١٢

بسم الله الرحمن الرحيم

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم

الفيزياء

الرزمة التعليمية

٢٠٢٤

جميع حقوق الطبع محفوظة ©

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم

مركز المناهج

حي الماصيون، شارع المعاهد
ص. ب 719 – رام الله – فلسطين
pcdc.edu.ps | pcdc.mohe@gmail.com
فاكس 2983250-2-970+ | هاتف 2983280-2-970+
moehe.gov.ps | mohe.pna.ps | mohe.ps
.com/MinistryOfEducationWzartAltrbytWaltlym

المحتويات

الوحدة الأولى	الميكانيكا	
الفصل الأول	الزخم (كمية التحرك) الخطي والدفع	2
الفصل الثاني	التصادمات	9

الوحدة الثانية	الكهرباء المتحركة	
الفصل الرابع	التيار الكهربائي والمقاومة	22
الفصل الخامس	دارات التيار المستمر	27

الوحدة الثالثة	الكهرومغناطيسية	
الفصل السادس	المجال المغناطيسي	44
الفصل السابع	القوة المغناطيسية	54
الفصل الثامن	الحث الكهرو مغناطيسي	64

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذه الوحدة والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على تحقيق الآتي:

- اكتساب مهارة إجراء التجارب العلمية وحل المشكلات الفيزيائية.
- تقدير جهود العلماء في اكتشاف قوانين الفيزياء التي تفسر الظواهر الطبيعية، وما ينبثق عنها من تطبيقات عملية.
- تصميم مشروع حول أسباب حوادث الطرق وسبل الحد منها.
- المقارنة بين الأنواع المختلفة من التصادمات من حيث حفظ الطاقة الحركية.
- المقارنة بين متغيرات الحركة الخطية ومتغيرات الحركة الدورانية والعلاقة بينها (الموضع، والسرعة،والتسارع، والقوة، وعزم القوة).
- تفسير بعض التطبيقات العملية على الحركة الدورانية.
- اكتساب مهارة التحليل الفيزيائي للمسائل التي لها علاقة بالكهرباء.
- توظيف معرفتهم بالقوانين والعلاقات الرياضية التي تربط بين مفاهيم الكهرباء في حياتهم اليومية.
- تفسير العديد من الظواهر الطبيعية المتعلقة بالكهرباء.
- تصميم مشروع لسيارة تعمل بالكهرباء باستخدام الخلايا الشمسية.
- حل مسائل في حساب المجال المغناطيسي والقوة المغناطيسية والحث الكهرومغناطيسي.
- توضيح بعض التطبيقات الكهرومغناطيسية في الحياة.
- تصميم مشروع لبناء نموذج لقطار مغناطيسي.

الوحدة الأولى: الميكانيكا

الفصل الأول:

الزخم (كمية التحرك) الخطي والدفع (Linear Momentum and Impulse)

1-1 الزخم الخطي (Linear Momentum)

عندما يتحرك جسم ما فإنه يؤثر بقوة في أي جسم آخر يحاول إيقافه أو يعيق حركته، وكلما كانت كتلة الجسم المتحرك (m) أو سرعته (v) كبيرة كانت الصعوبة في إعاقة حركته أكبر، ويعبر عن ذلك بمفهوم الزخم .

الزخم: كمية فيزيائية متجهة تساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته، وتكون باتجاه السرعة.

الزخم = كتلة الجسم × سرعته

$$\mathbf{P} = m\,\mathbf{v} \qquad (1\text{-}1)$$

أناقش:

١. ما وحدة قياس الزخم في النظام الدولي؟
٢. ما العوامل التي يعتمد عليها الزخم؟
٣. أثبت أن $\left(\frac{J.s}{m}\right)$ هي وحدة قياس للزخم.
٤. ما العلاقة بين زخم الجسم وطاقته الحركية؟

مثال (1): احسب الزخم لكل مما يأتي:

١. سيارة كتلتها 1000 kg تسير بسرعة 20 m/s تجاه الشرق.
٢. كرة كتلتها 2 kg تتحرك نحو الجنوب بطاقة حركية 16 J

الحل:

للسيارة :

1) $\mathbf{P} = m\,\mathbf{v}$

$= 1000 \times 20$

$= 2 \times 10^4$ kg. m/s باتجاه الشرق

2) $K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$

$p = \sqrt{2\,m\,K}$

$= \sqrt{2 \times 2 \times 16}$

$= \sqrt{64}$

$\mathbf{p} = 8$ kg.m/s (جنوباً)

سؤال: مركبتان متساويتان في الكتلة، وسرعة إحداهما ضعفا سرعة الأخرى، أيهما تحتاج قوة أقل لإيقافها في نفس الفترة الزمنية ولماذا؟

2-1 الدفع (Impulse)

يلعب الدفع دوراً مهماً في حياتنا؛ لأن له تطبيقات كثيرة، مثل دفع كرة تنس، وكرة قدم، وكرة البيسبول، وكرة بلياردو، ودفع القذيفة.

فلماذا تدفع سيارة عندما لا يعمل محركها؟ لا شك أنك تدفعها لتزيد من سرعتها إلى حد يكفي لتشغيل محركها. فلو فرضنا أنك دفعت سيارة لفترة زمنية (Δt) بقوة ($\mathbf{F}$) فإن دفع تلك القوة يعطى بالعلاقة:

الدفع = متوسط القوة المؤثرة × زمن تأثيرها

$$\mathbf{I} = \mathbf{F}\ \Delta t \qquad (1\text{-}2)$$

الدفع: كمية فيزيائية متجهة تساوي حاصل ضرب متوسط القوة في زمن تأثيرها، واتجاهه باتجاه القوة.

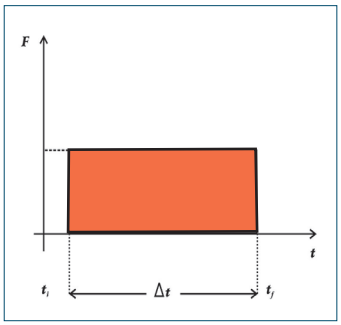
أناقش:

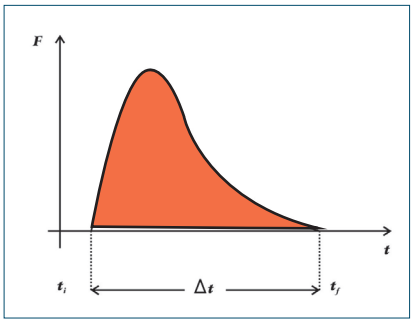
١. ما وحدة قياس الدفع؟
٢. ما العوامل التي يعتمد عليها الدفع؟
٣. بين أن وحدة الدفع هي وحدة الزخم نفسها.
٤. أذكر أمثلة أخرى على قوة تكسب الأجسام دفعاً؟

إذا أثرت مجموعة من القوى الثابتة على جسم، فإن الدفع الكلي على الجسم يساوي حاصل ضرب محصلة القوى المؤثرة في الجسم في فترة زمن تأثيرها، وتعطى من العلاقة:

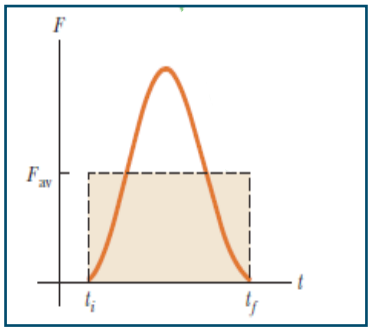
$$\mathbf{I} = \sum \mathbf{F}\ \Delta t \qquad (1\text{-}3)$$

أما إذا أثرت قوة متغيرة على الجسم خلال فترة زمنية، فإنه يمكن تمثيل مقدار الدفع بيانياً بالمساحة المحصورة تحت منحنى (القوة - الزمن)، كما في الشكل (1-1).





