟

b. جهد البطارية إذا كان مقدار التيار المار في الدائرة 97 mA؟

$$R = R1 + R2$$
$$= 15 + 47 = 62\ \Omega$$

$$V = I\,R$$
$$= (97 \times 10^{-3} A)(62\Omega)$$
$$= 6.014\ V$$

61. أنوار الاحتفالات يتكون أحد اسلاك الزينة من 18 مصباحًا صغيرًا متماثلًا، موصولة على التوالي بمصدر جهد مقداره 120 V. فإذا كان السلك يستنفد قدرة مقدارها 64 W، فما مقدار:

a. المقاومة المكافئة لسلك المصابيح؟

b. مقاومة كل مصباح؟

c. القدرة المستنفدة في كل مصباح؟

$$P = IV$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{64w}{120v} \doteq 0.53\ A$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{120V}{0.53A} = 225\ \Omega$$

b. بما أن المصابيح متماثلة إذن مقاومة كل مصباح = $\frac{\text{المكافئة للمصابيح}}{\text{عدد}}$

$$= \frac{225}{18} = 12.5\ \Omega$$

c. لأن التوصيل على التوالي I ثابت لكل المصابيح

$$P = I^2 R$$

$$= (0.53A)^2(12.5\Omega) = 3.5\ w$$

62. إذا احترق فتيل أحد المصابيح في المسألة السابقة، وحدث فيه دائرة قصر، بحيث أصبحت مقاومته صفرًا فأجب عما يلي:

a. ما مقدار مقاومة السلك في هذه الحالة؟

b. احسب القدرة المستنفدة في السلك.

c. هل زادت القدرة المستنفدة أم نقصت بعد احتراق المصباح؟

للمصباح لواحد R المكافئة $-$ R المكافئة $* R$

$$= 225 - 12.5 = 212.5\ \Omega$$

المكافئة R $P = I^2$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120V}{212.5} = 0.56\ A$$

$$P = (0.56)^2(212.5) = 67.7\ w$$

لاحظ أن القدرة المستنفذة زادت بعد احتراق المصباح بمقدار : $(67.7w - 64w) = 3.7\ w$

63. وصِل مقاومان $16.0\ \Omega$ و$20.0\ \Omega$، على التوازي بمصدر جهد مقداره $40.0\ V$، احسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة لدائرة التوازي.

b. التيار الكلي المار في الدائرة.

c. التيار المار في المقاوِم $16.0\ \Omega$.

a. $\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{20} + \frac{1}{16}$$

$$R = 8.8\ \Omega$$

b. $I = \frac{V}{R} = \frac{40V}{8.8} = 4.5\ A$

c. $I = \frac{V}{R1} = \frac{40V}{16} = 2.5\ A$

64. صمّم فيصل مجزئ جهد باستخدام بطارية جهدها $12\ V$ ومقاوِمين. فإذا كان مقدار المقاوم R_B يساوي $82\ \Omega$، فكم يجب أن يكون مقدار المقاوِم R_A حتى يكون الجهد الناتج عبر المقاوِم R_B يساوى $4.0\ V$؟

بما أن مجزئ الجهد هو أحد التطبيقات على دائرة التوالي الكهربية:

$$VB = I\,RB$$

$$I = \frac{VB}{RB} = \frac{4V}{82} = 0.048A$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{12V}{0.048} = 246\ \Omega$$

$$R = RA + RB$$

$$RA = R - RB = 246 - 82$$

$$= 164\Omega$$

65. التلفاز يستهلك تلفاز قدرة تساوي 275 W عند وصله بقابس 120 V، فأجب عما يلي:

a. احسب مقاومة التلفاز.

b. إذا شكّل التلفاز وأسلاك توصيل مقاومتها 2.5 Ω ومنصهر كهربائي دائرةَ توالٍ تعمل بوصفها مجزّئ جهد، فاحسب الهبوط في الجهد عبر التلفاز.

c. إذا وصِل مجفّف شعر مقاومته 12 Ω بالقابس نفسه الذي يتصل به التلفاز، فاحسب المقاومة المكافئة للجهازين.

d. احسب الهبوط في الجهد عبر كل من التلفاز، ومجفّف الشعر.

$$P = IV$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{275w}{120V} = 2.29\ A$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{120V}{2.29A} = 52.36\ \Omega$$

$$V = I\,R = (2.29A)(52.36 + 2.5)$$

$$= 125.6\ V$$

حيث إن الجهازين يجب توصيلهما معا على التوالي :

$$R = 52.36 + 12 = 64.36\ \Omega$$

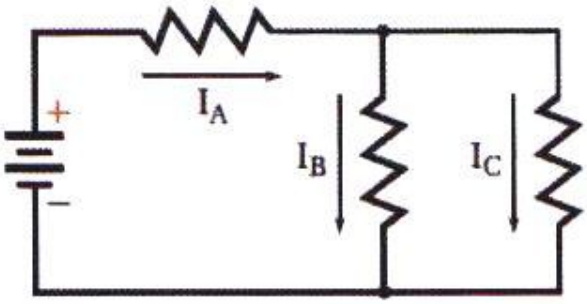
$$V_{\text{تلفاز}} = I\,R_{\text{تلفاز}}$$

$$= (2.29A)(52.36) = 119.9\ V$$

$$V_{\text{مجفف الشعر}} = I\,R_{\text{مجفف الشعر}}$$

$$= (2.29A)(12) = 27.48\ V$$

66. إذا كان مقدار كل مقاوم من المقاوِمات الموضّحة في الشكل يساوي 30 Ω فاحسب المقاومة المكافئة.



$$\frac{1}{R1} = \frac{1}{RB} + \frac{1}{RC} = \frac{1}{30} + \frac{1}{30}$$

$$R1 = 15\ \Omega$$

$$R2 = R1 + RA = 15 + 30 = 45\ \Omega$$

67. إذا كان كل مقاوِم يستنفد 120 mW، فاحسب القدرة الكلية المستنفدة.

$$P = I^2\,R$$

$$120 \times 10^{-3}\ w = I^2\ (30\Omega)$$

$$I = 0.06\ A$$

$$R_{\text{الكلية}} = I^2\,R2$$

$$= (0.06)^2(45\Omega) = 0.18\ w$$

68. إذا كان $I_A = 13\ mA$ و $I_B = 1.7\ mA$ فما مقدار I_C؟

$$IA = IB + IC$$

$$IC = IA - IB = 13mA - 1.7mA$$

$$= 11.3\ mA$$

69. بافتراض أن $I_C = 1.7\ mA$ و $I_B = 13\ mA$، فما مقدار I_A؟

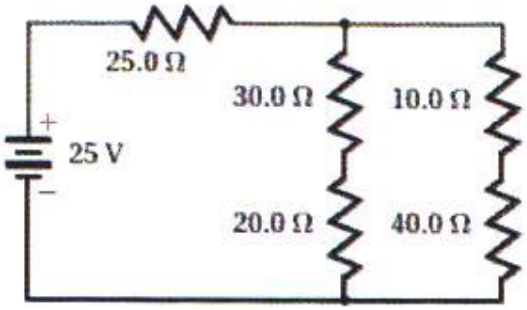
$$IA = IB + IC$$
$$= 13\ mA + 1.7mA$$
$$= 14.7\ mA$$

70. بالرجوع إلى الشكل **19–4** أجب عما يلي:

a. ما مقدار المقاومة المكافئة؟

b. احسب مقدار التيار المار في المقاوِم 25 Ω؟

c. أي المقاوِمات يكون أسخن، وأيها يكون أبرد؟



المقاومات 10أوم و 40 أوم على التوالي

$R1 = 10 + 40 = 50\ \Omega$

المقاومات 30 و 20 على التوالي

$R2 = 20 + 30 = 50\ \Omega$

المقاومات R1و R2 على التوازي

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} = \frac{1}{50} + \frac{1}{50}$$

$$R = 25\ \Omega$$

المقاومة R والمقاومة 25 أوم على التوالي

$R = 25 + R$ المكافئة

$= 25\ \Omega + 25\Omega = 50\ \Omega$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{25V}{25\Omega} = 1\ A$$

المقاومة 25 أوم هي أسخن المقاومات وذلك لأن فرق الجهد بين طرفيهما هو الأكبر من بين المقاومات $V = IR = (1A)(25\Omega) = 25\ V$

وأبردها هي المقاومة 10أوم وذلك لان فرق الجهد بين طرفيها هو الأقل من بين المقاومات $V = IR = (0.5A)(10\Omega) = 5V$

علما بان التيار 1 أمبير المار في الدائرة الرئيسية يتوزع بالتساوي عند نقطة تفرع التيار (انقسام التيار).

71. تتكوّن دائرة كهربائية من ستة مصابيح ومدفأة كهربائية موصولة جميعها على التوازي. فإذا كانت قدرة كلّ مصباح 60 W ومقاومته 240 Ω، ومقاومة المدفأة 10.0 Ω، وفرق الجهد في الدائرة 120 V فاحسب مقدار التيار المار في الدائرة في الحالات التالية:

a. أربعة مصابيح فقط مضاءة.

b. جميع المصابيح مضاءة.

c. المصابيح الستة والمدفأة جميعها تعمل.

للمصباح الواحد:

$$P = I^2 R$$
$$90\ w = I^2\ (240\Omega)$$
$$I^2 = \frac{60}{240} = 0.25$$
$$I = 0.5\ A$$

وبالتالي I لأربع مصابيح مضاءة = 4x0.5 = 2 A

لستة مصابيح مضاءة = I = 6x0.5 = 3 A

في حال جميع المصابيح مضاءة فإن I الناتج عن ستة مصابيح

= 6 x I = 6 x 0.5 = 3A

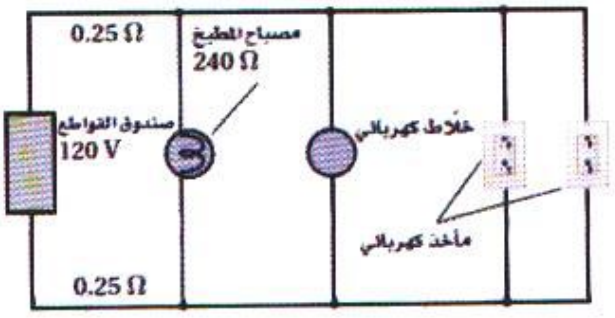
وبالتالي التيار المار في الدائرة يساوي مجموع التيارات المارة في الستة مصابيح والتيار المار في المدفأة أي أن:

I = 3A + 12A = 15A

72. إذا احتوت الدائرة الكهربائية في المسألة السابقة على منصهر كهربائي كُتِبَ عليه 12 A فهل ينصهر هذا المنصهر إذا شُغّلت المصابيح الستة والمدفأة؟

بما أن المنصهر يوصل على التوالي في الدارة وبما أن التيار المار في الدارة قدره 15A وهو أكبر من قدرة تحمل المنصهر 12A وبالتالي فإن المنصهر سينصهر ويؤدي إلى فتح الدارة (قطع التيار).

75. دائرة كهربائية منزلية يوضّح الشكل 20-4 دائرة كهربائية منزلية، حيث مقاومة كلّ سلك من السلكين الواصلين إلى مصباح المطبخ 0.25 Ω، ومقاومة المصباح 0.24 kΩ. على الرغم من أن الدائرة هي دائرة توازٍ إلا أن مقاومة الأسلاك تتصل على التوالي بجميع عناصر الدائرة. أجب عما يلي:



a. احسب المقاومة المكافئة للدائرة المتكونة من المصباح وخطّي النقل من المصباح وإليه.

b. أوجد التيار المار في المصباح.

c. أوجد القدرة المستنفدة في المصباح.

$$W = R1 + R2 + R3 \quad .a$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120V}{240.50} = 0.49\ A \quad .b$$

$$P = IV = (0.49A)(120V) = 59.8\ w \quad .c$$

76. إذا وُجِد هبوطان في الجهد في دائرة توالٍ كهربائية مقدارهما: 3.50 V و4.90 V فما مقدار جهد المصدر؟

$$P = I^2R$$

$$I^2 = \frac{P}{R}$$

$$I = \frac{5w}{150\Omega} = 0.03\ A$$

وهو التيار المار في دارة التوالي

$$R = R1 + R2 + R3$$

$$= 150 + 150 + 150 = 450\ \Omega$$

$$P = I^2R = (0.03A)^2(450\Omega)$$

$$= 0.405\ w$$

79. وصِلت ثلاثة مقاوِمات مقدار كل منها 92 Ω على التوازي. فإذا كانت قدرة كل منها 5 W، فاحسب القيمة العظمى للقدرة الآمنة التي يمكن الحصول عليها.

$$P = I^2R$$

$$I^2 = \frac{P}{R} = \frac{5w}{92\Omega} = 0.05\ A$$

ولان التوصيل على التوازي:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}$$

$$= \frac{1}{92} + \frac{1}{92} + \frac{1}{92}$$

$$R = 30.6\ \Omega$$

$$I = I1 + I2 + I3$$

$$= (0.05A) + (0.05A) +)0.05A)$$

$$= 0.15\ A$$

$$P = I^2R$$

$$= (0.15A)^2(30.6\Omega) = 0.68\ w$$

80. احسب القيمة العظمى للجهد الآمن الذي يمكن تطبيقه على المقاوِمات الثلاثة الموصولة على التوالي، والموضّحة في الشكل **21–4**، إذا كانت قدرة كلٍ منها **5.0 W**

القيمة العظمى للجهد الآمن تتحقق عند أعلى مقاومة بمعنى عند أقل قيمة ممكنة للتيار:

$$P = I^2R$$

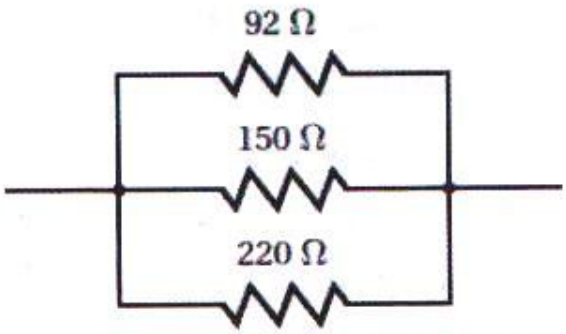
$$I^2 = \frac{P}{R} = \frac{5w}{92} \ldots\ldots\ldots I = 0.15\ A$$

$$V = I\ R = (0.15A)(220\Omega) = 33\ V$$

81. احسب القيمة العظمى للقدرة الآمنة في الدائرة الموضّحة في المسألة السابقة.

$$P = I\ V = (0.15A)(33V) = 4.95\ w$$

82. احسب القيمة العظمى للجهد الآمن الذي يمكن تطبيقه على المقاومات الثلاثة الموصولة على التوازي، والموضحة في الشكل **22-4** إذا كانت قدرة كلٍ منها 5.0 W



القيمة العظمى للجهد الآمن تكون عند أقل مقاومة (المقاومة المكافئة) حيث أعلى تيار

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} = \frac{1}{92} + \frac{1}{150} + \frac{1}{220}$$

$$R = 45.28\ \Omega$$

$$V^2 = P\ R = (5w)(45\Omega) = 226$$

$$V = 15\ V$$

83. تطبيق الرياضيات اشتق علاقة لحساب المقاومة المكافئة في كل من الحالات التالية:

a. مقاومان مقدارهما متساويان موصولان معًا على التوازي.

b. ثلاثة مقاومات مقاديرها متساوية موصولة معًا على التوازي.

c. عدد N من مقاومات مقاديرها متساوية موصولة معًا على التوازي.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}$$

حيث R1 = R2 = R

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{2}{R}$$

$$R_{\text{مكافئة}} = \frac{R}{2}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}$$

حيث R1=R2=R3 = R فإن:

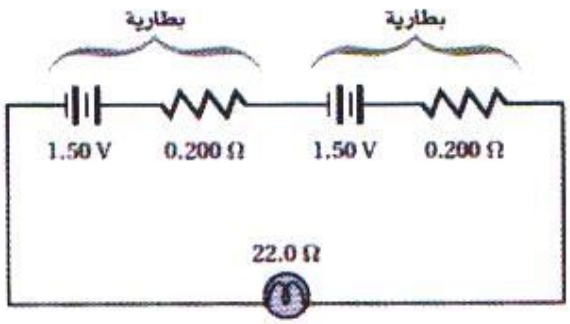
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{R}$$

$$R_{\text{مكافئة}} = \frac{R}{3}$$

من فرعي a,b نتوصل إلى أن:

$$R_{\text{مكافئ}} = \frac{R}{N}$$

86. تطبيق المفاهيم تتكوّن بطارية من مصدر فرق جهد مثالي يتصل بمقاومة صغيرة على التوالي. تنتج الطاقة الكهربائية للبطارية عن التفاعلات الكيميائية التي تحدث فيها، وينتج أيضًا عن هذه التفاعلات مقاومة صغيرة لا يمكن إلغاؤها بالكامل أو تجاهلها. فإذا علمت أن مصباحًا كهربائيًا يدويًا يحتوي على بطاريتين موصولتين على التوالي كما هو موضّح في الشكل **24-4**، وفرق جهد كلٍّ منهما يساوي **1.50 V**، ومقاومتها الداخلية **0.200 Ω**، ومقاومة المصباح **22.0 Ω**، فأجب عمّا يلي:



a. ما مقدار التيار المار في المصباح؟

b. ما مقدار القدرة المستنفدة في المصباح؟

c. إذا أُهملت المقاومة الداخلية للبطاريتين فما مقدار الزيادة في القدرة المستنفدة؟

a. بما أن التوصيل على التوالي:

$$V = V1 + V2 = 1.5\,V + 1.5\,V = 3\,V$$

$$R = R1 + R2 + R3 = 0.200 + 0.200 + 22 = 22.400\Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{3V}{22.400} = 0.133\ A$$

b. $$P = I\,V = (0.133A)(3V) = 0.40\ w$$

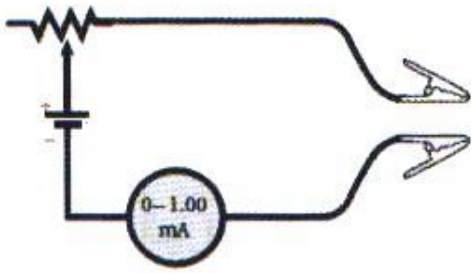
c. $$R = 22\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{3V}{22\Omega} = 0.136\ A$$

$$P = I\,V = (0.136A)(3V) = 0.40\ w$$

إذن مقدار الزيادة في القدرة المستنفذة عما هو الحال في فرع b يكاد لا يذكر أي أنه يساوي صفر تقريبا، ويعزى ذلك إلى أن تأثير المقاومتان الداخليتان ضعيف جدا في الدارة.

87. تطبيق المفاهيم صُنع أوميتر بتوصيل بطارية جهدها 6V على التوالي بمقاوِم متغير وأميتر مثالي، كما هو موضّح في الشكل 25-4، بحيث ينحرف مؤشر الأميتر إلى أقصى تدريج عندما يمر فيه تيار مقداره 1.0 mA. فإذا وصِل المِشبكان الموضّحان في الشكل معًا، وضُبطت المقاومة المتغيرة بحيث يمر تيار مقداره 1.0 mA، فأجب عمّا يلي:



a. ما مقدار المقاومة المتغيرة؟

b. إذا وصِل المشبكان الموضحان في الشكل أدناه بمقاومة مجهولة فما مقدار المقاومة التي تجعل قراءة الأميتر تساوي:

1. 0.5 mA؟
2. 0.25 mA؟
3. 0.75 mA؟

c. هل تدريج الأوميتر خطي؟ وضّح إجابتك.

a. $R = \frac{V}{I} = \frac{6V}{1\times10^{-3}A} = 6000\ \Omega$

b. $R = \frac{V}{I} = \frac{6V}{0.5\times10^{-3}A} = 12000\ \Omega$ ..... (1)

$R = \frac{V}{I} = \frac{6V}{0.25\times10^{-3}A} = 24000\Omega$ ..... (2)

$R = \frac{V}{I} = \frac{6V}{0.75\times10^{-3}A} = 8000\ \Omega$ .....(3)

c. تدريج الأوميتر غير خطي وذلك لأن R غير ثابتة القيمة إذ تختلف باختلاف شدة التيار المار.

89. إذا كانت شدة المجال الكهربائي على بُعد d من شحنة نقطية Q يساوي E، فماذا يحدث لمقدار المجال الكهربائي في الحالات التالية:

a. مضاعفة d ثلاث مرات.

b. مضاعفة Q ثلاث مرات.

c. مضاعفة كلٍّ من d و Q ثلاث مرات.

d. مضاعفة شحنة الاختبار q' ثلاث مرات

e. مضاعفة كلٍّ من q' و d، و Q ثلاث مرات.

بما أن: $E = k\ \frac{Q}{d^2}$

فإذا تضاعفت d ثلاث مرات تصبح:

$$E = k\ \frac{Q}{(3d)^2} = \frac{kQ}{g\ d^2} = \frac{1}{9}\ E$$

$$E = k\ \frac{3Q}{d^2} = \frac{3kQ}{d^2} = 3\ E$$

$$E = \frac{k\ 3Q}{(3d)^2} = \frac{3kQ}{9d^2} = \frac{1}{6}E$$

$$E = \frac{kQ}{d^2} = E$$

حيث E لا تعتمد على q' (شحنة الاختبار)

مهما تضاعفت.

$$E = \frac{k\,3Q}{(3d)^2} = \frac{3kQ}{9d^2} = \frac{1}{6}\frac{kQ}{d^2} = \frac{1}{6}E$$

حيث E لا تعتمد على 'q مهما تضاعفت.

90. إذا نقص التيار المار في دائرة كهربائية فرق الجهد فيها 12 V من 0.55 A إلى 0.44 A، فاحسب مقدار التغير في المقاومة.

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

$$\Delta R = \frac{12V}{(0.55A - 0.44A)}$$

$$= 109.09\ \Omega$$

حلول اختبار مقنن:

١. C
٢. D
٣. B
٤. D
٥. C
٦. C
٧. D
٨. D
٩. التوصيل على التوالي في الحفلات الليلية في حالة عدم الإضاءة.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{12V}{0.35A} = 34.2\ \Omega$$

$$R\text{لكل مصباح} = \frac{R\text{المكافئة}}{\text{عدد المصابيح}} = \frac{34.2}{15} = 2.28\ \Omega$$

في حالة الإضاءة:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{12V}{0.50A} = 24\ \Omega$$

$$R\text{لكل مصباح} = \frac{R\text{المكافئة}}{\text{عدد المصابيح}} = \frac{24}{15} = 1.6\ \Omega$$

$$\Delta R = 34.2 - 24 = 10.2\ \Omega$$

$$\text{عدد المصابيح الواجب اطفاؤها} = \frac{\Delta R\text{المكافئة}}{R\text{لكل مصباح غير مضئ}} = \frac{10.2}{2.28} = 4.47$$

= 5 مصابيح

١٠. $R = R1 + R2 + R3$

$$= 4 + 8 + 13 = 25\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{8V}{25} = 0.32\ A$$

$$P = I\,V = (0.32A)(8v) = 2.56\ w$$

الفصل الخامس

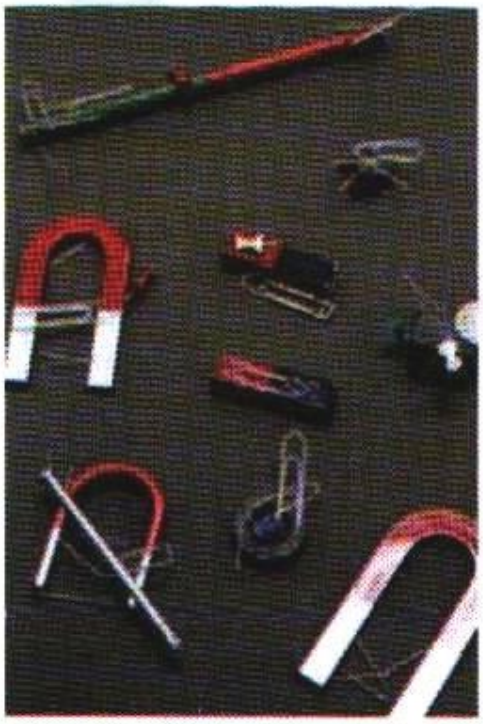
المغانط

المغانط الدائمة والموقتة

عرفت المغانط (المفرد مغناطيس) والمجالات المغناطيسية (المنطقة المحيطة بالمغناطيس منذ أكثر من 2000 سنة مضت. كما استخدم البحارة الصينيون المغانط في صورة بوصلات ملاحية قبل 900 سنة تقريباً، ولقد درس العلماء منذ القدم وفي أنحاء متنوعة من العالم كافة الصخور المغناطيسية المعروفة باسم المغانط.

وتتجلى أهمية المغانط بشكل كبير في حياتنا اليومية. فعلى سبيل المثال: هناك المولدات الكهربية والمحركات الكهربية البسيطة، وأجهزة التلفاز وأجهزة العرض التي تعمل بوساطة الأشعة المهبطية، وأشرطة التسجيل ومشغلات الأقراص الصلبة الموجودة داخل أجهزة الحاسوب جميعها تعتمد على الآثار المغناطيسية للتيارات الكهربية.

ويمكن ملاحظة بعض الآثار المغناطيسية إذا ما استخدمت البوصلة يوماً ما، أو التقطت الدبابيس أو مشابك الورق بالمغناطيس، ولربما تكون قد صنعت مغناطيساً كهربياً وذلك بلف سلك معزول حول مسمار ثم وصلت طرفي السلك ببطارية.



• الخصائص العامة للمغانط:

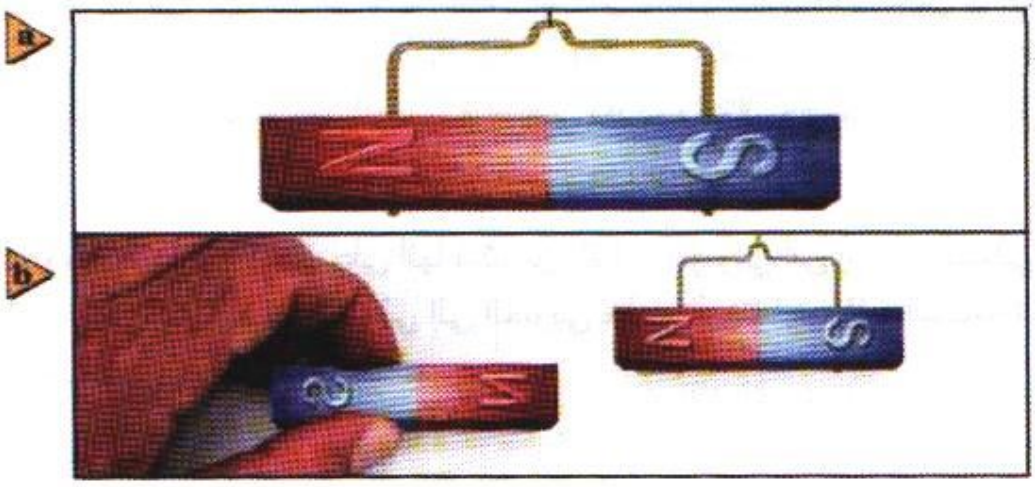
علّق مغناطيسًا بخيط، كما هو موضّح في الشكل **2a–5**. إذا استخدمت قضيبًا مغناطيـ فعليـك تعليقه بسـلك معقـوف الطرفـين لتجعله أفقيًـا. عندمـا يسـتقر المغناطيس يتخ اتجاهًا معينًا. حرّك المغناطيس بحيث يشـير إلى اتجاه مختلف ثم اتركه. هل اسـتقر القضيـ المغناطيسي عند الاتجاه الأول نفسه؟ إذا حدث كذلك فإلى أي اتجاه يشير؟

سـتجد أن القضيب المغناطيسي قد اسـتقر في اتجاه شـمال – جنوب. اكتـب الحرف N ء الطـرف الذي يشـير إلى اتجاه الشـمال بوصفه مرجعًـا. يمكنك أن تسـتنتج من خلال ه التجربة البسيطة أن المغناطيس مستقطب، أي له قطبان متميزان متعاكسان، أحدهما القط الباحـث عن الشـمال، ويسـمى القطب الشـمالي. والآخر القطـب الباحث عـن الجنوب ويسمى القطب الجنوبي. والبوصلة ليست أكثر من مغناطيس صغير حر الدوران.

علق مغناطيسًـا آخر بالطريقة نفسـها، وحدد القطب الشـمالي له كما فعلـت مع المغناطيـ الأول. ولاحـظ تفاعـل المغناطيسـين؛ وذلك بتقريـب أحدهما إلى الآخـر، كما هو موض في الشـكل **2b–5**. ماذا يحدث عند تقريب القطبين الشـماليين أحدهمـا إلى الآخر؟ حاو ذلـك مع الأقطاب الجنوبيـة. وأخيرًا ماذا يحدث عند تقريب القطبين المختلفين أحدهما إ الآخر؟

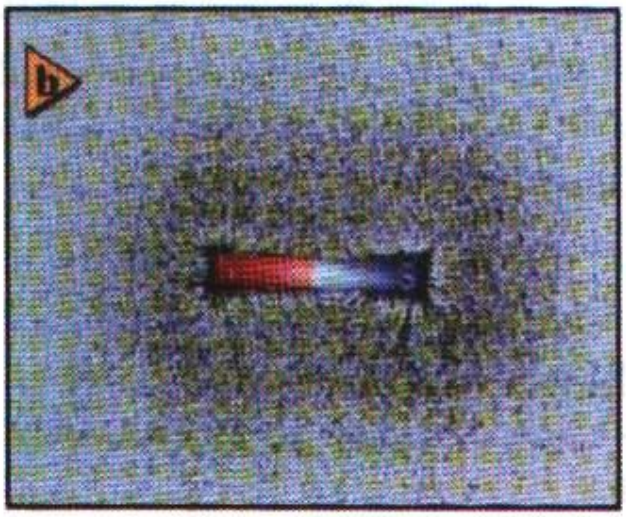
لعلـك لاحظـت أن القطبـين الشـماليين يتنافـران وكذلـك الجنوبيـان. ولعلـك لاحظت كذلـك أن القطب الجنوبي لأحدهما انجذب نحو القطب الشـمالي للآخر. أي أن الأقطاب المتشـابهة تتنافر والأقطاب المختلفة تتجاذب. ولجميع المغانط قطبان مختلفان. وإذا قسمت المغناطيـس إلى نصفين فسـينتج مغناطيسـان جديدان أصغر منه، كل منهـما له قطبان. وقد حـاول العلماء كسر المغناطيـس ليفصلوا القطبين أحدهما عن الآخـر للحصول على قطب مغناطيسي منفرد، إلا أن أحدًا لم ينجح في ذلك حتى على المستوى المجهري.

وإذا علمنا أن المغانط تتجه دائمًا في اتجاه شمال – جنوب فسوف يظهر لنا أن الأرض نفسها مغناطيـس عمـلاق. ولأن الأقطاب المغناطيسـية المختلفة تتجـاذب، والقطب المغناطيسي الشـمالي لإبرة البوصلة يشـير نحو الشـمال، لذا يجب أن يكون القطـب المغناطيسي الجنوبي للأرض بالقرب من القطب الشمالي الجغرافي لها.



- **المجالات المغناطيسية حول المغانط الدائمة:**

درست سابقاً مفهوما المجال الكهربي ومجال الجاذبية الأرضية، وهناك مفهوم مشابه في المغناطيسية هو المجال المغناطيسي، فللمغناطيس منطقة تحيط به يجذب فيها المواد المغناطيسية، ويتبادل فيها التنافر أو التجاذب مع المغانط الأخرى، وتسمى هذه المنطقة المجال المغناطيسي للمغناطيس.



لعلك تلاحظ من الشكل أعلاه الذي يمثل كيف ترتبت برادة الحديد عند نثرها بالقرب من مغناطيس على شكل قطعة مستقيمة أن برادة الحديد قد انتظمت في نمط محدد وأن تجمعها أكبر عند القطبين ويقل كلما ابتعدنا عنهما. على ماذا يدل ذلك؟

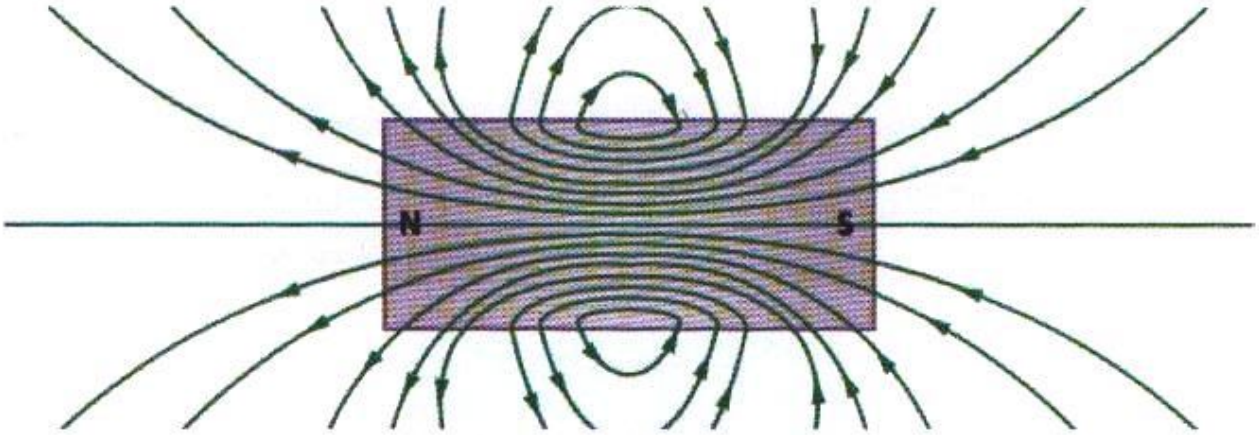
إن برادة الحديد قد تأثرت بقوة مغناطيسية مصدرها المغناطيس وتؤثر هذه القوة في المنطقة المحيطة بالمغناطيس ويكون مقدار هذه القوة أكبر قرب قطبي المغناطيس، ويعبر عن المجال المغناطيسي عند نقطة ما بشدة المجال المغناطيسي عند تلك النقطة، ويقل كلما ابتعدنا عنها، ويقاس المجال المغناطيسي بوحدة تسلا، ويكون للمجال المغناطيسي مقدار واتجاه محددان عند كل نقطة في المنطقة المحيطة بالمغناطيس (أي أن المجال المغناطيسي كمية فيزيائية متجهة تتحدد بمقدار واتجاه). وإن الخطوط التي انتظمت فيها برادة الحديد في الشكل أعلاه تمثل خطوط المجال المغناطيسي وتمتد بين قطبي المغناطيس الجنوبي والشمالي وتبين الاتجاه التي يؤثر فيه القوة المغناطيسية على برادة الحديد.

وتعرف خطوط المجال المغناطيسي بأنها المسارات التي يسلكها قطب مغناطيسي شمالي افتراضي (مفرد) موضوع في المجال المغناطيسي بشكل حر، حيث إن الأقطاب المغناطيسية تظهر دائماً بشكل أزواج فلا وجود لقطب مغناطيسي مفرد، وتمتاز خطوط المجال المغناطيسي بما يلي:

أ. خطوط وهمية تم الاتفاق على أنها تمتد من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي داخل المغناطيس ومن القطب الشمالي إلى الجنوبي خارج المغناطيس (في المنطقة المحيطة بالمغناطيس).

ب. اتجاه المماس لخط المجال المغناطيسي عند نقطة ما يدل على اتجاه شدة المجال المغناطيسي عند تلك النقطة، حيث يعرف اتجاه المجال المغناطيسي بالاتجاه الذي يتجه إليه قطب إبرة البوصلة الشمالي.

ج. عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تخترق وحدة المساحة العمودية عليها الذي يعرف بالتدفق المغناطيسي يتناسب تناسباً طردياً مع شدة المجال المغناطيسي، إذن تكون شدة المجال المغناطيسي أكبر في المنطقة التي تكون فيها خطوط المجال المغناطيسي متقاربة أكثر كما يبين الشكل الآتي:



د. خطوط المجال المغناطيسي لا تتقاطع ، لأن تقاطع خطوط المجال المغناطيسي عند نقطة ما يعني أن للمجال عند هذه النقطة أكثر من اتجاه وهذا مستحيل (أو أن للإبرة المغناطيسية عند هذه النقطة أكثر من اتجاه عند هذه النقطة وهذا مستحيل أيضاً).

و. خطوط المجال المغناطيسي تكون مقفلة وذلك لعدم وجود قطب مغناطيسي مفرد.

وتؤثر المجالات المغناطيسية لمغانط معينة بقوى مغناطيسية في مغانط أخرى، فالمجال المغناطيسي الناتج عن القطب الشمالي لمغناطيس يدفع القطب الشمالي لمغناطيس آخر بعيداً في اتجاه خط المجال، والقوى الناتجة عن المجال نفسه والمؤثرة في قطب جنوبي لمغناطيس آخر تجذبه في عكس اتجاه خطوط المجال، وفي الوقت نفسه فإن المغناطيس الثاني يحاول ان يصطف ويترتب مع المجال، كما في إبرة البوصلة.

فعندما توضع عينة مصنوعة من الحديد والكوبلت أو النيكل في المجال المغناطيسي لمغناطيس دائم تصبح خطوط المجال مركزة أكثر خلال هذه العينة وستخرج الخطوط من القطب الشمالي للمغناطيس وتدخل أحد طرفي العينة وتمر خلالها ثم تخرج من الطرف الآخر للعينة ولذلك يكون طرف العينة القريب من القطب الشمالي للمغناطيس قطباً جنوبياً فتنجذب العينة نحو المغناطيس.