الشكل (1-1)



الشكل (1-2)

ويعرف متوسط قوة الدفع: القوة الثابتة التي إذا أثرت في الجسم خلال نفس المتغيرة أكسبته نفس الكمية من الدفع. والشكل (1-2) يوضح ذلك.

3-1 نظرية الدفع - الزخم Momentum- Impulse Theorem

يُعد الركض على الأقدام عملاً شاقاً؛ فعندما يضرب العدّاء الأرض بقدمه تؤثر الأرض في القدم بقوة قد تزيد عن وزنه. ويصمم الحذاء الرياضي بحيث يكون نعله مزوداً بوسائد امتصاص؛ لتقليل القوة المؤثرة في القدم، من خلال إطالة زمن تأثير القوة.

نفرض أن قوة محصلة **F** أثرت في جسم ما كتلته (m) في زمن مقداره (Δt) فغيرت سرعته بمقدار Δv ، فإن التغير في زخمه **ΔP**:

$$\mathbf{\Delta P} = \Delta(m\,\mathbf{v}) = m\Delta v$$ بفرض أن الكتلة ثابتة

وبقسمة طرفي المعادلة على الزمن ينتج:

$$\frac{\mathbf{\Delta P}}{\Delta t} = \frac{m\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$$

وبما أن: $\mathbf{a} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$ حيث (**a** تمثل متوسط التسارع الذي يكتسبه الجسم تحت تأثير القوة)

$$\frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t} = m\,\mathbf{a}$$

أي أن:

$$\frac{\mathbf{\Delta P}}{\Delta t} = \mathbf{F} \qquad (1\text{-}4)$$

تعد المعادلة (4-1) الصيغة العامة للقانون الثاني لنيوتن، ويمكن من خلالها تعريف القوة المحصلة بأنها: المعدل الزمني للتغير في الزخم.

وبالضرب التبادلي تستنتج أن:

$$\Delta \mathbf{P} = \mathbf{F}\ \Delta t \qquad (1\text{-}5)$$

وتعرف العلاقة (5-1) بنظرية الدفع - الزخم، وتشير إلى أن « الدفع الذي تحدثه القوة المحصلة في الجسم خلال فترة زمنية ما يساوي التغير في زخم الجسم خلال تلك الفترة.»

سؤال:

١. مستخدما نظرية الدفع – الزخم، بين أهمية تزويد المركبات الحديثة بوسادات هوائية (Air Bags).

٢. كيف يحدث تغير في زخم الجسم؟ أعط أمثلة وشواهد من الحياة.

مثال (2):

سيارة كتلتها 1200 kg تسير بسرعة 20 m/s نحو السينات الموجب، فإذا ضغط السائق على كوابح السيارة فانخفضت سرعتها إلى 8 m/s في نفس الاتجاه في زمن مقداره 6 s، احسب متوسط القوة التي أثرت في السيارة خلال هذه الفترة.

الحل:

$$\mathbf{F}\ \Delta t = \Delta \mathbf{P} = \mathbf{P}_f - \mathbf{P}_i$$

$$= m\mathbf{v}_f - m\mathbf{v}_i$$

$$F \times 6 = 1200\ (8 - 20)$$

$$F \times 6 = -14400$$

$$F = -2400\ N$$

الإشارة السالبة تشير إلى أن القوة المؤثرة عكس اتجاه الحركة، أي في إتجاه المحور السيني السالب.

4-1 حفظ الزخم Conservation of Momentum

توصلنا إلى أن التغير في زخم جسم يساوي الدفع الذي يتلقاه بفعل القوة المحصلة المؤثرة فيه خلال فترة تأثيرها. فإذا كانت محصلة القوى الخارجية المؤثرة في مجموعة من الأجسام تساوي صفراً سمَّيت مجموعة الأجسام بالنظام المعزول.

والقوى الوحيدة التي تؤثر في النظام المعزول: هي القوى المتبادلة بين الأجسام أو الجسيمات داخل النظام.

بمعنى في النظام المعزول ميكانيكياً يمكن كتابة المعادلة (5 - 1) كما يأتي:

$$\mathbf{F}\,\Delta t = \Delta \mathbf{p} = \mathbf{p}_f - \mathbf{p}_i = 0$$

$$\mathbf{p}_f = \mathbf{p}_i = \text{مقدار ثابت}$$

حيث $\mathbf{p}_i$ ، $\mathbf{p}_f$ ترموزان لزخم النظام قبل التصادم وبعده.

ويقال عند ثبوت أية كمية فيزيائية خلال أية عملية إن هذه الكمية محفوظة.

قانون حفظ الزخم:

إذا كانت محصلة القوى الخارجية المؤثرة في مجموعة من الأجسام بينها تأثير متبادل في نظام مغلق (مجموعة الأجسام التي تبقى كتلها ثابتة خلال أية عملية تبادل للقوى) تساوي صفراً، فإن مجموع زخم هذه الأجسام يبقى ثابتاً أو محفوظاً.

$$\sum \mathbf{P}_i = \sum \mathbf{P}_f \qquad (1\text{-}6)$$

مثال (3):

يجلس طالب كتلته (35 kg) في قارب ساكن كتلته (65 kg)، ويحمل صندوقاً كتلتها (6 kg) إذا قذف الولد الصندوق أفقياً بسرعة مقدارها (10 m/s). وبإهمال مقاومة الماء، جد سرعة القارب بعد قذف الصندوق مباشرة.

الحل:

$$\sum P_i = \sum P_f$$

$$(m_1 + m_2)v_i = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

$$0 = 6 \times 10 + 100 v_{2f}$$

$$v_{2f} = -0.60 \text{ m/s}$$

سؤال: انفجر جسم ساكن إلى جزأين، كتلة الأول مثلي كتلة الثاني. إذا كانت الطاقة الحركية الناتجة عن الانفجار تساوي 7500 J ، ما الطاقة الحركية التي يكتسبها كل منهما؟

أسئلة الفصل

س١: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

١. أي الكميات الآتية تمثل (المعدل الزمني للتغير في الزخم)؟

أ) الدفع ب) الشغل جـ) القوة د) التسارع

٢. ما مقدار الدفع على الحائط عند اصطدام جسم كتلته 2 kg يتحرك أفقيا بسرعة 4 m/s بحائط وارتداده بنفس السرعة بوحدة (N.s) بإتجاه معاكس لحركته؟

أ) 8 ب) 16 جـ) 0 د) 32

٣. إذا مثلت العلاقة بيانياً بين الزخم لجسم على المحور الصادي والزمن على المحور السيني، ماذا يمثل ميل المنحنى؟