حلول مسائل تدريبية

1. إذا حملت قضيبين مغناطيسيين على راحتي يديك، ثم قربت يديك إحداهما إلى الأخرى فهل ستكون القوة تنافرًا أم تجاذبًا في كل من الحالتين الآتيتين:
   a. تقريب القطبين الشماليين أحدهما إلى الآخر.
   b. تقريب القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي.

a. قوة تنافر بسبب تماثل الأقطاب b. قوة تجاذب بسبب اختلاف الأقطاب

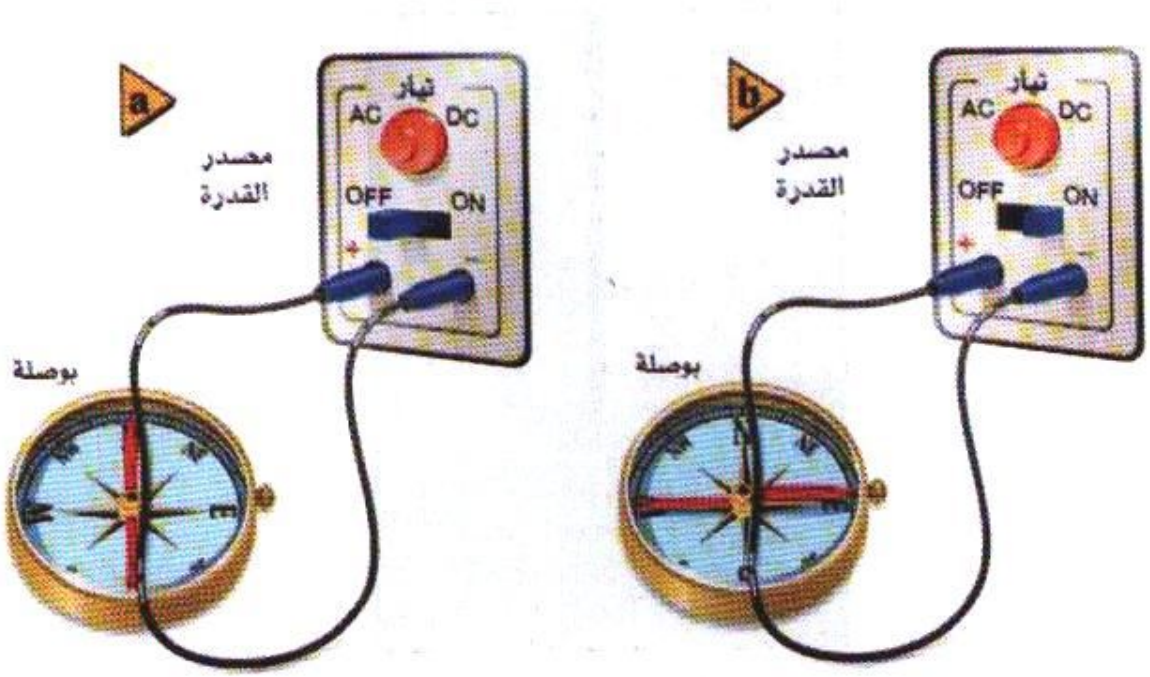
2. يبين الشكل 7-5 خمسة مغانط في صورة أقراص مثقوبة بعضها فوق بعض. فإذا كان القطب الشمالي للقرص العلوي متجهًا إلى أعلى فما نوع القطب الذي سيكون نحو الأعلى للمغانط الأخرى؟

سيكون نوع القطب المتجه نحو الأعلى للمغانط الأخرى قطباً شمالياً، حيث تجاذب لأقراص وترتيبها فوق بعضها البعض.

3. يجذب مغناطيس مسمارًا، ويجذب المسمار بدوره قطعًا صغيرة، كما هو موضح في الشكل 3-5. فإذا كان القطب الشمالي للمغناطيس الدائم عن اليسار كما هو موضح فأي طرفي المسمار يمثل قطبًا جنوبيًا؟

يمثل طرف المسمار عن اليمين القطب الجنوبي للمسمار وذلك لأن المغناطيس يجذب المسمار.

الكهرومغناطيسية



تمكن العالم الفيزيائي الدنماركي هانز كريستيان أورستد عام 1820 من التعرف على الأثر المغناطيسي للتيار الكهربي، من خلال تجربة سميت باسمه.

- **تجربة أورستد:**

المواد والأدوات: سلك سميك طويل معزول، وبوصلة، وبطارية 6 فولتات، أو جهاز أورستد، مفتاح كهربائي.

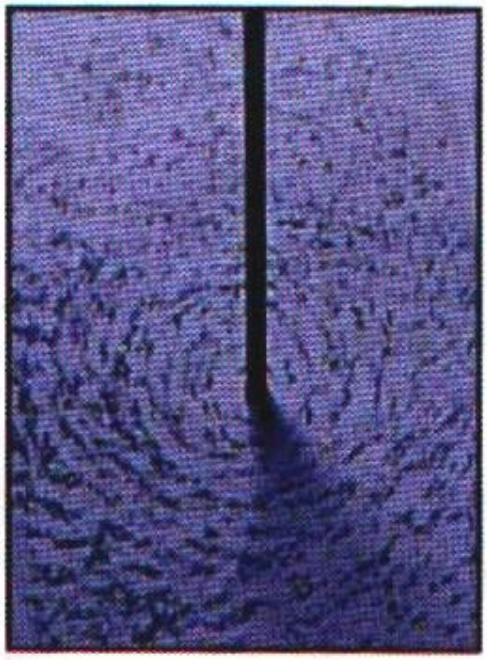
خطوات العمل:

١. ثبت السلك بشكل مستقيم فوق بوصلة بحيث يكون السلك موازياً للإبرة المغناطيسية كما في الشكل أعلاه.
٢. صل طرفي السلك بمصدر القدرة (البطارية).
٣. أغلق المفتاح لفترة قصيرة، ولاحظ ما يحدث لإبرة البوصلة.
٤. اعكس قطبي البطارية وراقب ما يحدث لاتجاه انحراف إبرة البوصلة.
٥. أغلق الدارة الكهربية، ماذا تستنتج؟

- إن انحراف إبرة البوصلة يدل على وجود مجال مغناطيسي أثر عليها بقوة مغناطيسية أدى إلى انحرافها، وعودة الإبرة إلى وضعها الأصلي عند قطع التيار يدل على أن التيار هو مصدر ذلك المجال المغناطيسي إن انحراف الإبرة في الاتجاه المقابل عند عكس اتجاه التيار يدل على أن اتجاه المجال المغناطيسي يعتمد على اتجاه التيار الكهربي. وإذا ما قمنا بتمرير تيار كهربائي في سلك ، فغن هناك أثر مغناطيسي (مجال

مغناطيسي) يؤثر به التيار على نقطة تبعد مسافة معينة عن السلك، ولدراسة تخطيط المجال المغناطيسي لسلك مستقيم طويل يمر فيه تيار كهربي، قم بإجراء التجربة الآتية:

المواد والأدوات: سلك طويل معزول وقطعة من الكرتون، وبرادة حديد، وبوصلة صغيرة عدد (6) ومصدر فرق جهد (قدرة) أي بطارية 6 فولتات.

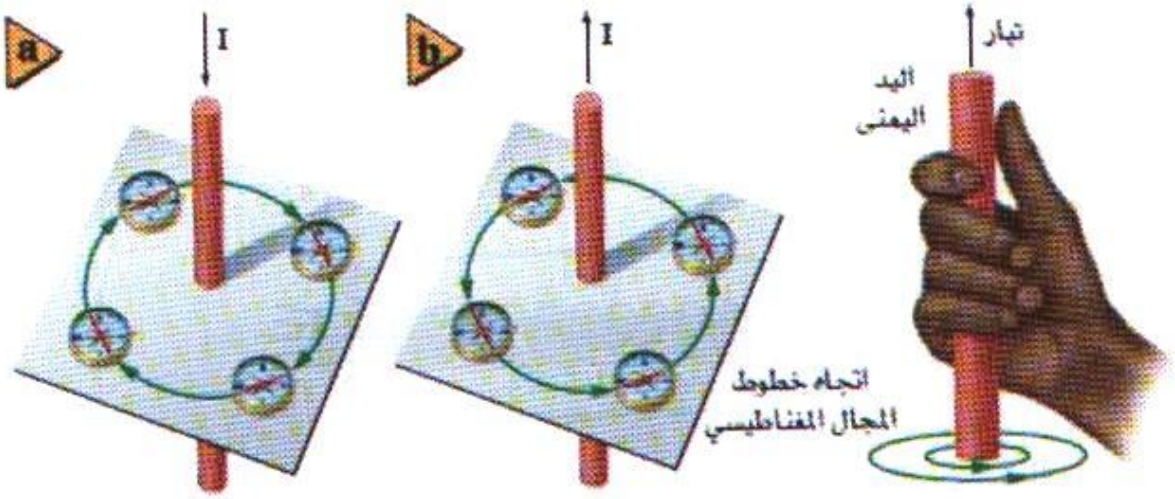


خطوات العمل:

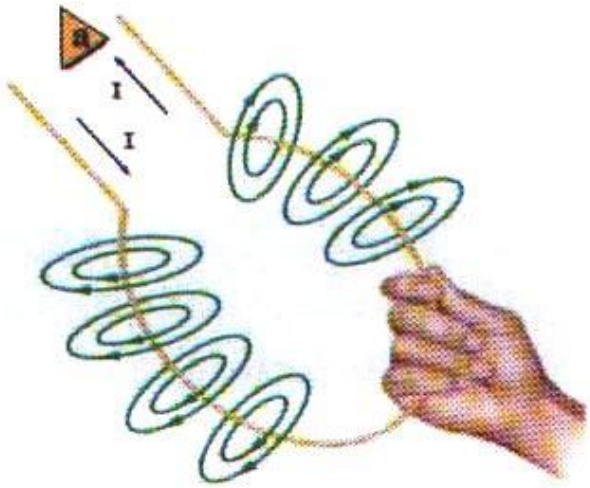
١. اثقب قطعة الكرتون من منتصفها، وقم بتثبيت السلك من خلالها بشكل طولي ومستقيم بحيث يكون عمودياً على مستوى الورقة.
٢. انثر برادة الحديد على قطعة الكرتون.
٣. صل طرفي السلك بمصدر القدرة، واطرق على قطعة الكرتون عدة طرقات خفيفة، ولاحظ كيف تترتب برادة الحديد.
٤. رتب البوصلات بشكل دائرة حول السلك، وعين اتجاه انحراف إبرة كل بوصلة.

لعلك تلاحظ من التجربة السابقة أن خطوط المجال المغناطيسي حول السلك عبارة عن حلقات دائرية مغلقة مركزها السلك ويكون مستواها عمودياً على السلك، وتكون متقاربة أكثر في المنطقة القريبة من السلك حيث تتناسب شدة المجال المغناطيسي عكسياً مع المسافة التي تبعدها نقطة ما عن السلك.

وتعد القاعدة الأولى لليد اليمنى طريقة لتحديد اتجاه دوران خطوط المجال المغناطيسي حول سلك يسري فيه تيار، وذلك بأن تمسك السلك بيدك اليمنى، بحيث يشير اتجاه دوران الأصابع الأخرى إلى اتجاه التيار في السلك، فيشير اتجاه دوران الأصابع الأخرى إلى اتجاه المجال المغناطيسي حول السلك، ويدل المماس لخط المجال عند نقطة على اتجاه شدة المجال المغناطيسي عند تلك النقطة.

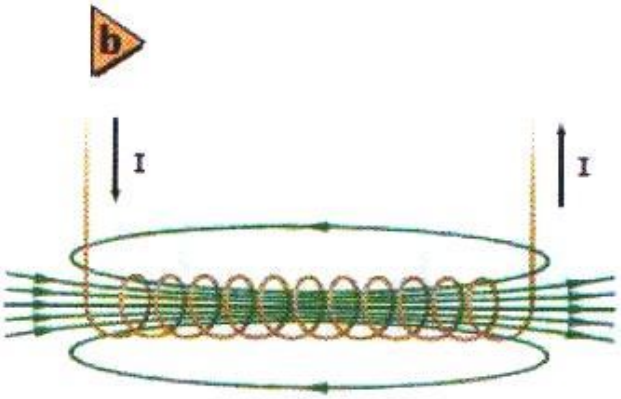


وبالنسبة للمجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربي في ملف دائري، فإن خطوط المجال المغناطيسي المتولدة كانت منحنية عند طرفي الملف، ويقل انحناؤها كلما اقتربنا من مركز الملف، ويمكن اعتبار الملف الدائرة مغناطيساً قصيراً ذا قطبين، وذلك للتشابه في شكل المجال المغناطيسي لكل منهما، بحيث يشير اتجاه المجال المغناطيسي إلى اتجاه القطب الشمالي، لاحظ الشكل الآتي:



ولتحديد اتجاه المجال المغناطيسي في مركز الملف نستخدم قاعدة اليد اليمنى، امسك الملف بحيث يشير اتجاه دوران الأصابع إلى اتجاه التيار في الملف فيشير الإبهام إلى اتجاه المجال المغناطيسي عند مركز الملف.

وفي المقابل إذا استخدمنا ملفاً لولبياً (محث) بدلاً من الملف الدائري، وقمنا بتمرير تيار كهربي في الملف اللولبي، سنلاحظ أن خطوط المجال المغناطيسي قرب سطح أي من اللفات يكون على شكل دوائر، مركزها السلك (شكل المجال المغناطيسي لسلك مستقيم يسري فيه تيار) وتلغي المجالات المغناطيسية بعضها بعضاً بين أي لفتين متجاورتين في حين أنها تجمع بعضها إلى بعض داخل الملف اللولبي لتعطي مجالاً منتظماً تقريباً، وإذا كانت اللفات قريبة جداً من بعضها (متلاصقة) يصبح المجال المغناطيسي منتظماً داخل الملف وموازياً لمحوره فيما يتعلق بالمجال المغناطيسي خارج الملف، فيكون ضعيفاً مقارنة مع داخله.



ولتحديد اتجاه المجال المغناطيسي داخل الملف اللولبي نطبق قاعدة اليد اليمنى، وذلك بأن تمسك الملف اللولبي باليد اليمنى بحيث يشير اتجاه دوران الأصابع إلى اتجاه التيار في الملف فيشير الإبهام إلى اتجاه شدة المجال المغناطيسي كما في الشكل التالي:

حلول مسائل تدريبية:

5. يسري تيار كهربائي في سلك مستقيم طويل من الشمال الى الجنوب.
a. عند وضع بوصلة فوق السلك لوحظ أن قطبها الشمالي اتجه شرقًا. ما اتجاه التيار في السلك؟
b. إلى أي اتجاه تشير إبرة البوصلة إذا وضعت أسفل السلك؟

a. اتجاه التيار في السلك من الشمال للجنوب وفق قاعدة اليد اليمنى.
b. اتجاه التيار لا يزال من الشمال للجنوب.

6. ما شدة المجال المغناطيسي على بعد 1 cm من سلك يحمل تيارًا، مقارنة بما يأتي:
a. شدة المجال المغناطيسي على بعد 2 cm من السلك.
b. شدة المجال المغناطيسي على بعد 3 cm من السلك.

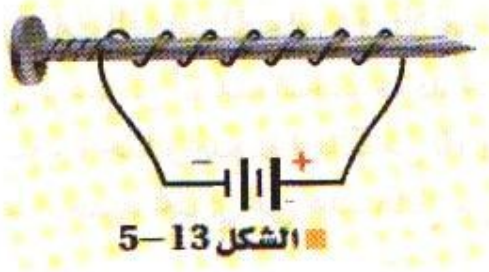
a. $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$

أي قلت شدة المجال إلى النصف.

b. $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi 3d}$

أي قلت شدة المجال إلى الثلث.

7. عمل طالب مغناطيسًا بلف سلك حول مسمار، ثم وصل طرفي السلك ببطارية، كما هو موضح في الشكل 13-5. أي من طرفي المسمار (المدبب أم المسطح) سيكون قطبًا شماليًا؟



الشكل 13-5

سيكون طرف المسمار المدبب قطباً شمالياً وفق قاعدة اليد اليمنى حيث يشير إصبع الإبهام إلى اتجاه المجال المغناطيسي داخل السلك واتجاه دوران بقية الأصابع إلى اتجاه التيار.

8. إذا كان لديك بكرة سلك، وقضيب زجاجي، وقضيب حديدي، وآخر من الألومنيوم فأي قضيب تستخدم لعمل مغناطيس كهربائي يجذب قطعًا فولاذية؟ وضح إجابتك.

استخدم وأختار القضيب الحديدي من دون الآخرين المذكورين لعمل مغناطيس كهربي يجذب قطعاً فولاذية وذلك لأنه أحسنهم وأعلاهم موصلية للتيار الكهربائي وبالتالي تكون شدة المجال المغناطيسي المتولد في القضيب الحديدي أكبر منها في كل من القضيب الألمونيوم والقضيب الزجاجي وأما سبب تفضيل القضيب الحديدي لعمل مغناطيس كهربي على بكرة السلك هو أن القضيب مساحة مقطعه العرضي أكبر منها للسلك وبالتالي تكون مقاومة القضيب لمرور التيار أقل منها في بكرة السلك.

9. يعمل المغناطيس الكهربائي الوارد في المسألة السابقة جيدًا، فإذا أردت أن تجعل قوته قابلة للتعديل والضبط باستخدام مقاومة متغيرة فهل ذلك ممكن؟ وضح إجابتك.

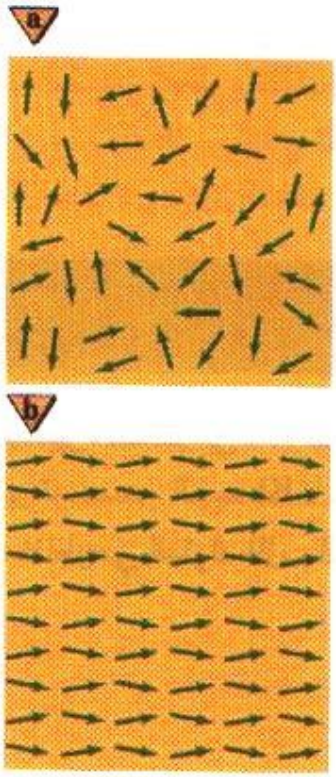
نعم، يمكن ذلك حيث إن المقاومة المتغيرة تتحكم في شدة التيار المار في المغناطيس الكهربي وفق قانون أوم R=V/I وذلك عند ثبوت مصدر الجهد فكلما كانت المقاومة كبيرة كان التيار أقل وشدة المجال المغناطيسي المتولد أقل والعكس صحيح.

• الصورة المجهرية للمواد المغناطيسية:

تعلمت أنه عند وضع قطعة حديد أو كوبالت أو نيكل بالقرب من مغناطيس فإن العنصر يصبح مغناطيسًا أيضًا، وسيكون له قطبان، شمالي وجنوبي، إلا أن هذه المغنطة ستكون مؤقتة. ويعتمد توليد هذه القطبية المؤقتة على اتجاه المجال الخارجي؛ وعند إبعاد المجال الخارجي يفقد العنصر مغناطيسيته. تتصرف العناصر الثلاثة (الحديد والنيكل والكوبالت) كمغانط كهربائية بطرائق عديدة، فلها خاصية تسمى الفرومغناطيسية.

المناطق المغناطيسية على الرغم من أن التفصيلات التي اقترحها أمبير حول منشأ مغناطيسية المغناطيس كانت غير صحيحة إلا أن فكرته الأساسية كانت صائبة؛ فكل إلكترون في الذرة يشبه مغناطيسًا كهربائيًا صغيرًا. وعندما تترتب مجموعة المجالات المغناطيسية الخاصة بإلكترونات الذرات المتجاورة في الاتجاه نفسه تسمى هذه المجموعة **المنطقة المغناطيسية**. وعلى الرغم من أن هذه المجموعة قد تحوي 10^{20} ذرة مفردة، إلا أن المناطق المغناطيسية تبقى صغيرة جدًا ومحدودة (غالبًا من 10 إلى 1000 ميكرون)، ولذلك فإنه حتى العينة الصغيرة من الحديد تحتوي على عدد هائل من المناطق المغناطيسية.

عندما لا تكون قطعة الحديد داخل مجال مغناطيسي فإن المناطق المغناطيسية تكون في اتجاهات عشوائية، وتلغي مجالاتها المغناطيسية بعضها بعضًا. أما عندما توضع قطعة الحديد داخل مجال مغناطيسي فإن هذه المناطق المغناطيسية تترتب بفعل المجال الخارجي لتصبح متفقة معه في الاتجاه، كما هو موضّح في **الشكل 14–5**. وفي حالة المغناطيس المؤقت تعود المناطق إلى عشوائيتها بعد إزالة المجال المغناطيسي الخارجي. وللحصول على مغناطيس دائم يتم خلط الحديد مع مواد أخرى لإنتاج سبائك تحافظ على المناطق المغناطيسية مرتبة بعد إزالة تاثير المجال المغناطيسي الخارجي.



حلول 1-5 مراجعة:

10. المجال المغناطيسي هو حقيقة بالرغم من أن خطوطه وهمية، فهو حقيقي الأثر والوقع، ولعل أبرز ما يشهد على ذلك هو تأثير الجذب الأرضي على الأجسام في محيط الأرض، ولكن الاتجاهات والميول نحو تفسير ماهية المجال المغناطيسي كانت تتخذ جانبا من النمذجة والمحاكاة العلمية الهادفة إلى الإقناع بحقيقة المجال المغناطيسي وفق اتفاقات أجمع عليها العلماء.

11. يبدو تأثير قوة المغناطيس جليا في حياتنا العملية، فعلى سبيل المثال في المحرك الكهربي تعمل القوة المغناطيسية على تحريك ملف المحرك و من خلال عزم الازدواج حيث القوتين المغناطيسيتين المتعاكستين في الاتجاه على طرفي الملف وبالتالي تتحول الطاقة الكهربية إلى طاقة حركية يستفاد منها في كثير من المجالات.

12. قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم يمر فيه تيار كهربي تنص على أن اتجاه الإبهام يشير إلى اتجاه التيار، واتجاه دوران بقية الأصابع يشير إلى اتجاه المجال.

13. ستترتب برادة الحديد بعد عكس قطبية مصدر الجهد وفق نمط يعاكس تماما النمط الذي ترتبت فيه قبل العكس وذلك لأن اتجاه المجال المغناطيسي يعتمد على اتجاه التيار وفق قاعدة اليد اليمنى، وبالتالي اتجاه قطبية مصدر الجهد، فينعكس اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة ، مرتبة البرادة في نمط معاكس.

14.

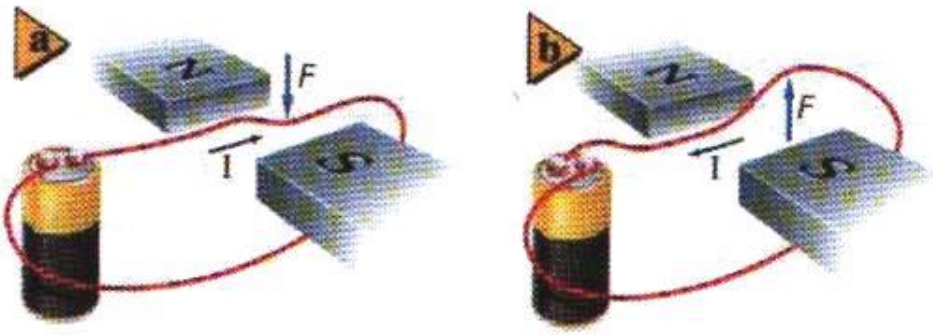
a. يسلك القضيبان ذلك السلوك لأنهما قضيبان موصلان يسري فيهما تيار كهربي في نفس الاتجاه لكلا القضيبان فتتولد قوة تنافر مغناطيسية متبادلة بين السلكين تمنع سقوط القضيب العلوي نحو السفلي رغم تأثير قوة وزن القضيب العلوي عليه ولكنها أضعف من قوة تنافره مع القضيب السفلي.

b. القضيب المستعمل غير موصل للكهرباء فيسقط تحت تأثر قوة وزنه (جاذبية الأرض) فيقع فوق القضيب السفلي.

• القوة الناتجة عن المجالات المغناطيسية:

عرفت أن لمغناطيس منطقة حوله تسمى بالمجال المغناطيسي، ويظهر أثر هذا المجال على شكل قوة مغناطيسية يؤثر فيها على الشحنات الكهربية المتحركة فيه، فما العوامل التي تعتمد عليها؟ وما مقدار هذه القوة؟ وهل يؤثر المجال المغناطيسي بقوة مغناطيسية على موصل يسري فيه تيار كهربي؟ وما مقدارها؟ وما التطبيقات العملية على ذلك؟

- القوى المؤثرة في التيارات الكهربائية المارة في مجالات مغناطيسية:



يمكن توضيح القوة المؤثرة في سلك يحمل تيارا وضع في مجال مغناطيسي باستعمال الترتيب الموضح في الشكل أعلاه.

فالبطارية تنتج تيارا كهربيا يسري في السلك الموضوع بين قطبي مغناطيسيين. تذكر أن اتجاه المجال المغناطيسي بين المغناطيسيين يكون من القطب الشمالي لأحدهما إلى القطب الجنوبي للآخر.

ويتكون التيار الكهربائي من شحنات كهربية متحركة، وكل شحنة تتأثر بقوة مغناطيسية عمودية على اتجاه حركتها، وبالتالي فإن محصلة هذه القوى تعمل على إزاحة الموصل الذي يسري فيه تيار كهربي، أي أن السلك تأثر بقوة مغناطيسية، فإذا كان لدينا سلك طوله (L) ويسري فيه تيار كهربي شدته (I) وموضوع في مجال مغناطيسي شدته (B)، فإن القوة المؤثرة في هذا السلك هي:

$$F = I\,L\,B$$

حيث تم التوصل عمليا إلى أن مقدار القوة المؤثرة في السلك F تتناسب طرديا مع مقدار كل من المجال المغناطيسي B ومقدار التيار I وطول السلك L الموضوع داخل المجال المغناطيسي وفق العلاقة المبينة أعلاه.

ويقاس مقدار (شدة) المجال المغناطيسي B بوحدة تسلا وهي تساوي 1N/A.m

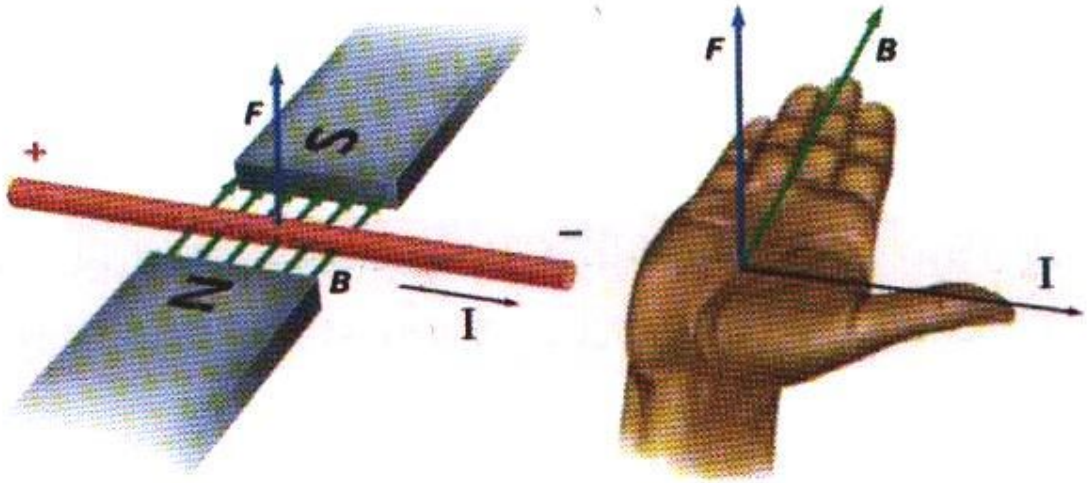
لاحظ أنه إذا كان المجال المغناطيسي غير متعامد مع السلك فسيظهر المعامل $\sin\theta$ في العلاقة السابقة لتصبح:

$$F = I\,L\,B\,\sin\theta$$

فإذا أصبح السلك موازياً للمجال المغناطيسي تصبح θ = صفر، وستؤول القوة إلى الصفر، اما إذا كانت الزاوية θ = 90 درجة فستصبح العلاقة مرة أخرى على الصورة الآتية:

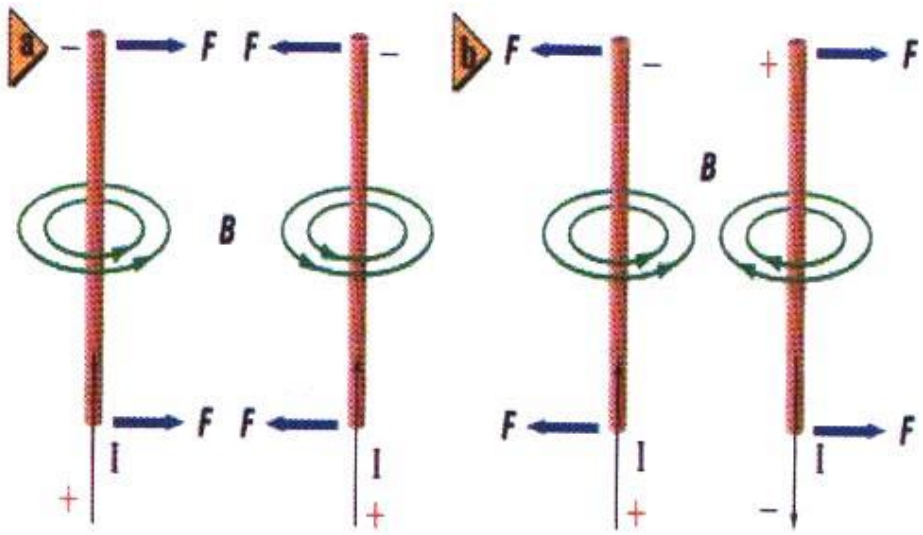
$$F = I L B$$

ويحدد اتجاه القوة المغناطيسية التي يؤثر بها مجال مغناطيسي على سلك يسري فيه تيار كهربي موضوع في المجال باستخدام قاعدة اليد اليمنى، وذلك بجعل أصابع اليد اليمنى تشير باتجاه التيار وتدور باتجاه المجال المغناطيسي فيشير إصبع الإبهام إلى اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة كما في الشكل الآتي:



مكبرات الصوت

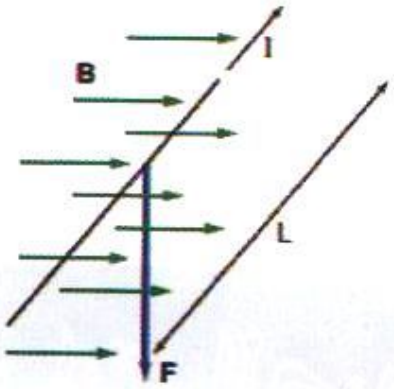
تعدّ مُكبِّرات الصوت إحدى التطبيقات العملية على القوة المؤثرة في سلك يحمل تيارًا كهربائيًا يمر في مجال مغناطيسي. تعمل السماعة على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة صوتية باستخدام ملف من سلك رفيع مثبت فوق مخروط ورقي، وهذا المخروط موضوع في مجال مغناطيسي. يرسل المضخم الذي يشغّل السماعة تيارًا كهربائيًا خلال الملف، ويتغير اتجاه هذا التيار بين 20 و 20 000 مرة في الثانية، وذلك وفقًا لحدة الصوت الذي يمثلها. وعندها



يتأثر الملف الخفيف بقوة تدفعه نحو الداخل أو الخارج؛ لأنه موجود في مجال مغناطيسي، وذلك اعتمادًا على اتجاه التيار المرسل من المضخم. وحركة الملف هذه تجعل المخروط الورقي يهتز محدثًا موجات صوتية في الهواء.

مثال 1:

حساب شدة المجال المغناطيسي سلك مستقيم يحمل تيارًا كهربائيًا مقداره 5.0 A وموضوع عموديًا في مجال مغناطيسي منتظم، فإذا كانت القوة المؤثرة في جزء طوله 0.10 m من السلك تساوي 0.20 N . فاحسب شدة المجال المغناطيسي B.



إن المجال المغناطيسي B منتظم، ولأن I ،B متعامدان فإن:

$$F = ILB$$

$$B = \frac{F}{IL}$$

$$B = \frac{0.20N}{(5.0\,A)(0.10M)}$$

$$= 0.40\,N/A.M = 0.40\,T$$

بالتعويض عن $F = 0.20\,N$ ، $I = 5.0\,A$ ، $L = 0.10\,m$

B تساوي 0.40 T من اليسار إلى اليمين عموديًا على كل من F ،I

15. ما اسم القاعدة المستخدمة لتحديد اتجاه القوة المؤثرة في سلك يحمل تيارًا كهربائيًا ومتعامدًا مع المجال المغناطيسي؟ حدّد ما يجب معرفته لاستخدام هذه القاعدة.

تعرف بقاعدة اليمنى حيث يعرف اتجاه الموصل باتجاه التيار، ويحدد اتجاه القوة المغناطيسية باستخدام قاعدة اليد اليمنى وذلك بجعل أصابع اليد اليمنى تشير إلى اتجاه التيار وتدور باتجاه المجال المغناطيسي فيشير الإبهام إلى اتجاه القوة المغناطيسية.

16. سلك طوله 0.50 m يحمل تيارًا مقداره 8.0 A، موضوع عموديًا في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.40 T. ما مقدار القوة المؤثرة في السلك؟

$$F = B\,L\,I\sin\theta$$

$$= (0.40\ T)(0.50\ m)(8A)sin90$$

$$= 1.6\ N$$

17. سلك طوله 75 cm يحمل تيارًا مقداره 6.0 A موضوع عموديًا في مجال مغناطيسي منتظم، فتأثر بقوة مقدارها 0.60 N. ما مقدار المجال المغناطيسي المؤثر؟

$$B = \frac{F}{L\,I\sin\theta} = \frac{0.60N}{(0.75m)(6A)sin90} = 0.13\ T$$

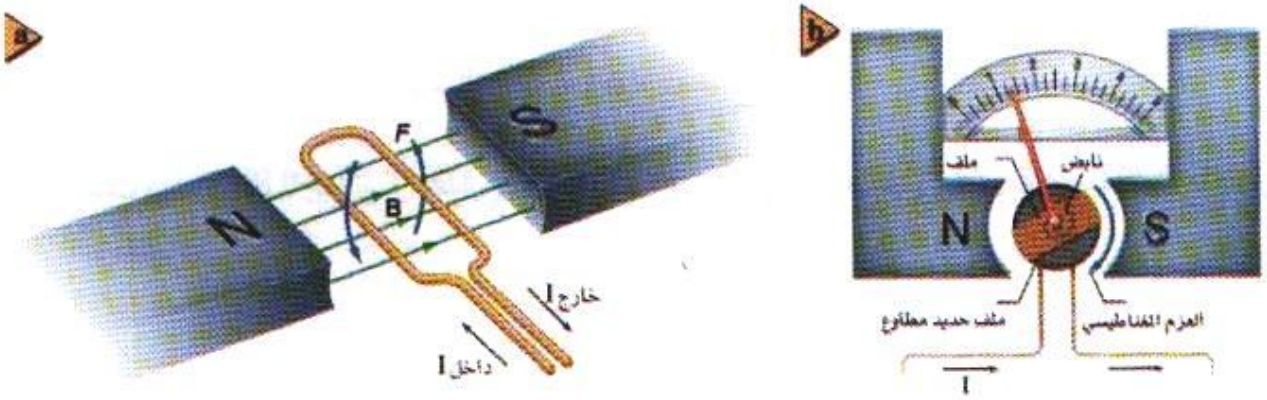
18. سلك نحاسي طوله 40.0 cm، ووزنه 0.35 N. فإذا كان السلك يحمل تيارًا مقداره 6.0 A فما مقدار المجال المغناطيسي الذي يجب أن يؤثر فيه رأسيًا بحيث يكون كافيًا لموازنة قوة الجاذبية المؤثرة في السلك (وزن السلك)؟

$$B = \frac{F}{L\,I\sin\theta} = \frac{0.35N}{(0.40m)(6A)sin90} = 0.145\ T$$

19. ما مقدار التيار الذي يجب أن يسري في سلك طوله 10.0 cm وموضوع عموديًا في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.49 T ليتأثر بقوة مقدارها 0.38 N؟

$$I = \frac{F}{BL\,sin90} = \frac{0.38N}{(0.49T)(0.10m)sin90} = 7.7\ A$$

الجلفانومتر

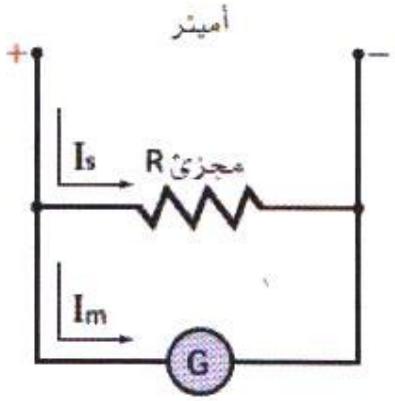


الجلفانومتر هو جهاز يستخدم للكشف عن التيارات الصغيرة ويستخدم لقياس التيار عند وصله مع مقاوم على التوالي، أو يستخدم لقياس فرق الجهد في حال وصله مع مقاوم على التوازي، ويتضح من الشكل أعلاه التركيب المبسط للجلفانومتر، إذ يتكون من ملف خفيف ملفوف على إطار من الحديد الرقيق، ومثبت بوساطة زنبرك على محور قابل للدوران حوله، ويتصل به مؤشر خفيف من الألمونيوم يدل على تدريج مناسب، يوجد الملف داخل منطقة مجال مغناطيسي منتظم بحيث يكون مستوى الملف موازياً لاتجاه المجال المغناطيسي (θ = 90درجة) .