أ) الزخم ب) مقلوب الدفع جـ) الطاقة الحركية د) القوة

٤. جسم كتلته 0.5 kg سقط من السكون من ارتفاع 180 cm عن سطح الأرض، ما مقدار زخمه عند وصوله الأرض بوحدة (kg.m/s)؟

أ) 5 ب) 6 جـ) 3 د) 9

٥. يدور قمر صناعي حول الأرض فإذا كانت كتلته (m) ومقدار سرعته (v) ثابت، فما مقدار التغير في زخمه لدى اجتيازه نصف المدار حول الأرض؟

أ) 0 ب) $\frac{1}{2}$ m v جـ) m v د) 2 m v

٦. جسم كتلته 4 kg يتحرك بسرعة 2 m/s أثرت عليه قوة 8N بنفس اتجاه حركته لمدة 5s، كم يصبح مقدار زخمه بوحدة (kg.m/s)؟

أ) 32 ب) 8 جـ) 40 د) 48

٧. كرة كتلتها 0.2 kg تقترب أفقياً من مضرب لاعب بسرعة 40 m/s وترتد عنه بالإتجاه المعاكس بسرعة 50 m/s إذا دام التلامس 0.2s، فكم يساوي مقدار متوسط القوة التي يؤثر بها المضرب على الكرة بوحدة N ؟

أ) 18 ب) 10 جـ) 90 د) 2

٨. في منحنى (القوة – الزمن)، ماذا تمثل المساحة تحت المنحنى؟

أ) التغير في السرعة　　ب) التسارع　　جـ) الدفع　　د) الزخم

٩. إذا دفع رجل كتلته 70 kg يقف على أرض جليدية أفقية ولداً ساكناً كتلته 50 kg، فكم يساوي التغير في زخم الرجل والولد معاً بوحدة (kg.m/s)؟

أ) 0　　ب) 100　　جـ) 140　　د) 240

١٠. إذا علمت مقدار الدفع المؤثر على جسم كتلته (m)، فأي مما يأتي تستطيع حسابه؟

أ) سرعته الابتدائية　　ب) سرعته النهائية　　جـ) تسارعه　　د) التغير في سرعته

١١. قذيفة كتلتها 2 kg انطلقت أفقياً بسرعة 200 m/s من فوهة مدفع ساكن كتلته 500 kg، ما سرعة ارتداد المدفع بوحدة (m/s)؟

أ) 1.25　　ب) 0.75　　جـ) 0.8　　د) 2.5

س٢: وضح المقصود بكل من: الزخم، والدفع، والنظام المعزول.

س٣: علل:

١. تنكسر بيضة نيئة إذا سقطت من ارتفاع ما باتجاه أرض صلبة من الإسمنت وقد لا تنكسر البيضة نفسها إذا وقعت على أرض رملية من نفس الإرتفاع.

٢. تكون مواسير بنادق الصيد طويلة.

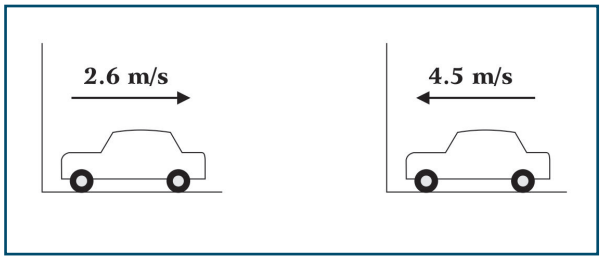
٣. سرعة ارتداد المدفع أقل بكثير من سرعة انطلاق القذيفة.

س٤: ضرب لاعب كرة ساكنة كتلتها 0.6 kg ، فانطلقت بسرعة 15 m/s، احسب:

أ- التغير في زخم الكرة.

ب- متوسط القوة التي أثر بها اللاعب على الكرة إذا دام التلامس 0.06s

س٥: في الشكل تقترب سيارة كتلتها 1600 kg من جدار وترتد عنه في الإتجاه المعاكس، فما:



١. التغير في زخم السيارة.

٢. الطاقة الحركية المفقودة.

الفصل الثاني:

2-1 التصادم Collision

تزخر الطبيعة بأمثلة كثيرة على التصادم في العالم الجاهري فهناك تصادم كرات البلياردو، والكرات الزجاجية، والسيارات وغيرها. أما في العالم المجهري فهناك تصادم جزيئات الغاز بعضها مع بعض ومع جدران الوعاء الذي يحويها، وتصادم النيوترونات مع أنوية الذرات في التفاعلات النووية. وعند التصادم يكون التفاعل المتبادل بين الأجسام المتصادمة في النظام غالباً أكبر بكثير من التفاعل بين النظام والمحيط، عندها يمكننا إهمال أي قوى أخرى خلال فترة التصادم القصيرة. وبذلك يُعدّ النظام معزولاً، ويكون الزخم الكلي محفوظاً. فماذا نعني بالتصادم؟

التصادم: تأثير متبادل بين جسمين أو أكثر أحدهما على الأقل متحرك، وتؤثر خلاله الأجسام المتصادمة بعضها في بعض بقوة خلال فترة زمنية قصيرة نسبياً.

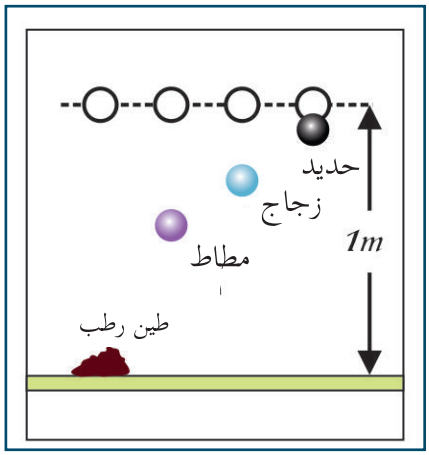
وتأتي أهمية دراسة التصادم بين الأجسام المختلفة في الحياة العملية كونه أساساً لكثير من الألعاب الرياضية والترفيهية، كما تفيد في تحليل حوادث السير، وتعطي معلومات عن طبيعة الأجسام المتصادمة ومرونتها. وأسهمت دراسة نتائج تصادم الجسيمات الأولية في بناء النماذج الذرية.

2-2 أنواع التصادمات Types of Collisions

في أي نظام معزول ميكانيكياً يكون الزخم محفوظاً،فهل يعتبر التصادم نظاماً معزولاً، وهل جميع التصادمات متماثلة؟ نتيجة التصادم ليست دائماً واحدة، فهي لا تتأثر بحفظ الزخم فقط وإنما تتأثر بطبيعة القوى المؤثرة أثناء التصادم. للتعرف إلى أنواع التصادمات، يمكنك إجراء النشاط التالي:

مهمة بيتية:

المواد والأدوات: أربع كرات متقاربة الحجم من المواد الآتية: حديد، وزجاج، ومطاط، ومعجون (صلصال).