فعند مرور تيار كهربي في ملف الجلفانومتر يتأثر بازدواج يعمل على تدوير الملف بزاوية تتناسب مع مقدار شدة التيار الكهربي المار فيه، ويعمل الزنبرك بدوره عمل دوراني عكسي (معيد) في عكس اتجاه تدوير الملف، حتى يتزن ملف الجلفانومتر عند الموضع الذي يتزن فيه عزم الدوران الناشيء عن القوة المغناطيسية للمجال المغناطيسي مع العزم الدوراني العكسي للزنبرك فيشير المؤشر بدوره إلى تدريج مناسب يدل على شدة التيار الكهربي المار في الملف، حيث تنحرف مؤشرات العديد من الجلفانومترات إلى أقصى تدريج عند مرور تيارات صغيرة ومقاومة ملف الجلفانومتر الحساس تساوي 1000Ω تقريباً. ويمكن تحويل الجلفانومتر إلى جهاز أميتر ذلك لقياس شدة التيارات الكبيرة. فالأميتر عبارة عن جلفانومتر ذو ملف متحرك تتصل به مقاومة صغيرة جداً على التوازي تسمى مجزئ التيار والهدف منها هو الحصول على مقاومة كلية (مكافئة) للأميتر صغيرة جداً بحيث لا تؤثر على شدة التيار المار في الأميتر والمراد قياسه عند وصل الأميتر على التوالي في الدارة الكهربية، فعند مرور التيار في الدارة ويصل إلى الأميتر فإنه ينقسم بحيث يمر جزء صغير منه في ملف الجلفانومتر لأن مقاومته كبيرة، والجزء الآخر الكبير في مجزئ التيار لأن مقاومته صغيرة جداً، وانقسام التيار بهذه الصورة لأن مجزئ التيار وملف الجلفانومتر داخل الأميتر يتصلان معاً على التوازي، فبذلك يصبح الأميتر (مجزئ تيار + جلفانومتر) له القدرة على قياس شدة التيارات الكبيرة.

وكذلك فإنه يمكن تحويل الجلفانومتر إلى فولتميتر ولعمل فولتمتر نصل الجلفانومتر بمقاوم كبير على التوالي يسمى المضاعف حيث يقيس الجلفانومتر التيار المار خلال المقاوم الكبير

الذي تمت إضافته، ويحسب التيار بالعلاقة: $I = \frac{V}{R}$، حيث تمثل V فرق الجهد الكهربي (الفولتية) خلال الفولتميتر بينما تمثل R المقاومة الكلية للجلفانومتر وللمقاوم الذي أضيف، والآن افترض أنك تريد جعل مؤشر الفولتميتر يتحرك إلى أقصى تدريج عند تطبيق فرق جهد مقداره $10V$ بين طرفيه، فستختار مقاومة بحيث تحرف مؤشر الجلفانومتر والمقاوم الذي أضيف.



- المحركات الكهربائية:

تستخدم ملايين المحركات الكهربية الكبيرة والصغيرة في معظم الأجهزة الكهربائية من مسجلات ومراوح تهوية وألعاب أطفال، فالمحركات الكهربية واسعة ومتعددة الأشكال، وهي تحول الطاقة الكهربية إلى طاقة حركية، أي ميكانيكية، وبعض المحركات تم تصميمه ليعمل بالتيار المتناوب، وبعضها يعمل بالتيار المستمر، في حين يمكن لبعضها الآخر العمل على كلا النوعين.

ويتركب المحرك الكهربي من قطبي مغناطيس ثابت وملف يتكون من عدد من اللفات وقابل للدوران حول محور وموضوع بين قطبي مغناطيس بالإضافة إلى نصفا حلقة فلزية (مبدل) يلعب دورا مهما في عكس اتجاه التيار المار في الملف كل نصف دورة ويتصل بطرفي الملف، كما ويتكون من فرشاتان كربونيتان (مصنوعة من الجرافيت) وتكونان ثابتتان ويتماس معهما المبدل أثناء دورانه مع الملفان وتمثلان المدخل والمخرج للتيار المار في الملف، كما لابد من توافر مصدر للتيار الكهربي.

وتكون القوة الكلية المؤثرة في الملف تتناسب طردياً مع عدد لفات الملف والمجال المغناطيسي والتيار الكهربي وطول السلك في كل لفة تتحرك في المجال المغناطيسي.

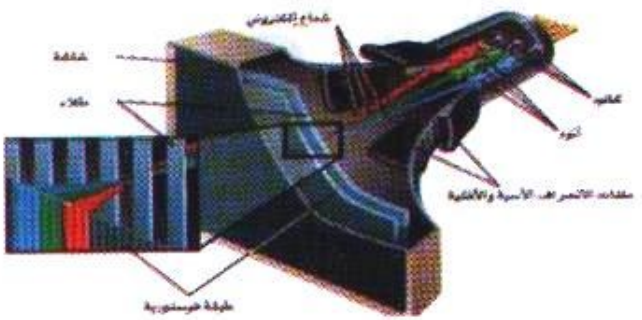
ويتم إنتاج المجال المغناطيسي إما بواسطة مغناطيس دائم او مغناطيس كهربي ويتم التحكم في العزم المؤثر في الملف (عزم الدوران) ومن ثم التحكم في سرعة المحرك بتغيير التيار المار في المحرك.

ويمكن السماح للمبدل (نصفي الحلقة) بمواصلة الدوران بأن نعكس اتجاه التيار المار في الحلقة عندما تصبح في وضع رأسي وهذا الانعكاس يسمح للحلقة بمواصلة دورانها كما في الشكل.

ولعكس اتجاه التيار يجب المحافظة على استمرار التوصيلات الكهربية بين نقاط التلامس باستخدام الفرشاتين، بالإضافة إلى كون الحلقة عبارة عن نصفين وتسمى الحلقة عندئذ بعاكس التيار. وتثبت الفرشاتان بطريقة ما بحيث يلامسان الحلقة (عاكس التيار) لتسمحا للتيار بالمرور خلال الحلقة. فتدور الحلقة ويترتب نصفا عاكس التيار (الحلقة) بحيث تتغير الفرشاة الملامسة لكل نصف منهما عندما تصل الحلقة إلى وضعها الرأسي ويؤدي تغير تلامس الفرشاتين إلى عكس اتجاه التيار المار بالحلقة مما يؤدي إلى عكس اتجاه القوة المؤثرة في جانبي الحلقة، فتواصل دورانها ويتكرر ذلك كل نصف دورة مما يجعل الحلقة تستمر في دورانها في المجال المغناطيسي. هذه الناتج هو المحرك الكهربي، جهاز تحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة حركية دورانية.

القوة المؤثرة في جسيم مشحون

لا يقتصر وجود الجسيمات المشحونة في الأسلاك فقط، لكنها قد تتحرك في الفراغ أيضًا، حيث يتم إزالة جزيئات الهواء لمنع حدوث التصادمات. ففي أنبوب الأشعة المهبطية المستخدم في شاشات الحاسوب، وشاشات التلفاز يستخدم انحراف الإلكترونات بواسطة المجالات المغناطيسية لتشكيل صورة على الشاشة، كما في الشكل 21–5.



القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي في جسيم مشحون متحرك $F=qvB$.

القوة المؤثرة في جسيم مشحون متحرك داخل مجال مغناطيسي تساوي حاصل ضرب شدة المجال المغناطيسي في كل من سرعة الجسيم وشحنته.

حلول مسائل تدريبية:

20. إلى أي اتجاه يشير الإبهام عند استخدام القاعدة الثالثة لليد اليمنى لإلكترون يتحرك عموديًا على مجال مغناطيسي؟

إلى اتجاه القوة المغناطيسية.

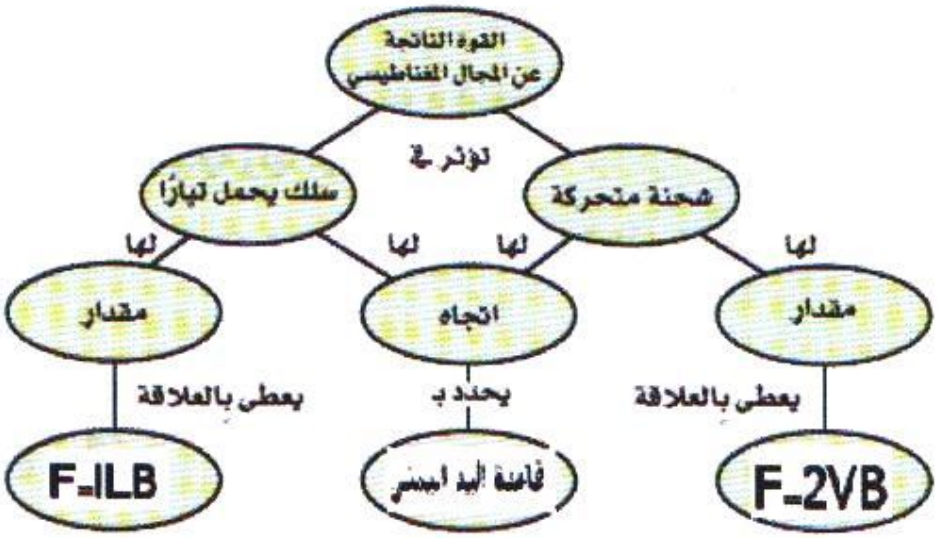
21. يتحرك إلكترون عموديًا على مجال مغناطيسي شدته 0.50 T بسرعة 4.0×10^6 m/s، ما مقدار القوة المؤثرة في الإلكترون؟

$$F = q\ v\ B = (1.6\times10^{-19}C)\left(4\times\frac{10^6 m}{s}\right)(0.50\ T) = 3.2\times10^{-13}\ N$$

22. تتحرك حزمة من الجسيمات الثنائية التأين (فقد كل جسيم إلكترونين، لذا أصبح كل جسيم يحمل شحنتين أساسيتين) بسرعة 3.0×10^4 m/s عموديًا على مجال مغناطيسي شدته 9.0×10^{-2} T، ما مقدار القوة المؤثرة في كل أيون؟

$$F = q\ v\ B = (2\times1.6\times10^{-19}C)\left(3\times\frac{10^4 m}{s}\right)(9\times10^{-2}T)$$
$$= 86.4\times10^{-17}N$$

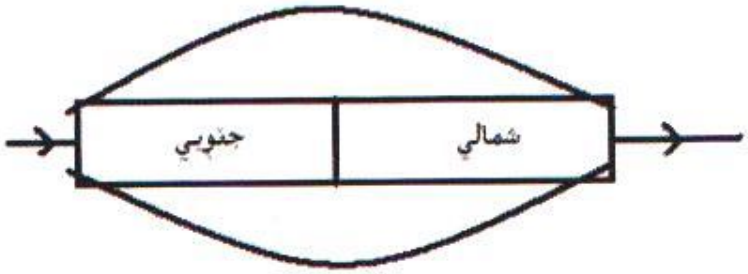
حلول التقويم:



32. الشحنات المتماثلة تتنافر والشحنات المختلفة تتجاذب

33. المغناطيس الدائم وهو الذي يحتفظ دوماً بمغناطيسيته وتكون عزوم الذرات المغناطيسية له مرتبة ومصففة في اتجاه المجال المغناطيسي، أما المغناطيس المؤقت فهو الذي يفقد مغناطيسيته بعد زوال المسبب للمجال المغناطيسي.

35.

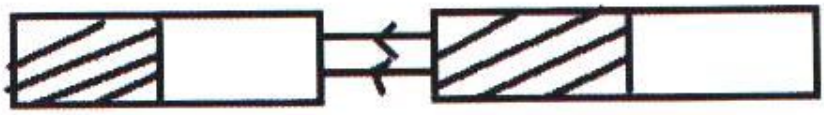


36.

a.

قطبين مغناطيسيين متشابهين

b.



قطبين مغناطيسيين متجاذبين.

37. لا، لأنه لا وجود لقطب مغناطيسي مفرد (منفصل) حيث خطوط المجال المغناطيسي من سماتها أنها مقفلة أي لها بداية ولها نهاية.

38. يشير إصبع الإبهام إلى اتجاه التيار، ويتم تدوير بقية الأصابع فتشير إلى اتجاه المجال المغناطيسي.

39. ذلك لأن اتجاهات المجال داخل الحلقة توازي (يقل انحناؤها) في نفس الاتجاه داخل الحلقة عما هو خارج الحلقة.

41. فمثلا لو سخنا قطعة الحديد إلى درجة تعرف بدرجة كوري 770 س ، فإن عزوم ذراتها المغناطيسية تصبح في اتجاهات متعددة فتلغي بعضها البعض وتفقد القطعة خواصها المغناطيسية عند هذه.

42. لأنه عند طرق المغناطيس أو تسخينه تزداد عشوائية الاتجاهات المغناطيسية فيلغي بعضها البعض فتقل محصلة المجال المغناطيسي للمغناطيس.

43. يعرف اتجاه طول الموصل باتجاه التيار، ويحدد اتجاه القوة المغناطيسية باستخدام القاعدة الثالثة لليد اليمنى وذلك بجعل أصابع اليد اليمنى تشير باتجاه التيار وتدور باتجاه المجال المغناطيسي فيشير الإبهام إلى اتجاه القوة المغناطيسية.

44. ليس بالضرورة عدم وجود مجال مغناطيسي في موقع السلك لأنه ربما يوجد ولكن يكون اتجاهه موازيا لاتجاه التيار المار في السلك بزاوية 0 درجة أو 180 درجة فلا توجد أي قوة مغناطيسية مؤثرة وفق العلاقة $F = 0\ N$

$$F = I\ L\ B\ \sin\theta$$

حيث $\sin 0 = \sin 180 = 0$

45. جهاز الأميتر.

58. يبتعد عن المغناطيس المعلق عن المغناطيس المقرب وذلك بسبب تنافر الأقطاب الشمالية (متماثلة)

59. ينجذب المغناطيس المعلق نحو المغناطيس المقرب وذلك بسبب تجاذب الأقطاب (الجنوبي والشمالي) المختلفة.

60. a. يقع القطبان في الموقعين 4و 2

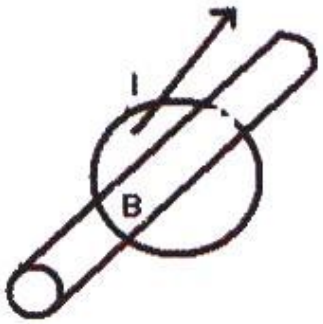
b. القطب الشمالي صاحب الرقم 2

c. القطب الجنوبي صاحب الرقم 4

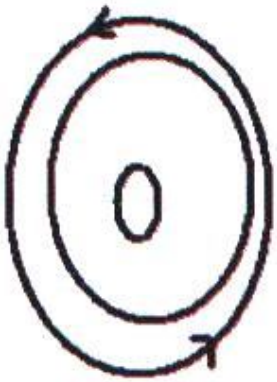
61 القطب الشمالي يقع إلى اليمين والجنوبي إلى اليسار من المغناطيس.

62. $$B = \frac{F}{IL\sin\theta} = \frac{0.60N}{(10A)(1.50m)\sin 90} = 0.04\ T$$

63.



.64



65. a. اتجاه المجال المغناطيسي داخل الحلقات إلى الأعلى نحو الشمال عمودياً على اتجاه التيار، وذلك وفق قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربي في ملف حلزوني.

b. اتجاه المجال المغناطيسي خارج الحلقات إلى الأسفل نحو الجنوب عمودياً على اتجاه التيار.

67. جهاز الأميتر.

68. نسمي المقاومة المبينة في الشكل مجزئ التيار.

69. الفولتميتر.

70. نسمي المقاومة المبينة في الشكل مجزئ (مضاعف) الجهد.

71. $B = \frac{F}{ILsin\theta} = \frac{0.40N}{(8A)(0.50m)sin\,90} = 0.1\,T$

72. $F = BLIsin\theta = (060T)(0.80m)(5A)sin90 = 2.4\,N$

73. $F = BL\,I\sin\theta = (030T)(0.25m)(6A)sin90 = 0.45\,N$

74. $F = BLIsin\theta = (0.53T)(0.35m)(4.5A)sin0 = 0\,N$

75. $I = \frac{F}{BLsin\theta} = \frac{1.8N}{(1.4T)(625m)sin\,90} = \cdots \ldots A$

76. $I = \frac{F}{BLsin\theta} = \frac{0.12N}{(5\times10^{-5}T)(0.80m)sin\,90} = 3000\,A.$

77. $L = \frac{F}{BIsin\theta} = \frac{3.6N}{(0.80T)(7.5A)sin\,90} = 0.6\,m$

78. $F = BLIsin\theta$ = $(5\times 10^{-5}T)(1m)(225A)sin90 = 1125 \times 10^{-5}\,N$ a.

b. حسب قاعدة اليد اليمنى فإن اتجاه القوة إلى الشمال.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{10V}{50\times10^{-6}A} = 0.2 \times\times 10^{6}\ \Omega \quad .79$$

b. جلفانومتر R = المضاعف R $= R - R$

$$= 200000 - 1000 = 199000 = 199\ k\Omega$$

$$V = I\,R = (50 \times 10^{-6}A)(1000\Omega) \quad \text{a.} \quad .80$$

$$= 0.05\ \text{V}$$

$$R\text{مكافئة} = \frac{V}{I} = \frac{0.05V}{10\times10^{-3}A} = 5\ \Omega \quad \text{b.}$$

$$\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R\text{مكافئة}} - \frac{1}{R} \quad c.$$

$$= \frac{1}{5} - \frac{1}{1000}$$

$$R^* = 5.02\ \Omega$$

$$F = q\,V\,B = (1.6 \times 10^{-19}C)\left(2.5 \times \frac{10^{6}m}{s}\right)(6 \times 10^{-2}T) = 24 \times \quad .81$$

$$10^{-15}\ N$$

$$B = \frac{F}{qv} \quad .82$$

$$B = \frac{5\times10^{-12}N}{(1.6\times10^{-19}C)\left(4.21\times\frac{10^{7}m}{s}\right)} = 0.74\ T$$

$$F = m\,a \quad b.$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{5\times10^{-12}N}{1.88\times10^{-28}kg} = 2.6 \times 10^{16}\,\frac{m}{s}$$

$$V = \frac{F}{qB} = \frac{1.4\times10^{-13}N}{(1.6\times10^{-19}C)(0.61T)} = 4.2 \times 10^{6}\,\frac{m}{s} \quad .83$$

84. يكون اتجاه المجال في نفس أو عكس اتجاه التيار بمعنى متوازيان وذلك وفق قاعدة اليد اليمنى.

$$q = \frac{F}{BV} = \frac{5.78\times10^{-16}N}{(3.2\times10^{-2}T)(5.65\times\frac{10^{4}m}{s})} = 0.319 \times 10^{-14}\ C \quad .85$$

$$n = \frac{q}{e} = \frac{0.319\times10^{-14}}{1.6\times10^{-19}C} = 0.19 \times 10^{5}$$

86. a. عندما يكون المفتاح مفتوحاً يكون $I = 0A$

$F = BLIsin\,\theta$

$= B\,L\,(0A)\,sin\,\theta = zero\,N$

وبالتالي ليس لها أي اتجاه.

b. عند إغلاق المفتاح:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{24V}{5.5} = 4.36\,A$$

$$F = B\,L\,I\,sin\theta = 1.9T\,(7.5 \times 10^{-2}m)(4.36A) = \ 0.62\,N$$

ويكون اتجاهها إلى أسفل (داخل مستوى الصفحة) عمودياً على $B\,,I$

c. عند اغرق المفتاح وعكس البطارية : $F = 0.62\ N$
ويكون اتجاهها إلى أعلى (خارج مستوى الصفحة) عمودياً على B, I

d. $$I = \frac{24V}{(5.5+5.5)} = 2.18\,A$$

$$F = B\,L\,I\sin\theta = (1.9T)(7.5 \times 10^{-2}m)(2.18A)sin90$$
$$= 0.31\ N$$

ويكون اتجاهها إلى أسفل (داخل مستوى الصفحة).