الخطوات:

١. حدد ارتفاعاً ليكن 1 m ثم أسقط منه الكرات المختلفة الواحدة تلو الأخرى على سطح صلب أملس.
٢. لاحظ الارتفاع الذي ارتدت إليه كل من الكرات بعد اصطدامها بالسطح، وسجل النتائج.
٣. كرر المحاولة من ارتفاعات مختلفة.
ماذا تلاحظ؟
٤. هل هناك علاقة بين الطاقة الحركية التي ترتد بها الكرة والارتفاع الذي تصل اليه؟
٥. ما تحولات الطاقة من لحظة سقوط الكرة حتى ارتدادها ووصولها الى أقصى إرتفاع؟

إن النقص في طاقة وضع كل كرة من الكرات بين الارتفاع الذي سقطت منه والارتفاع الذي ارتدت إليه يمثل مقدار الطاقة الحركية التي فقدتها نتيجة التصادم حسب قانون حفظ الطاقة.

لاحظت من النشاط السابق أن هناك تفاوتاً في الارتفاعات التي وصلت إليها الكرات المختلفة بعد ارتدادها، ما يدل على تفاوت في مقدار النقص في طاقة الحركة لهذه الكرات عند اصطدامها بالسطح.

يسمى التصادم مرناً في حال عدم وجود أي نقص في هذه الطاقة نتيجة للتصادم. أما في حال نقصان الطاقة الحركية فيكون التصادم غير مرن، وإذا التحم الجسمان معاً وتحركا كجسم واحد بعد التصادم تكون حالة خاصة من التصادم غير المرن ويسمى تصادماً عديم المرونة.

أناقش:

١. ما أشكال فقدان الطاقة الحركية نتيجة التصادم؟
٢. علام يعتمد مقدار الطاقة الحركية المفقودة نتيجة التصادم؟
٣. أذكر أمثلة من الحياة اليومية على أنواع التصادم محدداً نوعه بناء على ما سبق.

عند تصادم جسمين معاً يؤثران في بعضهما بقوى تأثير متبادلة حسب القانون الثالث لنيوتن:

$$\mathbf{F}_{21} = -\mathbf{F}_{12}$$

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta t} = -\frac{\Delta P_2}{\Delta t}$$

أي أن التغير في زخم كلتا العربتين:

$$\Delta P_1 + \Delta P_2 = 0$$

$$m_1 v_{1f} - m_1 v_{1i} + m_2 v_{2f} - m_2 v_{2i} = 0$$

$$m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f} = m_2 v_{2i} + m_1 v_{1i} \qquad (2\text{-}1)$$

حيث : v_{1i}: سرعة الجسم الأول قبل التصادم مباشرة.

v_{2i}: سرعة الجسم الثاني قبل التصادم مباشرة.

v_{1f}: سرعة الجسم الأول بعد التصادم مباشرة.

v_{2f}: سرعة الجسم الثاني بعد التصادم مباشرة.

نستنتج مما سبق أنه في النظام المعزول يكون الزخم للنظام قبل التصادم مباشرة يساوي الزخم له بعد التصادم مباشرة.

كذلك فإن مجموع الطاقة الحركية للعربتين قبل التصادم مباشرة يساوي مجموع الطاقة الحركية لهما بعد التصادم مباشرة اذا كان التصادم مرناً؛ وهذا يعني أن الطاقة الحركية محفوظة. $\sum K_i = \sum K_f$

$$\frac{1}{2} m_1 v^2_{1i} + \frac{1}{2} m_2 v^2_{2i} = \frac{1}{2} m_1 v^2_{1f} + \frac{1}{2} m_2 v^2_{2f} \qquad (2\text{-}2)$$

ويمكن من المعادلتين(2-1) و (2-2) اثبات أن :

$$v_{12i} = -v_{12f} \qquad (2\text{-}3)^*$$

حيث:

v_{12i}: تعني سرعة الجسم الأول بالنسبة للجسم الثاني قبل التصادم مباشرة.

v_{12f}: تعني سرعة الجسم الأول بالنسبة للجسم الثاني بعد التصادم مباشرة.

ويمكن استخدام المعادلة (2-3) بدل قانون حفظ الطاقة الحركية. وكذلك، نستنتج منها أنه في حالة التصادم المرن في بُعدٍ واحدٍ فإن السرعة النسبية للجسمين قبل التصادم تساوي السرعة النسبية للجسمين بعد التصادم في المقدار وتعاكسها في الاتجاه.

التصادم المرن: تأثير متبادل بين جسمين (أو أكثر) أحدهما على الأقل متحرك بحيث يتحرك كل منهما بشكل مفرد قبل التصادم وبعده، ويتحقق فيه قانونا حفظ الزخم وحفظ الطاقة الحركية.

مثال (1):

جسم كتلته (4 kg) يتحرك لليمين بسرعة (2 m/s)، اصطدم بجسم آخر كتلته (2 kg) ، ويتحرك في اتجاه معاكس وبمقدار السرعة نفسها، احسب سرعة كل من الجسمين بعد التصادم مباشرة إذا كان التصادم مرنا.

الحل:

على اعتبار أن الكميات الفيزيائية المتجهة تكون موجبة في اتجاه الإحداثيات الموجبة، وسالبة في اتجاه الإحداثيات السالبة، فإن:

$$\sum P_i = \sum P_f$$

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

$$4 \times 2 + 2 \times -2 = 4 v_{1f} + 2v_{2f}$$

$$2 = 2v_{1f} + v_{2f}$$

$$v_{2f} = 2 - 2 v_{1f}$$

$$v_{1i} - v_{2i} = v_{2f} - v_{1f}$$

$$2 - -2 = 2 - 2v_{1f} - v_{1f}$$

$$4 = 2 - 3 v_{1f}$$

$$v_{1f} = -\frac{2}{3} \text{ m/s}$$

$$v_{2f} = \frac{10}{3} \text{ m/s}$$

وكذلك من المعادلة (2-3)

سؤال: كرة كتلتها 0.4 kg وسرعتها 3 m/s تتصادم تصادماً مرناً وبشكل مباشر مع كرة أخرى ساكنة كتلتها 0.6 kg . جد سرعة كل من الكرتين بعد التصادم مباشرة.

معظم التصادمات في الحياة اليومية تصادمات غير مرنة. وكغيره من أنواع التصادمات يحقق قانون حفظ الزخم.

$$\sum P_f = \sum P_i$$

$$m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f} = m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i}$$

إذا تصادم جسمان أو أكثر فإن المجموع الاتجاهي للزخم قبل التصادم يساوي المجموع الاتجاهي للزخم بعد التصادم.

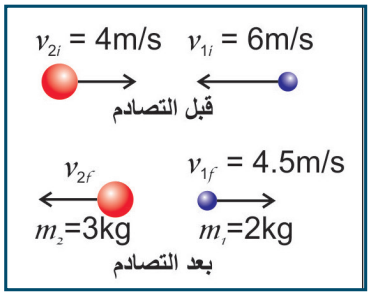
مجموع الطاقة الحركية للجسمين قبل التصادم = $(\frac{1}{2} m_1 v^2_{1i} + \frac{1}{2} m_2 v^2_{2i})$

مجموع الطاقة الحركية للجسمين بعد التصادم = $(\frac{1}{2} m_1 v^2_{1f} + \frac{1}{2} m_2 v^2_{2f})$

التغير في الطاقة الحركية للجسمين = $\Delta K = \sum K_f - \sum K_i$

$$\Delta K = (\frac{1}{2} m_1 v^2_{1f} + \frac{1}{2} m_2 v^2_{2f}) - (\frac{1}{2} m_1 v^2_{1i} + \frac{1}{2} m_2 v^2_{2i})$$

مثال (2):



تتحرك كرة كتلتها 2 kg تجاه الغرب بسرعة 6 m/s فتصطدم بأخرى كتلتها 3 kg تتحرك تجاه الشرق بسرعة 4 m/s. إذا أصبحت سرعة الأولى بعد التصادم 4.5 m/s مباشرة ، كما في الشكل حيث بقي الجسمان يتحركان على نفس الخط قبل وبعد التصادم ودام التصادم 0.02 s، جد:

١. سرعة الكرة الثانية بعد التصادم مباشرة.

٢. متوسط القوة التي أثرت بها الكرة الأولى على الكرة الثانية أثناء التصادم.

٣. حدد نوع التصادم.

الحل:

$$\sum P_i = \sum P_f$$

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

$$2 \times -6 + 3 \times 4 = 2 \times 4.5 + 3v_{2f}$$

$$v_{2f} = -3 \text{ m/s}$$

2: الدفع على الكرة الثانية $\Delta P_2 =$

$$F \Delta t = m_2 (v_{2f} - v_{2i})$$

$$F \times 0.02 = 3(-3-4)$$

$$F = -1050 \text{ N}$$

3:لتحديد نوع التصادم نحسب ΔK

$$\sum K_i = \frac{1}{2} m_1 v^2_{1i} + \frac{1}{2} m_2 v^2_{2i}$$

$$= \frac{1}{2} \times 2 \times 36 + \frac{1}{2} \times 3 \times 16 = 60 \text{ J}$$

$$\sum K_f = \frac{1}{2} m_1 v^2_{1f} + \frac{1}{2} m_2 v^2_{2f}$$

$$= \frac{1}{2} \times 2 \times 20.25 + \frac{1}{2} \times 3 \times 9 = 33.75 \text{ J}$$

$$\Delta K = \sum K_f - \sum K_i = 33.75 - 60 = -26.25 \text{ J}$$

الإشارة السالبة تعني أن النظام فقد طاقة.

بما أن الطاقة الحركية ليست محفوظة، وتحرك كل من الجسمين بشكل منفرد بعد التصادم مباشرة، فهو تصادم غير مرن.

أما عندما يصطدم الجسمان ويلتحمان ويتحركان كجسم واحد بعد التصادم، ويصبح لهما سرعة واحدة. حيث تبقى كمية التحرك محفوظة بينما هناك نقصان للطاقة الحركية، وهذا النقص يتحول إلى أشكال أخرى للطاقة فإن هذا التصادم يسمى عديم المرونة، ومن الأمثلة عليه تصادم السهم وقرص التصويب المعلق عندما يستقر فيه .

وبتطبيق قانون حفظ الزخم للجسمين:

مجموع الزخم للجسمين قبل التصادم مباشرة = مجموع الزخم للجسمين بعد التصادم مباشرة

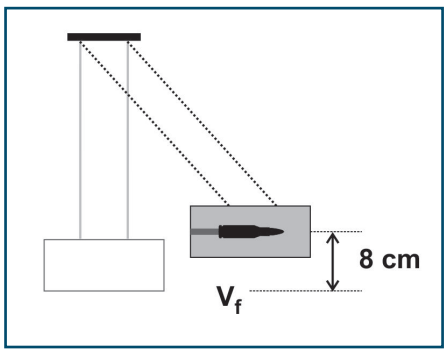
$$\sum P_i = \sum P_f$$

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = (m_1 + m_2) v_f \qquad (2\text{-}4)$$

من الأمثلة على التصادم عديم المرونة:

البندول القذفي البسيط المستخدم لحساب سرعة اصطدام رصاصة تستقر في القطعة الخشبية، ويتكون من كتلة خشبية معلقة بحبلين متساويين في الطول متوازيين غير مرنين، حيث كتلة الخشبة المعلقة أكبر بكثير من كتلة الرصاصة.

مثال (3):



أطلقت رصاصة كتلتها 30 g على كتلة خشبية كتلتها 4.97 kg معلقة كما في الشكل المجاور، فكان أكبر ارتفاع رأسي وصلته المجموعة 8 cm عن المستوى الأفقي الأصلي احسب كلاً من:

١. سرعة المجموعة بعد التصادم مباشرة.

٢. سرعة الرصاصة قبل الاصطدام مباشرة.

٣. مقدار الطاقة الحركية المفقودة.

الحل:

لإيجاد سرعة الجسمين بعد التصادم (من قانون حفظ الطاقةالميكانيكية)

1) $U = K$

$$m\ g\ h = \frac{1}{2}\ mv_f^2 \longrightarrow v_f = \sqrt{2gh}$$

$$v_f = 1.26\ m/s$$

2) $m_1\ v_{1i} + 0 = (m_1 + m_2)\ v_f$

$$0.03 \times v_{1i} = 5 \times 1.26 \longrightarrow v_{1i} = 210\ m/s$$

حيث: $m = m_1 + m_2$

3) $\Delta K = \sum K_f - \sum K_i = \frac{1}{2}\ (m_1 + m_2)\ v_f^2 - \frac{1}{2}\ mv^2_{1i}$

$$= \frac{1}{2} \times 5 \times 1.26^2 - \frac{1}{2} \times 0.03 \times 210^2$$

$$= 4 - 661.5 = -\ 657.5\ J$$

أسئلة الفصل

س١: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

١. تدافع صديقان في صالة تزلج بحيث تحركا في اتجاهين متعاكسين، إذا كانت كتلة أحدهما 55kg وتحرك بسرعة 3 m/s وكتلة الآخر 50 kg وتحرك بسرعة 3.3 m/s، إن التغير في الزخم للصديقين معا بوحدة (kg.m/s):

أ) 165 ب) 330 جـ) 1050 د) 0

٢. في الشكل المجاور(A,B,C) ثلاث كرات زجاجية متماثلة . إذا تحركت الكرة (A) بسرعة مقدارها (6 m/s) نحو الكرتين (B,C) الساكنتين والمتلامستين فاصطدمت بالكرة (B) تصادماً مرناً – بإهمال الاحتكاك - فإنه بعد التصادم مباشرة:

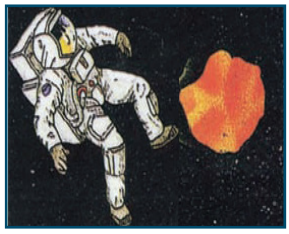
أ) تسكن الكرتان (A) و (B) وتتحرك الكرة (C) بسرعة 6 m/s.

ب) تسكن الكرتان (A) و (B) وتتحرك الكرة (C) بسرعة 3 m/s.

جـ) تسكن الكرة (A) وتتحرك الكرتان (B) و (C) بسرعة 2 m/s.

د) تتحرك الكرات الثلاث بسرعة مقدارها 2 m/s.