88. جسيم بيتا ذو شحنة موجبة تساوي ضعف شحنة الإلكترون:

$$F = qV\,B = (2 \times 10^{-19}C)\left(2.5 \times 10^{7}\frac{m}{s}\right)(0.60\,T) = 4.8 \times 10^{-12}N$$

89. $$a = \frac{F}{m} = \frac{4.8\times10^{-12}N}{(2\times9.11\times10^{-31}kg)} = 0.26 \times 10^{19}\frac{m}{s^2}$$

90. $$F = qVB = (1.6\times 10^{-19}c)\left(8.1 \times \frac{10^{5}m}{s}\right)(16T) = 207 \times 10^{-14}N$$

واتجاهها حسب قاعدة اليد اليمنى إلى الأسفل (داخل مستوى الصفحة).

91. $$I = \frac{V}{R} = \frac{15V}{8} = 1.87\,A$$

طول اللفة الواحدة = محيط اللفة (دائرة)

$= \pi \times$ القطر $= 3.14 \times (25.\times 10^{-2}m)$

$= 0.078\ m$

طول السلك = عدد اللفات x طول اللفة الواحدة

$L = 250 \times 0.078m = 19.62\ m$

$$F = B\ L\ I = (0.15T)(19.62m)(1.87A) = 5.5N$$

$$F = I\ L\ B\ sin\theta = (15A)(0.25m)(0.85T)\sin 90 = 3.1\ N \quad .a \quad .92$$

$$F = (15A)(0.25m)(0.82T)sin45 = 2.2\ N.b$$

$$F = (15A)(0.25m)(0.85)sin0 = 0\ N \quad .c$$

93. من P1 إلى P2 اتجاه المجال يكون عكس اتجاه حركة الإلكترون، ويكون اتجاه المجال من P2 إلى P1 في نفس اتجاه حركة الإلكترون.

b. الشغل المبذول لتسريع الإلكترونات = الطاقة الحركية للإلكترونات

$$\frac{1}{2}m\,v^2 = q\,V$$

$$v = \sqrt{\frac{2qV}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times (1.6 \times 10^{-19}c) \times 20000V}{9.11 \times 10^{-31}kg}} = 93916746.6\frac{m}{s}$$

94. يتحرك الإلكترون إلى منطقة مجال مغناطيسي منتظم فيؤثر فيه المجال بقوة مغناطيسية تحركه في مسار دائري.

$$B = \frac{(2\times10^{-7})(10A)}{0.5m} = 40 \times 10^{-7}T \quad .95$$

وهو أصغر من المجال المغناطيسي الأرضي الذي يبلغ $50\times 10^{-5}T$

$$B = \frac{(2\times10^{-7})(200A)}{20m} = 20 \times 10^{-7}T \quad .b$$

وهو أقل من المجال في المنزل بمقدار النصف.

حلول اختبار مقنن:

١. D
٢. B
٣. A

٤. D

٥. D

٦. C

٧. A

٨. $I = \frac{V}{R} = \frac{5.8}{18} = 0.32\,A$

$$\sin\theta = \frac{22\times10^{-3}N}{(0.32)(0.14m)(0.85T)} = 0.57$$

$$\theta = 35$$

الفصل السادس

الحث

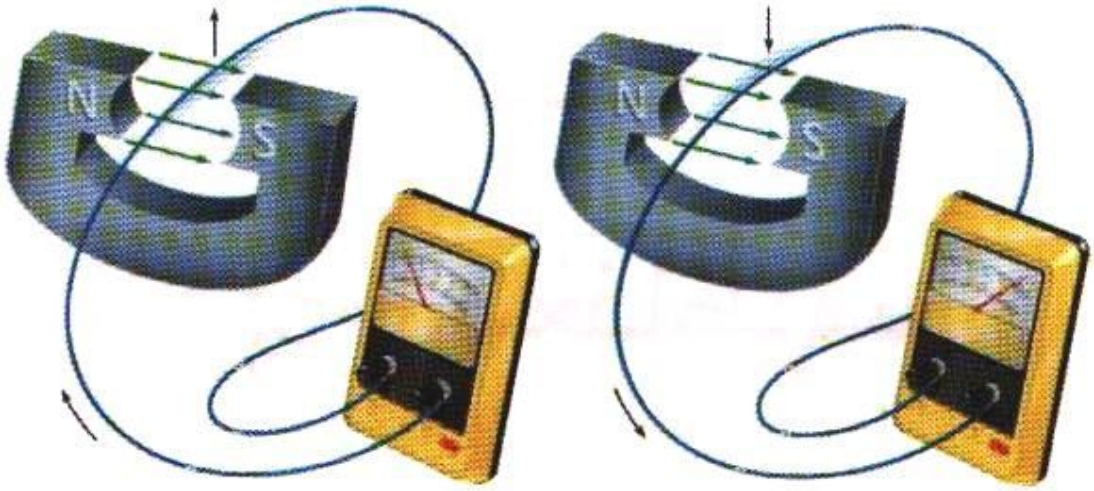
الكهرومغناطيسية

• التيار الكهربي الناتج عن تغير المجالات المغناطيسية:

بعد أن اكتشف العالم هانز أورستد أن سريان تيار كهربي في موصل يتولد عنه مجال مغناطيسي، وأصبحت مصادر الطاقة المتوفرة لا تفي بالحاجة، اتجه العلماء للبحث عن مصادر أخرى للطاقة الكهربية وأثير السؤال الآتي: هل يمكن توليد تيار كهربائي من مجال مغناطيسي؟ وكيف يتم ذلك؟ ومن السباقون لهذا الاكتشاف؟ وما علاقته بعمل المولدات والمحولات الكهربية؟

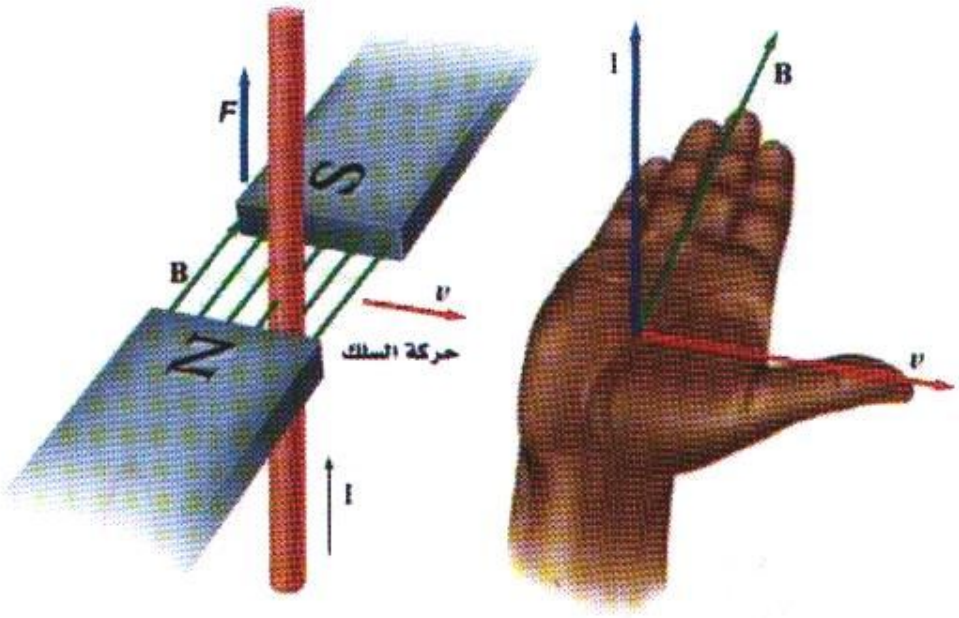
- الحث الكهرومغناطيسي:

تستخدم الأعمدة الأولية والثانوية للحصول على الطاقة الكهربية، ولكن من غير الممكن لهذه المصادر تزويدنا بقدر هائل من الطاقة الكهربية لتفي بحاجات المدن والمصانع، ومن هنا كان لابد من العثور على وسائل أخرى لتوليد الطاقة الكهربية. وقد كان العالم أورستد أول من ربط بين الكهرباء والمغناطيسية إثر اكتشافه عام 1820 أن مرور تيار كهربي في موصل يولد حوله مجالاً مغناطيسياً، ثم راح العلماء يبحثون في سبل استخدام المجال المغناطيسي لتوليد التيار الكهربي إلى أن توصل العالم مايكل فاراداي تجاربياً إلى توليد تيار كهربي في موصل عبر تحريكه في مجال مغناطيسي، وعد هذا الاكتشاف العظيم من الاكتشافات المهمة في الفيزياء.



وتسمى عملية توليد التيار الكهربائي بطريقة مغناطيسية في دارة كهربية مغلقة بهذه الطريقة الحث الكهرومغناطيسي ويسمى التيار الكهربي المتولد بالحث الكهرومغناطيسي التيار الاصطلاحي. ولتحديد اتجاه هذا التيار نستخدم قاعدة فيلمنج لليد اليمنى وهي:

اجعل أصابع اليد اليمنى (الإبهام والسبابة والوسطى) متعامدة، واجعل الإبهام يشير إلى اتجاه حركة السلك في المجال المغناطيسي، والسبابة تشير إلى اتجاه المجال المغناطيسي فتشير الوسطى لاتجاه التيار الاصطلاحي.



حلول مسائل تدريبية:

١.

$$EMF = BLV\sin\theta \quad .a$$

$$= (0.4T)(0.5m)\left(0.20\frac{m}{s}\right)\sin 90 \ = 0.04\,V$$

$$I = \frac{EMF}{R} = \frac{0.04}{0.6} = 0.06A \ .b$$

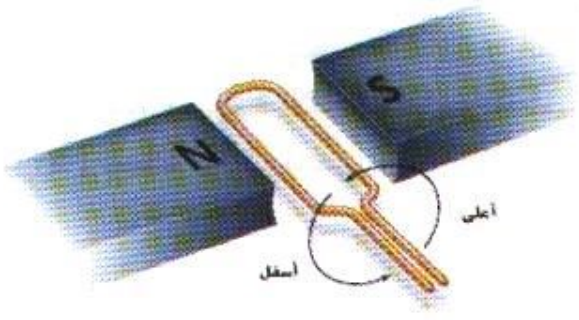
$$EMF = (5\times 10^{-5}T)(25m)\left(\frac{125m}{s}\right)\sin 90 = 0.15\,V \quad .2$$

$$EMF = (1T)(30m)\left(2\frac{m}{s}\right)sin90 \ = 60\,V \ .a \ .3$$

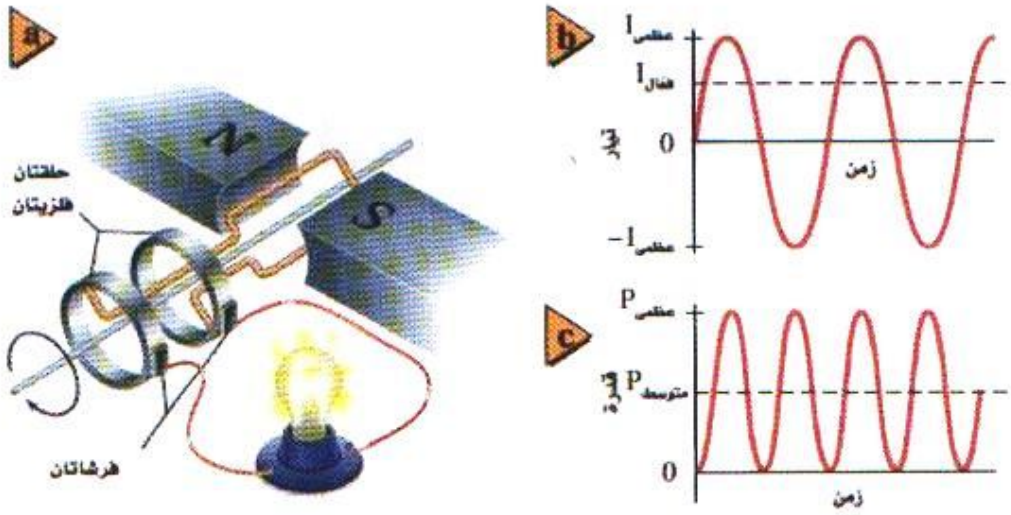
$$I = \frac{60}{15} = 4A \ b.$$

4. القطب الشمالي للمغناطيس هو القطب السفلي للمغناطيس وذلك لأنه القطب الذي تخرج منه خطوط المجال المغناطيسي وذلك بالاستناد إلى القاعدة الرابعة لليد اليمنى (الإبهام والسبابة والوسطى).

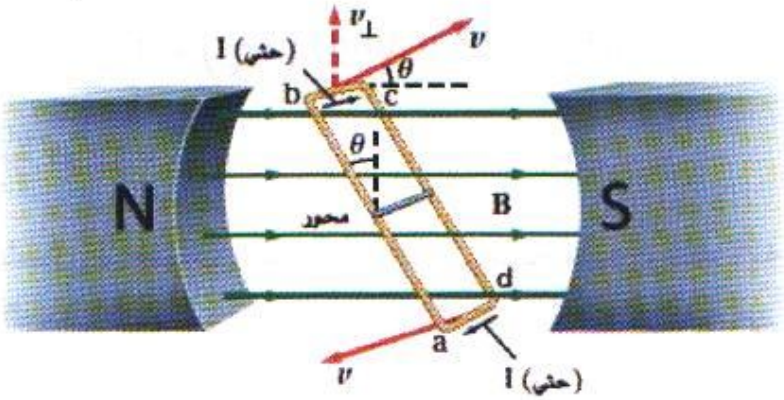
المولدات الكهربية:



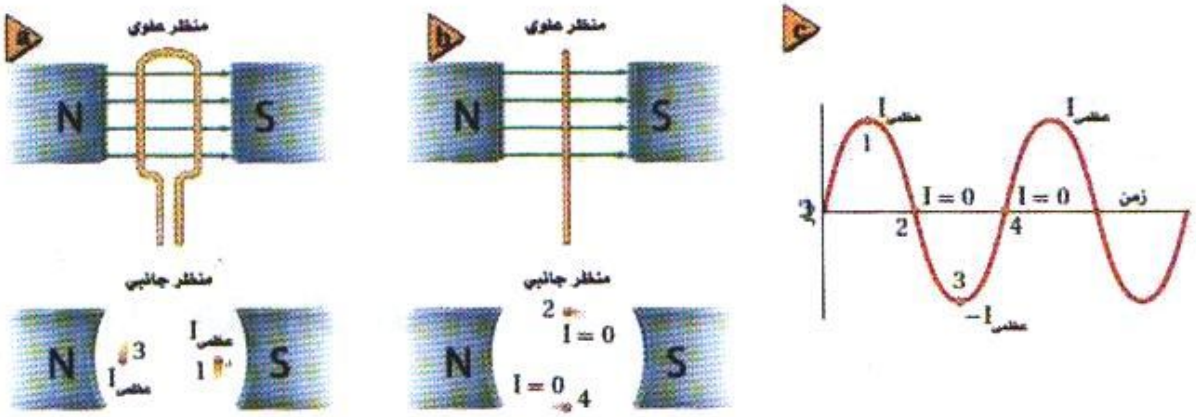
يعد المولد الكهربي تطبيقاً مهماً على الحث الكهرومغناطيسي، ويعمل على تحويل الطاقة الميكانيكية المستمدة من مصادر مختلفة إلى طاقة كهربية. ويتكون المولد في أبسط أشكاله من ملف يتكون من عدد من اللفات حر الحركة حول محور ثابت وموضوع في مجال مغناطيسي منتظم قوي ينشأ عن مغناطيس دائم أو كهربائي ويتصل طرفا الملف بحلقتين فلزيتين تدوران مع الملف حول نفس المحور ومتصلين بفرشاتين معدنيتين موصولين بالدارة الخارجية ذات المقاومة الخارجية.



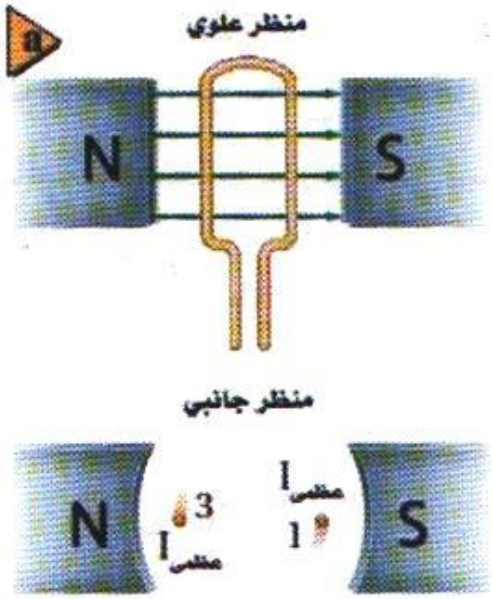
وعندما يدور الملف حول محوره يتغير مقدار التدفق المغناطيسي الذي يخترقه، مما يؤدي إلى تولد قوة دافعة حثية في الملف وبالتالي تيار حثي تعتمد قيمتها على معدل تغير التدفق المغناطيسي بالنسبة للزمن، ويتغير التدفق المغناطيسي الذي يقطع مساحة الملف المغناطيسي إلى أقصى قيمة له عندما يكون مستوى الملف متعامداً مع خطوط المجال المغناطيسي.



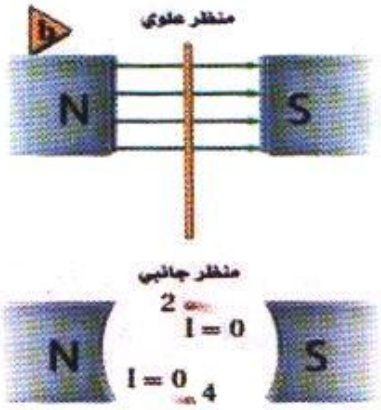
وإذا كانت سرعة دوران الملف ثابتة فإن القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف تتغير قيمتها بتغير زاوية دوران الملف داخل المجال المغناطيسي حسب المنحنى الجيبي، ويوضح الشكل الآتي العلاقة بين منحنى التيار والزمن، حيث يتغير اتجاه التيار المتولد في الملف وبالتالي تكون القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف متغيرة الاتجاه كلما دار الملف زاوية مقدارها 180 درجة، أي أن الاتجاه يتغير كل نصف دورة ويسمى التيار الناشئ في هذه الحالة بالتيار المتردد (المتناوب).



يتم الحصول على أكبر قيمة للتيار عندما تكون حركة الملف عمودية على اتجاه المجال المغناطيسي وتتم هذه العملية عندما تكون الحلقة في وضع أفقي. وفي هذا الوضع تكون مركبة سرعة الملف العمودية على المجال المغناطيسي أكبر ما يمكن.