٣. إذا ركل رائد فضاء حجراً صغيراً وهو في الفضاء الخارجي، أي العبارات الآتية صحيحة:



أ) يتحرك رائد الفضاء والحجر بنفس السرعة ولكن باتجاهين متعاكسين.

ب) يتحرك رائد الفضاء والحجر بسرعتين مختلفتين مقداراً ولكن بالاتجاه نفسه.

جـ) يتحرك رائد الفضاء بسرعة أقل من سرعة الحجر وباتجاه معاكس لحركة الحجر.

د) لا يتحرك أي منهما.

٤. جسمان A، B لهما نفس الكتلة إذا كان زخم A مثلي زخم B، فإن:

أ) $K_A = 2\ K_B$ ب) $K_A = 4\ K_B$ جـ) $K_A = \frac{1}{2}\ K_B$ د) $K_A = \frac{1}{4}\ K_B$

٥. تصادم جسم كتلته m وسرعته v تصادماً عديم المرونة بجسم آخر ساكن مماثل له في الكتلة، فإن الطاقة الضائعة:

أ) $\frac{1}{2}\ mv^2$ ب) $\frac{1}{4}\ mv^2$ جـ) $\frac{3}{4}\ mv^2$ د) mv^2

٦. في التصادم عديم المرونة تكون النسبة بين الطاقة الحركية للنظام قبل التصادم إلى الطاقة الحركية للنظام بعد التصادم:

أ) أقل من واحد　　ب) واحداً　　جـ) أكبر من واحد　　د) صفراً

٧. أي الكميات الفيزيائية تبقى محفوظة دائماً في أية عملية تصادم في نظام معزول؟

أ) طاقة الحركة　　ب) الزخم　　جـ) السرعة　　د) الطاقة الميكانيكية

٨. عندما يصطدم جسمان مختلفان في الكتلة فإن الدفع الذي يؤثر به كل جسم على الآخر:

أ) متساوٍ في المقدار ومتعاكس في الاتجاه لكل أنواع التصادمات.

ب) متساوٍ في المقدار ومتعاكس في الاتجاه للتصادمات المرنة فقط.

جـ) متساوٍ لكل أنواع التصادمات.

د) متساوٍ في المقدار ومتعاكس في الاتجاه للتصادمات عديمة المرونة فقط.

٩. يتحرك جسمان نحو بعضهما بسرعة 5m/s، 2m/s فاصطدما معاً تصادماً مرناً فارتد الثاني بنصف سرعته فما سرعة الأول بعد التصادم مباشرة بوحدة m/s؟

أ) 2.　　ب) 4.　　جـ) 6.　　د) 8

س٢: علل:

١- هناك فقد كبير للطاقة الحركية في التصادم عديم المرونة.

٢- إذا سقطت كرة من الطين تجاه أرضية صلبة فإنها لا ترتد بشكلٍ ملحوظ.

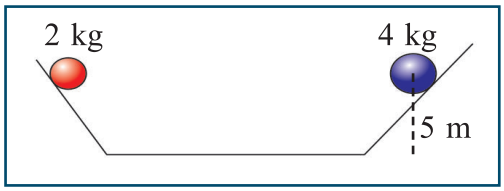
س٣: جسم سرعته 55 m/s وكتلته m_1 تصادم تصادماً مرناً مع جسم آخر ساكن كتلته 5 kg، وبعد التصادم تحرك الجسم الأول في الاتجاه المعاكس بسرعة 20 m/s، احسب كلاً من:

١- كتلة الجسم الاول .

٢- سرعة الجسم الثاني بعد التصادم مباشرة .

س٤: عربة قطار كتلتها 2000 kg تتحرك على قضبان مستقيمة أفقية بسرعة 2 m/s اصطدمت بها عربة أخرى كتلتها 3000 kg تسير بالاتجاه نفسه وبسرعة 5 m/s، وتحركتا معا كجسم واحد، فما مقدار السرعة المشتركة بعد التصادم .

س٥: في الشكل تنزلق الكتلتان 2 kg، 4 kg من السكون من ارتفاع 5 m على مستوى أملس إذا اصطدمتا تصادماً مرناً، جد:



١- سرعة كل من الكرتين قبل التصادم مباشرة.

٢- سرعة كل من الكرتين بعد التصادم مباشرة.

٣- أقصى ارتفاع تصل إليه كل من الكرتين بعد الاصطدام مباشرة.

أسئلة الوحدة

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. اصطدم جسم كتلته (m) وسرعته (v) تصادماً عديم المرونة مع جسم آخر ساكن كتلته 3 أمثال الأول، فإن الطاقة الضائعة نتيجة التصادم تساوي:

أ) $\frac{1}{2}mv^2$ ب) $\frac{1}{4}mv^2$ جـ) $\frac{1}{8}mv^2$ د) $\frac{3}{8}mv^2$

2. كرة كتلتها (m) وسرعتها (v) اصطدمت بحائط، وارتدت عنه بثلث سرعتها، ما الطاقة الضائعة؟

أ) $\frac{1}{2}mv^2$ ب) $\frac{1}{4}mv^2$ جـ) $\frac{3}{8}mv^2$ د) $\frac{4}{9}mv^2$

3. سيارة كتلتها 1200 kg تسير بسرعة 20 m/s انخفضت سرعتها إلى 8 m/s وفي الاتجاه نفسه في زمن قدره 36 s، ما متوسط القوة المؤثرة عليه بوحدة النيوتن؟

أ) 4 ب) 40 جـ) 400 د) 800

4. جسمان A,B كتلة B أربعة أمثال كتلة A والطاقة الحركية لهما متساوية فإن:

أ) $v_A = 4v_B$ ب) $v_A = v_B$ جـ) $v_A = \frac{1}{2}v_B$ د) $v_A = 2\ v_B$

5. عند مضاعفة الطاقة الحركية لجسم زخمه الخطي 16 kg.m/s بمقدار 4 مرات بثبوت الكتلة فإن الزخم بوحدة kg.m/s يصبح

أ) 16 ب) 4 جـ) 64 د) 32

6) قوتان F_1, F_2 تؤثران على جسم، إذا كانت $F_1 = 3F_2$ وينتج عنهما كمية الدفع نفسها، فإن زمن تأثير F_1 يساوي:

أ) زمن تأثير F_2 ب) 3 أضعاف زمن تأثير F_2

جـ) $\frac{1}{3}$ زمن تأثير F_2 د) 9 أضعاف زمن تأثير F_2

7. أثرت قوة مقدارها 20 N على جسم كتلته 5 kg لمدة 4 s، فإن التغير في سرعته بوحدة m/s يساوي:

أ) 3 ب) 6 جـ) 16 د) 26

8. إذا مثلت العلاقة بيانياً بين الدفع المؤثر على جسم على محور الصادات، والتغير في السرعة على محور السينات، ماذا يمثل ميل المنحنى؟

أ) الزخم ب) كتلة الجسم جـ) التسارع د) القوة المؤثرة

9. اصطدم جسم كتلته 3 kg أفقياً بحائط رأسي بسرعة 15 m/s، وارتد عن الحائط بسرعة 10 m/s فيكون التغير في الزخم الجسم يساوي بوحدة kg.m/s:

أ) 10 ب) 75 جـ)25 د) 30

10. كتلتان متماثلتان تتحركان باتجاهين متعاكسين بالسرعة نفسها، فإن زخم النظام:

أ) mv ب) $2mv$ جـ) 0 د) $\frac{1}{2}mv$

11. ينزلق متزلج كتلته (40 kg) على الجليد بسرعة مقدارها (2 m/s) اصطدم بزلاجة ثابتة كتلتها (10 kg) على الجليد. وواصل المتزلج انزلاقه مع الزلاجة في نفس اتجاه حركته الأصلي، ما مقدار السرعة المشتركة لهما بعد التصادم مباشرة بوحدة (m/s)؟

أ) 0.4 ب) 0.8 جـ) 1.6 د) 3.2

12. يقف متزلج كتلته (45 kg) على الجليد في حالة سكون، رمى إليه صديقه كرة كتلتها (5 kg)، فانزلقا معا إلى الوراء بسرعة مقدارها (0.5 m/s)، ما مقدار سرعة الكرة قبل أن يمسكها المتزلج مباشرة بوحدة (m/s)؟

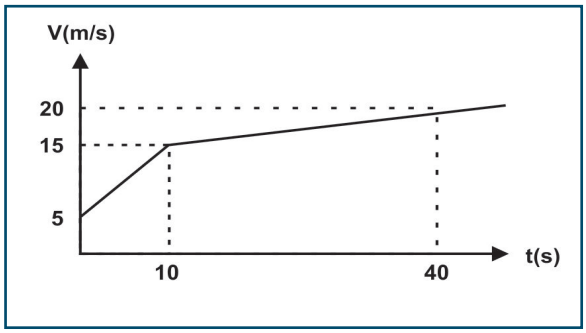
أ) 2.5 ب) 3 جـ) 4 د) 5

13. ما فرق الزخم الخطي بوحدة (kg.m/s)، بين شخص كتلته (50 kg) يجري بسرعة مقدارها (3 m/s)، وشاحنة كتلتها (3000 kg) تتحرك بسرعة مقدارها (1 m/s)؟

أ) 1275 ب) 2550 جـ) 2850 د) 2950

14. أثرت قوة مقدارها (16 N) في حجر بدفع مقداره (0.8 kg.m/s) مسببة حركة الحجر على الأرض بسرعة مقدارها (0.8 m/s). ما كتلة الحجر بوحدة الكيلو غرام؟

أ) 0.2 ب) 0.8 جـ) 1 د) 1.6



س2: اصطدمت كتلة مقدارها 50 g تسير بسرعة 5 m/s بجدار ، وارتدت عنه بطاقة حركية تعادل ربع طاقتها الحركية الابتدائية وعلى الخط نفسه . احسب كلاً من:

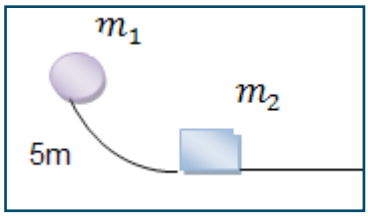
1-الدفع المؤثر على الكرة

2- متوسط قوة دفع الجدار للكرة إذا كان زمن التصادم 0.02 s

س3: الشكل المقابل يمثل العلاقة البيانية بين السرعة والزمن لحركة جسم كتلته 2 kg . احسب كلاً من:

1-الدفع المؤثر على الجسم خلال 40 s

2-قوة الدفع خلال 10 s



س٤: تنزلق كتلة 5 kg من السكون من ارتفاع 5 m على مسار أملس، وعند أسفل المسار تصطدم اصطداماً مرناً بكرة أخرى ساكنة كتلتها 10 kg،جد أقصى ارتفاع تصل إليه الكتلة الأولى m_1 بعد الاصطدام مباشرة.

اختبار

ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. جسمان Y ، X لها نفس الكتلة، إذا كانت $K_y = 4\ K_x$ فإن P_x تساوي :

أ . $\sqrt{2}\ P_y$ ب . $\frac{1}{2}\ P_y$ ج . $2\ P_y$ د . $4\ P_y$

2. أسقطت كرة كتلتها (m) سقوطا حراً فوصلت الأرض بسرعة (3 v) وارتدت رأسياً إلى أعلى بسرعة (2 v) إن دفع الأرض على الكرة يساوي :

أ. 5 m v لأعلى ب . m v لأعلى ج . m v لأسفل د . 5 m v لأسفل

3. جسمان a ، b حيث ($m_a = 2\ m_b$) تتحركان نحو بعضهما بسرعة مقدارها (v) لكل منهما، فإن:

أ . دفع a على b أكبر من دفع b على a ب . دفع a على b أقل من دفع ب على a

ج . دفع a على b يساوي دفع ب على a د . دفع a على b يساوي ويعاكس دفع b على a

4. جسم كتلته (m) يتحرك على خط مستقيم بسرعة ثابتة مقدارها (v) ، فإذا تضاعفت طاقة حركته فإن زخمه يساوي :

أ . $P_2 = \frac{1}{2}\ P_1$ ب . $P_2 = \sqrt{\frac{1}{2}}\ P_1$ ج. $P_2 = 2\ P_1$ د . $P_2 = \sqrt{2}\ P_1$

5. إذا كانت محصلة القوى المؤثرة في جسم كتلته 5 Kg تساوي 50 N وأثرت على الجسم لمدة 1 S فإن التغير في سرعة الجسم تساوي:

أ . 5 m / s ب . 10 m / s ج . 25 m / s د. 50 m / s

6. يتحرك جسم نحو المحور السيني الموجب بزخم P ، فإذا أثرت عليه قوة فأصبح زخمه 4P نحو المحور السيني السالب فإن دفع محصلة القوى عليه تساوي :

أ . 3P نحو السيني الموجب ب. 3P نحو السيني السالب

ج . 5P نحو السيني الموجب د. 5P نحو السيني السالب

7. اصطدمت كتلتان متماثلتان m تتحركان باتجاهين متعاكسين بنفس السرعة v فإن التغير في زخم النظام:

أ . صفر ب . $\frac{1}{2}$ m v ج . m v د. 2 m v

س2: انطلقت رصاصة كتلتها 20 g من بندقية كتلتها 3 Kg فارتدت بسرعة مقدارها 2 m/s ، احسب :

1 . سرعة انطلاق الرصاصة . 2 . الدفع المؤثر على الرصاصة .

س3: جسم كتلته 20 Kg يتحرك بسرعة مقدارها 10m s احسب التغير في زخمه في الحالات الآتية:

1. عدما يدور ربع دورة.

2. عندما يدور نصف دورة.

3. عندما يدور ثلث دورة.

س4: كرة كتلتها 1kg قذفت نحو حائط بسرعة 10 m/s فارتدت بعد أن فقد 19 % من طاقتها الحركية وبعد أن لامسته لمدة 0.1 S، احسب:

1. سرعة ارتداد الكرة 2. الدفع من الحائط على الكرة

3. التغير في كمية تحرك الجدار 4. متوسط قوة دفع الحائط على الكرة

س5: جسم كتلته 2 Kg تصادم تصادماً مرناً مع جسم آخر ساكن، واستمر بعد التصادم بنفس اتجاه حركته بسرعة تساوي ربع سرعته الأولى، احسب سرعة الجسم الأخر.