ومع استمرار دوران الملف من الوضع الأفقي إلى الوضع الرأسي تزداد الزاوية التي تصنعها مع خطوط المجال المغناطيسي فتقطع عدداً أقل من خطوط المجال المغناطيسي لكل وحدة زمن، لذا يقل التيار الكهربي المتولد إلى أن يصبح صفراً عندما يصبح الملف في وضع رأسي حيث تتحرك حينها قطع السلك بصورة موازية لخطوط المجال مما بدوره ينقص التيار الكهربي المتولد وصولاً إلى الصفر.



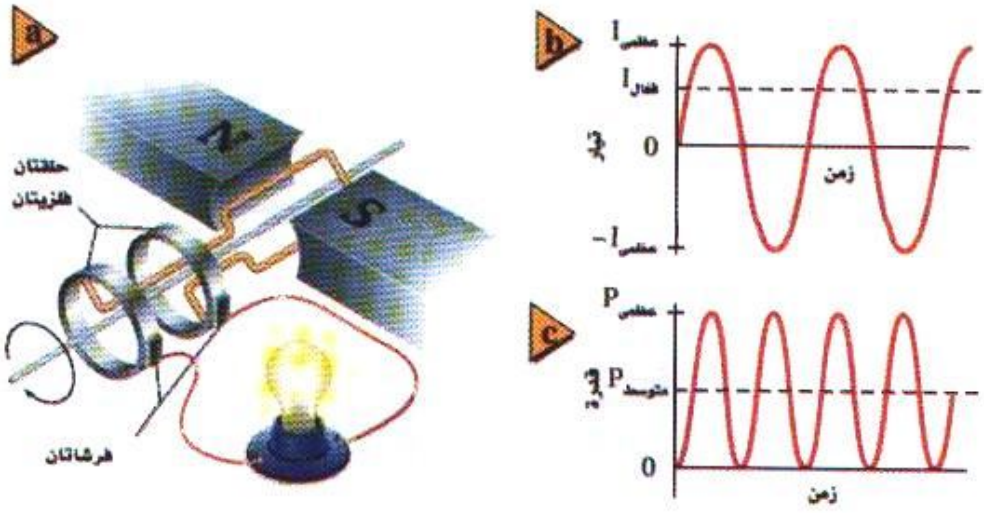
وهناك نوع آخر من المولدات الكهربية التي يمكن أن تولد تياراً موحد الاتجاه (غير متناوب) وذلك باستبدال الحلقتين الفلزيتين المتصلتين بطرف الملف بنصفي الحلقة، ويتحرك نصفا الحلقة بشكل متبادل أثناء الدوران بحيث تلامسان دائماً الفرشاتين. وعندما يكمل الملف نصف دورة ينتقل كلا طرفيه إلى نصف الحلقة الأخرى فيبقى اتجاه التيار في الدارة الخارجية ثابتاً رغم تغير اتجاهه في الملف ويسمى التيار في هذه الحالة التيار موحد الاتجاه.

مولدات التيار المتناوب

يعمل مصدر الطاقة على تدوير ملف المولد داخل المجال المغناطيسي بعدد ثابت من الدورات في الثانية. ومعظم الأدوات والأجهزة الكهربائية في الدول العربية تعمل بتيار تردده 60 Hz، حيث ينعكس اتجاه التيار 60 مرة في الثانية الواحدة. ويبين **الشكل 6–7a** كيف ينتقل التيار المتناوب AC في الملف إلى بقية أجزاء الدائرة. ويسمح ترتيب مجموعة الفرشاتين والحلقتين الفلزيتين الزلقتين للملف بالدوران بحرية، مع الاستمرار في السماح بعبور التيار الكهربائي إلى الدائرة الخارجية. ويتغير هذا التيار المتناوب بين صفر والقيمة العظمى في أثناء دوران ملف المولد، كما هو موضّح في **الشكل 6–7b**.

متوسط القدرة القدرة الناتجة بواسطة مولد كهربائي تساوي حاصل ضرب التيار الكهربائي في الجهد. ولأن كلًّا من التيار والجهد متغير فستكون القدرة المرافقة للتيار المتناوب متغيرة أيضًا. يوضّح **الشكل 6–7c** التمثيل البياني للقدرة الناتجة بواسطة مولد تيار متناوب AC. لاحظ أن القدرة تكون دائمًا موجبة؛ لأن I و V يكونان إما موجبين أو سالبين معًا. ومتوسط القدرة P_{AC} يمثل نصف القدرة العظمى. لذا فإن:

$$P_{AC} = \frac{1}{2} P_{AC\ \text{عظمى}}$$



التيار الفعّال $I_{\text{فعال}} = \frac{\sqrt{2}}{2} I_{\text{عظمى}}$

التيار الفعّال يساوي $\frac{\sqrt{2}}{2}$ مضروبًا في القيمة العظمى للتيار.

الجهد الفعّال $V_{فعال}$ = 0.707 $V_{عظمى}$ = $(\frac{\sqrt{2}}{2})V_{عظمى}$ = $V_{فعال}$

الجهد الفعّال يساوي $\frac{\sqrt{2}}{2}$ مضروبًا في القيمة العظمى للجهد.

حلول مسائل تدريبية:

5. a. $V_{عظمى} = 0.707\ V_{فعال}$

$$V = 0.707\ (170V) = 120.19V$$

b. $I_{عظمى} = 0.707\ I_{فعال}$

$$= 0.707\ (0.70A) = 0.494\ A$$

6. $V_{عظمى} = 0.707\ V_{فعال}$

$$V_{عظمى} = 0.707\ V$$

$$V_{عظمى} = \frac{117}{0.707} = 165.4\ V$$

$$I_{عظمى} = 0.707\ I_{فعال}$$

$$I_{عظمى} = \frac{5.5A}{0.707} = 7.7\ A$$

7. $V_{فعال} = 0.707\ (425V) = 300.4V$

b. $I_{فعال} = \frac{V}{R} = \frac{300.4}{5\times10^2} = 0.6\ A$

8. $PAC_{عظمى} = \frac{1}{2}\ PAC$

$$PAC_{عظمى} = 2\ P\ AC = 2 \times 75w = 150\ W$$

حلول مراجعة 1-6:

10. مصدر طاقة المصباح عندما يقود راكب الدراجة دراجته هو الطاقة الحركية للدراجة والتي يحولها المولد الكهربي إلى كهرباء تعمل على إضاءة المصباح في الدراجة.

13. يزداد الجهد الناتج عن مولد بزيادة المجال المغناطيسي بسبب زيادة الفيض المغناطيسي (عدد خطوط المجال التي تخترق وحدة المساحة) مع الزمن والذي بدوره يزيد من الجهد الناتج

وفق استنتاج فاراداي، وبالتالي يتأثر التيار المتولد (الناتج)، أيضا بزيادة مقدار المجال المغناطيسي حيث يعتمد التيار الناتج على الجهد الناتج.

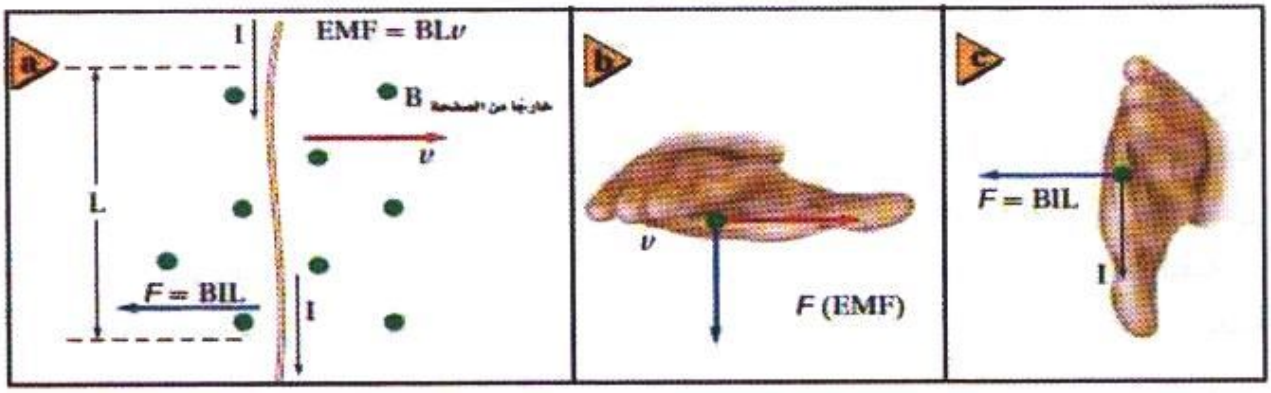
14. يعمل المولد الكهربي على تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية، حيث عندما يدور ملف المولد (طاقة حركية) حول محوره، يتغير مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترقه مما يؤدي إلى تولد قوة دافعة حثية في الملف تعتمد قيمتها على معدل تغير الفيض المغناطيسي بالنسبة للزمن، ويتغير الفيض المغناطيسي الذي يقطع مساحة الملف من الصفر عندما يكون مستوى الملف موازياً لخطوط المجال المغناطيسي إلى أقصى قيمة له عندما يكون مستوى الملق متعامدا مع خطوط المجال المغناطيسي.

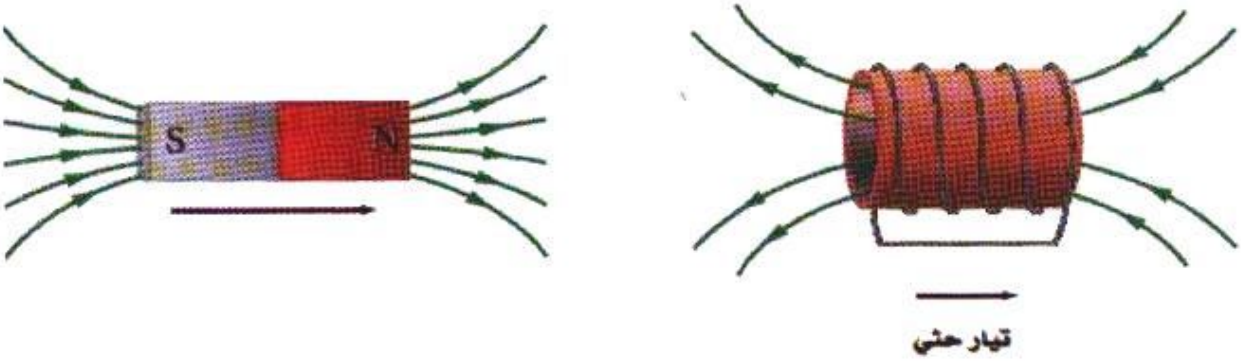
- تغير المجالات المغناطيسية يولد قوة دافعة كهربية حثية:

قانون لنز

تخيل جزءًا من سلك أحد الحلقات يتحرك خلال مجال مغناطيسي، كما هو موضح في الشكل **8a–6**. ستتولد في السلك قوة دافعة كهربائية حثية EMF تساوي BLv. إذا كان المجال المغناطيسي خارجًا من الصفحة واتجاه السرعة نحو اليمين فستكون القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة إلى أسفل؛ وذلك وفقًا للقاعدة الرابعة لليد اليمنى، لذا سيتولد تيار إلى الأسفل، كما هو موّضح في الشكل **8b–6**. تعلمت مما درسته من قبل أن السلك الذي يحمل تيارًا وموضوعًا داخل مجال مغناطيسي سيتأثر بقوة، وهذه القوة تكون ناتجة عن التفاعل بين المجال المغناطيسي الموجود والمجال المغناطيسي المتولد حول التيارات الكهربائية جميعها. ولتحديد اتجاه هذه القوة نستخدم القاعدة الثالثة لليد اليمنى. فإذا كان التيار I متجهًا إلى أسفل، والمجال المغناطيسي B متجهًا نحو الخارج فعندئذ تكون القوة الناتجة في اتجاه اليسار، كما هو موضّح في الشكل **6c–8**، وهذا يعني أن اتجاه القوة المؤثرة في السلك سيكون معاكسًا لاتجاه حركة السلك الأصلية v، ولذلك تعمل هذه القوة على إبطاء دوران ملف المولد. ولقد ظهرت أول طريقة لتحديد اتجاه هذه القوة في عام 1834م عن طريق العالم لنز، ولذا سميت قانون لنز.

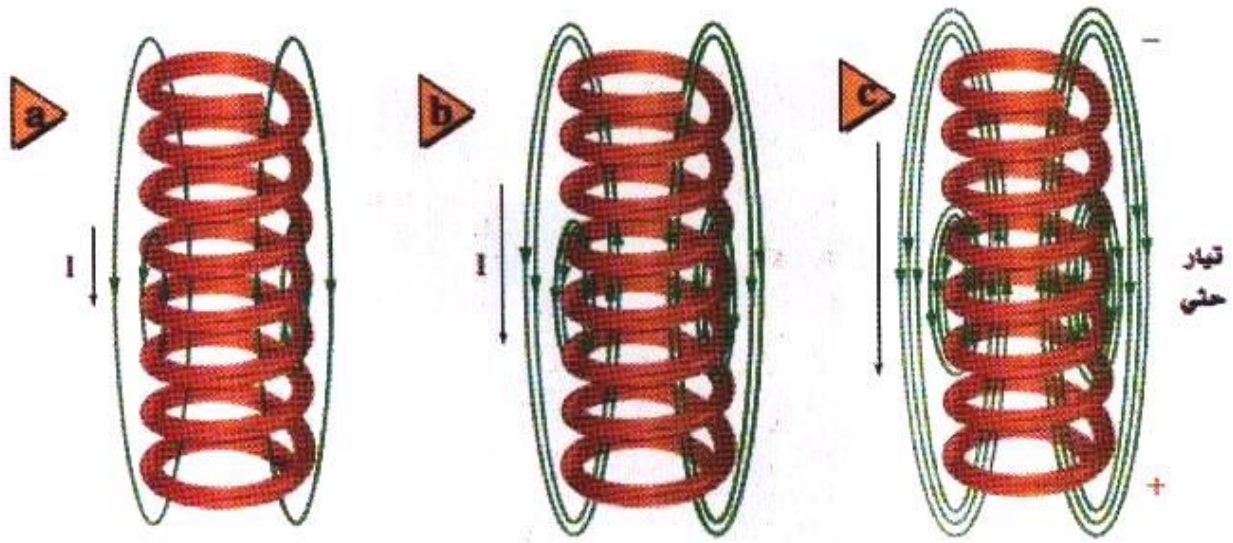
وينص قانون لنز على أن اتجاه التيار الحثي يعاكس التغير في المجال المغناطيسي الذي يسبب ذلك التيار الحثي. لاحظ أن التغير في المجال - وليس المجال نفسه - هو الذي يعاكس التأثيرات المغناطيسية الحثية.





إذا كان التيار الناتج عن المولد الكهربائي صغيرًا فستكون القوة المعاكسة المؤثرة في ملف المحرك صغيرة، لذا يدور الملف بسهولة. أما إذا كان التيار الناتج عن المولد كبيرًا فستكون القوة المؤثرة في التيار كبيرة، لذا يكون تدوير الملف أصعب. والمولد الذي يولّد تيارًا كبيرًا ينتج مقدارًا كبيرًا من الطاقة الكهربائية، وقوة الممانعة المؤثرة في الملف تعني أنه يجب تزويد الملف بطاقة ميكانيكية لإنتاج طاقة كهربائية، وهذا يتفق مع قانون حفظ الطاقة.

- **الحث الذاتي:**



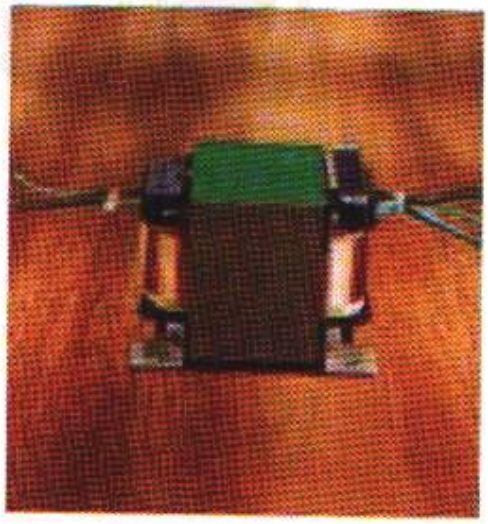
درست مسبقاً أن تياراً كهربياً حثياً يتولد في ملف عندما يتغير التدفق المغناطيسي خلال الملف سواء عندما يزداد أو ينقص التدفق.

عند وضع الملف (المحث) في دارة كهربية تحتوي على مفتاح وأميتر ومصدر جهد كهربي، فعند إغلاق الدارة الكهربية يتولد مجال مغناطيسي في اللفة الأولى يبدأ من الصفر ويزداد مع الزمن، مما يحدث تغيراً في التدفق المغناطيسي خلال اللفات الأخرى، فتتولد قوة دافعة كهربية حثية ينشأ عنها تياراً حثي في اتجاه يعاكس اتجاه التيار الأصلي حسب قاعدة لنز، إلى أن يصل التيار الكهربائي إلى اللفة الثانية فيتولد فيها مجال مغناطيسي ينشأ عنه تيار حثي وهكذا لبقية لفات الملف وهذا يعني أن التيار الكهربي في الدارة ينمو مع الزمن، وتسمى القوة الدافعة الحثية الذاتية كما يسمى التيار الناتج عنها التيار الحثي الذاتي، ويطلق على هذه العملية الحث الذاتي وهي تولد قوة دافعة حثية في نفس الملف (المحث) أو الدارة بسبب تغير شدة التيار الأصلي المار فيها.

إذا، يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربية الحثية مع المعدل الزمني الذي تتقاطع فيه خطوط المجال المغناطيسي مع الملف (المحث). وكلما كان التغير في التيار أسرع كلما كانت القوة الدافعة المعاكسة أكبر. وإذا بلغ التيار قيمة ثابتة يصبح المجال المغناطيسي ثابتاً وتكون قيمة القوة الدافعة الكهربية صفراً. وإذا قل التيار تتولد قوة دافعة كهربية تعمل على منع النقصان في المجال المغناطيسي والتيار. وبسبب الحث الذاتي يجب أن يتم بذل شغل لزيادة مرور التيار في الملف، فتخترق طاقة في المجال المغناطيسي، وهذا يشبه عملية تخزين الطاقة في المجال الكهربي بين لوحي مكثف كهربائي مشحون.

- **المحولات:**

يعد المحول الكهربي من التطبيقات العملية المهمة للحث المتبادل بين ملفين، إذ يتركب من ملفين ابتدائي وثانوي، وقلب من مادة فرومغناطيسية يتكون من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها للحد من الطاقة الكهربية المفقودة كما في الشكل الآتي:



ويستخدم المحول الكهربي لخفض أو رفع القوة الدافعة الكهربية المترددة ونقل الطاقة الكهربية من أماكن توليدها إلى أماكن استهلاكها دون فقد يذكر.

يقوم مبدأ عمل المحول الكهربي على مبدأ الحث المتبادل، فعندما يمر تيار متردد في الملف الابتدائي ينشأ عنه مجال مغناطيسي متغير الاتجاه تسري خطوطه في القلب الذي لف عليه الملفان مما يحدث تغيراً في التدفق المغناطيسي في الملف الثانوي، فتتولد فيه قوة دافعة حثية مترددة. ويوصل طرفا الملف الابتدائي بمصدر التيار المتردد وطرفا الملف الثانوي بالجهاز المطلوب امداده بقوة دافعة كهربية مترددة معينة، وعندما تكون دارة الملف الثانوي مفتوحة لا يمر تيار في الملف الابتدائي على الرغم من اتصال الملف الابتدائي بالمصدر الكهربي، ذلك لأن الحث الذاتي للملف الابتدائي يعمل على توليد قوة دافعة كهربية حثية تساوي وتعاكس القوة الدافعة الكهربية للمصدر فيتوقف التيار الأصلي تقريباً.

وعند توصيل طرفي الملف الابتدائي بمصدر جهد متردد فإن التغير في التدفق المغناطيسي يولد قوة داقعة كهربائية حثية في الملف الثانوي لها نفس التردد. وتسمى القوة الدافعة الكهربية المتولدة في الملف الثانوي الجهد الثانوي، وهو يتناسب مع الجهد الابتدائي، ويعتمد الجهد الثانوي أيضاً على النسبة بين عدد لفات الملف الثانوي وعدد لفات الملف الابتدائي، كما هو موضح في العلاقة:

$$\frac{\text{الجهد الثانوي}}{\text{الجهد}} = \frac{\text{عدد لفات الملف الثانوي}}{\text{عدد لفات الملف الابتدائي}}$$

أي ان:

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{V_s}{V_p}$$

وبفرض عدم وجود فقد في الطاقة الكهربية (المحول مثالي) فإنه تبعاً لقانون حفظ الطاقة تكون الطاقة الكهربية المستهلكة في دارة الملف الابتدائي مساوية للطاقة الكهربية المستهلكة في دارة الملف الثانوي ، أي أن:

$$P_p = P_s$$

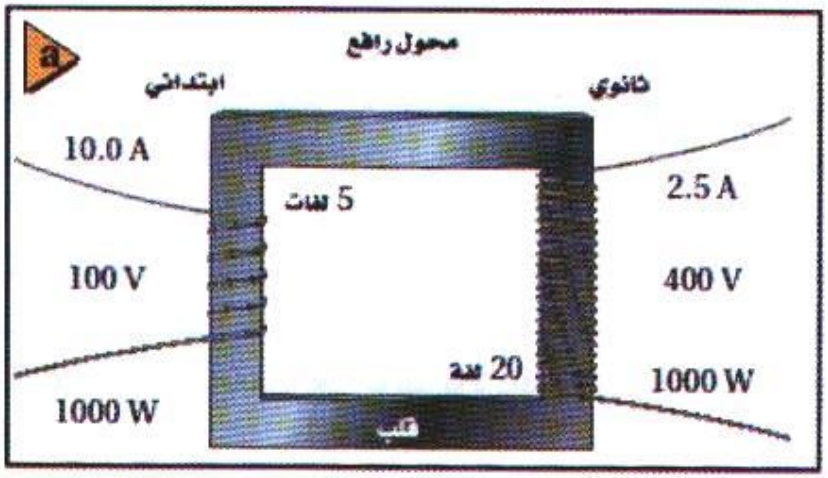
$$V_p I_p = V_s I_s$$

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$ معادلة المحول

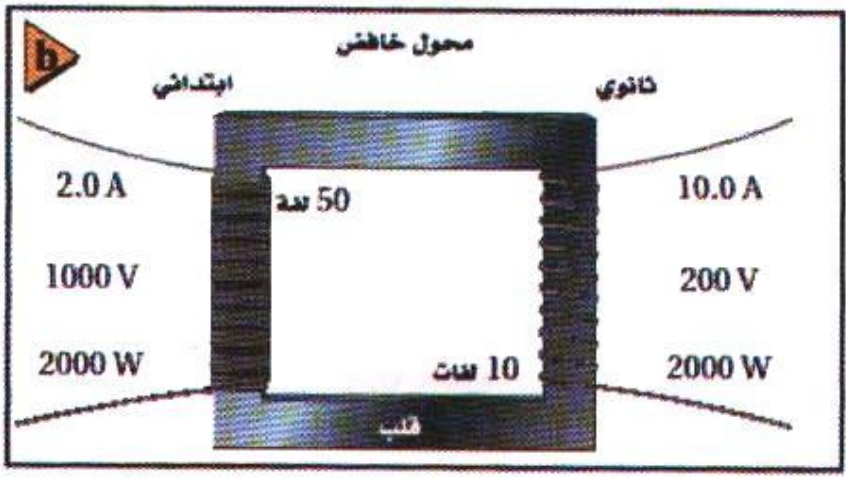
وهذا يقودنا إلى معادلة المحول التي تنص على أن:

النسبة بين التيار في الملف الثانوي والتيار في الملف الابتدائي تساوي النسبة بين جهد الملف الابتدائي وجهد الملف الثانوي، وتساوي النسبة بين عدد لفات الملف الابتدائي وعدد لفات الملف الثانوي أيضاً.

وتقسم المحولات إلى قسمين همت محولات رافعة تعمل على رفع القوة الدافعة الكهربية الخارجة وتخفض شدة التيار الخارج كما في الشكل



والثاني محولات خافضة تخفض القوة الدافعة الكهربية الخارجة، وترفع شدة التيار الخارج كما في الشكل:



ولا يوجد محول كفاءته *100%* إذ يحدث الفقد في الطاقة الكهربية للأسباب التالية:

١. تحول جزء من الطاقة الكهربية إلى طاقة حرارية في الأسلاك، وللحد من ذلك تستخدم أسلاك فلزية مقاومتها النوعية صغيرة.
٢. تحول جزء من الطاقة الكهربية إلى طاقة حرارية في القلب الحديدي بسبب التيارات الدوامية، وللحد من ذلك يصنع القلب من شرائح معزولة من الحديد المطاوع.
٣. تحول جزء من الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية تستنفذ في تحريك الجزئيات المغناطيسية للقلب وللحد من ذلك يصنع قلب المحول من سبيكة خاصة من الحديد المطاوع.
٤. عدم دخول بعض خطوط المجال المغناطيسي لقلب المحول فلا تقطع الملف الثانوي، وللحد من ذلك يلف الملف الثانوي حول الملف الابتدائي مع عزله عنه.

حلول مسائل تدريبية:

16. من معادلة المحول:

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{V_s}{V_p}$$

$$\frac{125}{7500} = \frac{Vs}{7.2}$$

$$Vs = 0.12\ kv$$

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{V_p}{V_s}$$

$$\frac{Ip}{36} = \frac{0.12}{7.2}$$

$$IP = 0.6A$$

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{V_s}{V_p}$$ 17.

$$\frac{90000}{300} = \frac{VS}{60}$$

$$VS = 18000V$$

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{V_p}{V_s}$$

$$\frac{IP}{0.5} = \frac{18000}{60}$$

$$IP = 150\ A$$

حلول مسألة تحفيز:

$$Ps = Is\ Vs$$

$$Is = \frac{Ps}{Vs} = \frac{10 \times 10^3 V}{120V} = 83.3A$$

2. القدرة المستهلكة في المحول Is تساوي

كفاءة المحول x Ps للمحول الثاني:

$$= 10\ kw \times \frac{97}{100} = 9.7\ kw$$

$$Vs = \frac{Ns}{Np}\ Bp = \frac{1}{5} \times 3kv = 0.6\ kv$$ .3

القدرة المستهلكة في المحول T2 = Ps في المحول الأول T1

= Is Vs

أي أن:

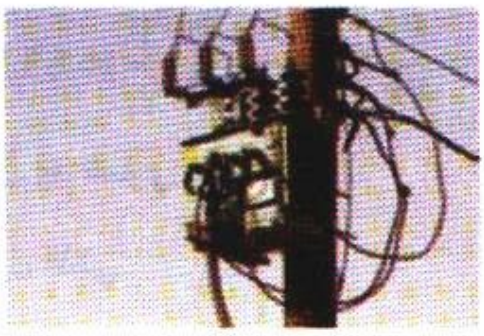
$$9.7 \text{ kw} = \text{Is} \times 0.6 \ kv$$

$$Is = \frac{9.7}{0.6} = 16\ A$$

الاستعمالات اليومية للمحوّلات تكون عملية نقل الطاقة الكهربائية لمسافات طويلة اقتصاديةً إذا استخدمت تيارات صغيرة وفروق جهد كبيرة جدًّا. ولذلك تستخدم المحولات الرافعة عند مصادر القدرة للحصول على جهود كهربائية تصل إلى **480000 V**، وتقلل هذه الجهود الكبيرة التيارات المستخدمة في نقل الطاقة عبر الأسلاك، مما يقلل من الطاقة الضائعة في المقاومات الكهربائية للأسلاك، وعندما تصل الطاقة إلى المستهلك تُستخدم محولات خافضة، كتلك الموضّحة في الشكل **15–6**؛ لتزود المستهلك بجهود منخفضة تناسب الأجهزة الكهربائية المنزلية.

تضبط المحولات الموجودة في الأجهزة المنزلية الجهود الكهربائية إلى مستويات قابلة للاستعمال، فإذا أردت شحن لعبة أو تشغيل أداة كهربائية فعليك توصيل أداة كهربائية في مخرج الكهرباء المثبت بالجدار. والمحول يوجد داخل هذه الأداة، وفي هذه الحالة يقلل الجهد من **220 V** إلى جهد يتراوح بين **3.0 V** و **20 V**.

ولا تستخدم المحولات لخفض الجهد ورفعه فقط. إذ يمكن استخدام المحولات لعزل دائرة عن أخرى، وهذا ممكن لأن سلك الملف الابتدائي لا يتصل بسلك الملف الثانوي. ويوجد هذا النوع من المحولات غالبًا في الأجهزة الإلكترونية الصغيرة.



حلول 2-6 مراجعة:

.18 يتأرجح الملف بطريقة الحث الكهرومغناطيسي لان تقريب المغناطيس من الملف يؤدي إلى توليد تيار كهربي حثي وبالتالي قوة دافعة عمودية على اتجاه المجال.

.19 لانه عند قطع التيار في الدائرة يتناقص الفيض المغناطيسي الناشئ عنه بسرعة فيتولد في الدائرة بالحث الذاتي قوة دافعة مستحثة كبيرة جدا (طردية) فتتغلب على مقاومة الهواء عند موضع القطع فتمر الشرارة الكهربية.

20. يعمل المحول على تيار متناوب فقط، وذلك لكي يحدث تغير في شدة المجال المغناطيسي الناشئ عنه مع الزمن محدثا تغيرا في الفيض المغناطيسي مما يؤدي إلى توليد قوة دافعة وتيار كهربي حثيين.

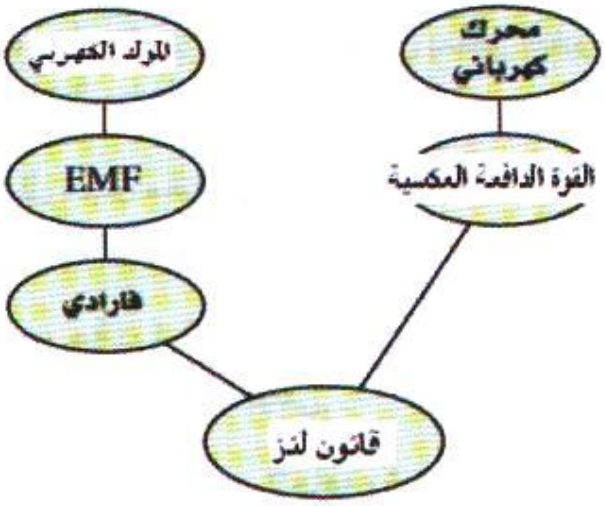
21. لان هناك علاقة عكسية بين مقاومة الأسلاك لمرور التيار وسمك هذه الأسلاك، فيكون سلك ملف المحول المكون من عدد كبير من اللفات رفيعاً لزيادة مقاومة هذه الأسلاك وتقليل شدة التيار الكهربي المار في الملف.

22. عند حدوث دائرة قصر في الملف الثانوي تصبح دارة الملف الثانوي مفتوحة ولا يمر تيار في الملف الابتدائي على الرغم من اتصال الملف الابتدائي بالمصدر الكهربي، لأن الحث الذاتي للملف الابتدائي يعمل على توليد قوة دافعة كهربية حثية تساوي وتعاكس القوة الدافعة الكهربية للمصدر فيتوقف التيار الأصلي.

23. لا تصلح المغانط الدائمة لصنع قلب محول جيد وذلك لأنها تؤدي إلى تولد التيارات الحثية الدوامية المتعامدة مع خطوط المجال المغناطيسي عند اختراقها من قبل فيض مغناطيسي متغير، فتؤدي هذه التيارات الحثية إلى استنفاذ جزء من الطاقة الكهربية إلى طاقة حرارية.

حلول التقويم:

.24



25. الجزء المتحرك في المولد الكهربي هو الملف الذي تتصل طرفاه بحلقتين فلزيتين تدوران مع الملف حول نفس المحور.

26. يستخدم الحديد في الملف الكهربي لأنه ذو مقاومة نوعية صغيرة لمرور التيار الكهربي فيعمل على الحد من تحول الطاقة الكهربية إلى طاقة حرارية في أسلاك الملف.

27. يجب أن يتحرك الموصل في نفس اتجاه المجال المغناطيسي أو عكسه.

29. كلما زاد الطول الكلي للموصل داخل المولد الكهربي فإن ذلك يزيد من عدد الخطوط المغناطيسية التي تقطع وحدة المساحة بمعنى تزداد القوة الدافعة الكهربية المتولدة .

30. تتشابه نتائج كل من أورستد وفاراداي في اعتمادهما على مبدأ الحث الكهرومغناطيسي، ويختلفان في أن نتائج أورستد تتعلق باكتشاف الأثر المغناطيسي للتيار الكهربي، ونتائج فاراداي تتعلق باكتشاف الأثر الكهربي للمجال المغناطيسي.

31. نقوم بتحريك القضيب المغناطيسي بحيث تخترق خطوط المجال المغناطيسي الملف السلكي فيتولد في الملف تيار كهربي حثي يكون اتجاهه بحيث يقاوم المسبب له بمعنى أن يولد حسب قاعدة اليد اليمنى الأولى مجالاً مغناطيسياً في عكس اتجاه المجال الناشئ عن القضيب.

32. EMF ترمز إلى القوة الدافعة الكهربية، وسبب عدم دقة هذه الاسم هو أن القوة الدافعة الكهربية في الواقع ليست قوة، إنما هي فرق جهد وتقاس بوحدة الفولت.

33. المحرك الكهربي يعتمد على تحويل الطاقة الكهربية إلى حركية.

34. يتكون مولد التيار المتناوب AC من فرشاتين وحلقتين فلزيتين وملف ودائرة خارجية ومغناطيس (مصدر مجال مغناطيسي منتظم).

35. تكون القيمة الفعالة للتيار المتناوب أقل من القيمة العظمى للتيار، لانه لا يوجد مولد مثالي كفاءته100% إنما يتم فقد جزء من الطاقة الكهربية في أسلاك المولد.

36. طاقة كهربية ناتجة (مولدة) ..... طاقة حركية للتوربين ..... طاقة وضع للمياه

37. تنص قادة لنز على أن القوة الدافعة الحثية، وبالتالي اتجاه التيار الحثي المتولد في دائرة كهربية بحيث يقاوم المسبب له أي يقاوم التغير في الفيض بمعنى التغير في عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تخترق وحدة المساحة.

44. عندما يتحرك سلك داخل مجال مغناطيسي فإن مقاومة الدائرة المغلقة تؤثر في التيار حيث تضعفه وبالتالي تضعف القوة الدافعة .

45. عندما يبطئ أحمد من سرعة دراجته الهوائية فإنه يؤدي إلى تناقص القوة الدافعة المتولدة من دراجته بسبب تناقص شدة الفيض المغناطيسي.

46. نعم، حيث أن التيار المتناوب المار يغير اتجاهه وشدته مرتين في كل دورة.

47. حسب قاعدة اليد اليمنى الرابعة فإن اتجاه التيار الحثي المتولد يكون إلى الأعلى على خارج الصفحة.

48. عندما نغلق الدارة الكهربية يتولد مجال مغناطيسي في اللفة الأولى يبدأ من الصفر ويزداد مع الزمن مما يحدث تغيراً في الفيض المغناطيسي خلال اللفات.

49. حسب القاعدة الأولى لليد اليمنى فإن اتجاه التيار الحثي يصنع زاوية قدرها 90 مع اتجاه المجال المغناطيسي.

50. يضئ المصباح مادام المفتاح مغلقاً في الدارة الكهربية لطالما مر تيار متناوب في الملف الابتدائي بحيث لا يزال يولد مجالاً مغناطيسي متغير الاتجاه تسري خطوطه في القلب الذي لف عليه الملفان.

51. حسب القاعدة الرابعة لليد اليمنى.

52. a. نحو اليسار حسب القاعدة الرابعة لليد اليمنى

b. حسب قاعدة اليد اليمنى .

53. a. اتجاه التيار الحثي سيكون إلى يسار الأنبوب النحاسي وفق قاعدة اليد اليمنى.

b. اتجاه خطوط المجال المتولد من التيار الحثي ستكون بعكس اتجاه خطوط المجال المغناطيسي.

58. الحث المتبادل عندما يمر تيار متناوب في الملف الابتدائي للمحول فإنه يولد بدوره مجال مغناطيسي متغير الاتجاه.

59. a. اتجاه التيار الحثي سيكون إلى يمين الأنبوب.

b. الاتجاه سيكون بعكس اتجاه خطوط المجال المغناطيسي للمغناطيس الساقط.

60. $B = \frac{40V}{(20m)\left(4\frac{m}{s}\right)sin\,90} = 0.5\,T$

61. $EMF = (4.5 \times 10^{-5}T)(75m)\left(\frac{9.50\times10^{2}\times10^{3}m}{60\times60s}\right)\sin 90 = 0.89\,V$

62. $EMF = (0.30T)(0.75m)\left(16\frac{m}{s}\right)\sin 90 = 3.6\,V$

B. $I = \frac{3.6}{11} = 0.32\,A$

63. $V = \frac{10V}{(2.5T)(0.20m)sin\,90} = 20\,\frac{m}{s}$

V فعال $= 0.707\ (656V) = 399.4\ V$ .64

V فعال $= 0.707\ (150V) = 106.05\ V$ a. .65

I فعال $= 0.707\ (30A) = 21.21\ A$ b.

V عظمى $= \frac{240V}{0.707} = 339.4\ V$ .66

$L = \frac{4.5V}{(0.050T)\left(4\frac{m}{s}\right)sin\,90} = 22.5\ m$ .67

$EMF = (0.32T)(0.40m)\left(13\frac{m}{s}\right)\sin 90 = 1.664\ V$ .68

$Ns = \frac{(625)(150)}{120V} = 781.25$ .74

$Ns = \frac{35\ (150)}{120V} = 43.75$ b.

$Ns = \frac{(6)(150)}{120V} = 7.5$ c.

$Vs = \frac{120\ (120)}{80} = 180\ V$ .75

$Ip = \frac{180\ (2A)}{120V} = 3A$ b.

$Pp = Ip\ Vp = (2A)(120V) = 240\ w$ c.

$Ps = Is\ Vs = (3A)(180V) = 540\ W$

$Ns = \frac{(9V)(475)}{120V} = 35.6$ .76