س6: كرتان 2 Kg ، 3 Kg وسرعتاهما m/s (7 ، 5) على الترتيب وتسيران باتجاه متعاكس حصل بينهما تصادم فكان مقدار الدفع على كل منهما 18 N.S، احسب:

1. سرعة كل منهما بعد التصادم . 2 . نوع التصادم .

س7: جسم ساكن كتلته 2 Kg تلقى دفعاً مقداره 4 N.S فاكتسب سرعة تحرك بها في خط مستقيم اصطدم بجسم أخر ساكن كتلته 3 Kg فإذا التحم الجسمان لحظة التصادم وتحركا معاً كجسم واحد ، احسب :-

1. السرعة المشتركة للجسمين بعد التصادم 2 . مقدار الطاقة الحركية الضائعة نتيجة التصادم .

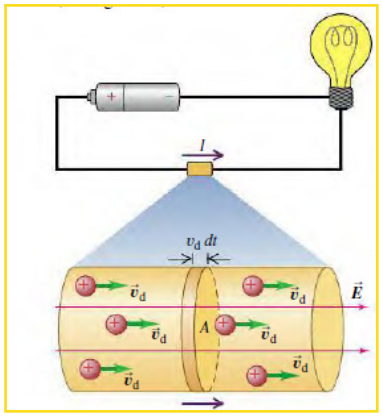
الوحدة الثانية: الكهرباء المتحركة

الفصل الرابع التيار الكهربائي والمقاومة (Electric Current and Resistance)

1-4 التيار الكهربائي Electric Current

يسري الماء في الأنابيب من مكان إلى آخر بفعل فرق الضغط بين المكانين، أو يمكن القول بسبب فرق الارتفاع، وتسمى هذه العملية بالتيار المائي. وفي المقابل هناك عملية مشابهة تتم داخل الأسلاك الكهربائية، ولكننا لا نستطيع رؤيتها مباشرة. حيث تتحرك مجموعة من الشحنات التي تعرفنا عليها في الكهرباء الساكنة، وبشكل مستمر من طرف السلك إلى طرفه الآخر. ولما كان التيار المائي يسري في الأنابيب بفعل وجود فرق في الضغط، فإن التيار الكهربائي (حركة الشحنات الكهربائية في الموصل بإتجاه معين) تتم بفعل وجود فرق في الجهد الكهربائي.

تعرفت سابقاً أنه عند وصل موصل كروي مشحون بآخر غير مشحون، تنتقل الشحنات الكهربائية من الموصل المشحون إلى الموصل الآخر حتى يتساوى جهداهما، وعند تفريغ شحنة المواسع تنتقل الإلكترونات السالبة من اللوح السالب إلى اللوح الموجب. إن تدفق الشحنات الكهربائية ينتج تياراً كهربائياً، ويستمر تدفق الشحنات الكهربائية بوجود فرق في الجهد توفره البطارية، الذي أدى إلى إضاءة المصباح في النشاط السابق.



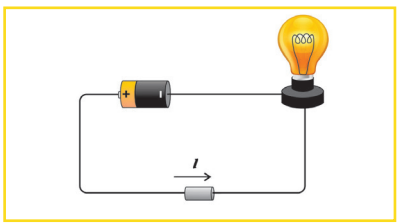
الشكل (4-1)

ولتتوصل إلى تعريف شدة التيار الكهربائي، تصوّر مقطعاً عرضياً مساحته (A) تعبر منه الشحنات الكهربائية على نحوٍ عمودي، كما في الشكل (4-1). فإذا كانت كمية الشحنة الكلية(ΔQ) التي تعبر المقطع في فترة زمنية (Δt)، فإن شدة التيار الكهربائي(I):

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \qquad (4\text{-}1)$$

شدة التيار الكهربائي: معدل تدفق الشحنة الكهربائية بالنسبة للزمن.

إن شدة التيار الكهربائي كمية قياسية؛ لأن كلاً من الشحنة والزمن كميتان قياسيتان. وتقاس شدة التيار الكهربائي بوحدة كولوم/ثانية (C/s)، وتسمى أمبيراً (A).



وقد تكون الشحنات المتحركة موجبة أو سالبة، أو كلتيهما. وقد اصطلح على أن يكون اتجاه التيار الكهربائي في الدارات الكهربائية هو اتجاه حركة الشحنات الكهربائية الموجبة من منطقة الجهد المرتفع إلى منطقة الجهد المنخفض في الدارة الكهربائية، ومن القطب الموجب للبطارية إلى قطبها السالب خلال السلك، ويطلق على هذا التيار: **التيار الاصطلاحي**. وتقاس شدة التيار الكهربائي بوساطة جهاز يُسمى (الأميتر).

وإذا وجدت شحنات موجبة وأخرى سالبة حرة في مجال كهربائي، فإن الشحنات الموجبة تتحرك باتجاه المجال، بينما تتحرك الشحنات السالبة بعكس اتجاه المجال كما في المحاليل الكهرلية، أي أن الشحنة الكلية تساوي المجموع الجبري للشحنات الموجبة والسالبة دون تعويض الإشارة.

مثال (1):

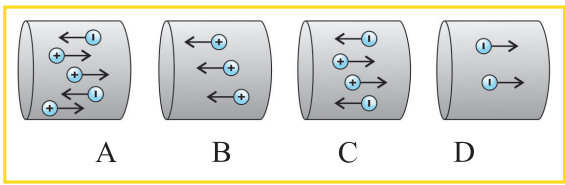
إذا كانت شدة التيار المار في جهاز الراديو (0.22 A)، ما عدد الإلكترونات التي تمر فيه خلال (4.5 s)؟

الحل:

$I = \Delta Q/\Delta t \rightarrow \Delta Q = I\,\Delta t = 0.22 \times 4.5 = 0.99C.$

$N_e = \Delta Q/q_e$ (عدد الإلكترونات)

$= 0.99/(1.6 \times 10^{-19}) = 6.2 \times 10^{18}$ electron



سؤال: يبين الشكل المجاور شحنات كهربائية متساوية المقدار وحرة الحركة تتحرك في مجال كهربائي منتظم:

- رتب المقاطع الأربعة من حيث مقدار شدة التيار الكهربائي من الأقل إلى الأكثر.
- حدد اتجاه التيار الكهربائي الاصطلاحي في كل شكل.

2-4 المقاومة الكهربائية وقانون أوم (Resistance and Ohm's Law)

لقد تعرفت سابقاً أن المقاومة هي مقياس لإعاقة الموصل لمرور التيار الكهربائي، ومقدار مقاومة موصل طوله (L)، ومساحة مقطعه (A) ومقاوميته ρ يساوي (ρL/A) ومن هذه العلاقة يمكن تعريف **المقاومية** بأنها: (مقاومة موصل منتظم المقطع، طوله متر واحد، ومساحة مقطعه العرضي 1 متر مربع)، وأن: التيار الكهربائي المار في موصل فلزي يتناسب طردياً مع فرق الجهد بين طرفيه عند ثبوت درجة حرارته، وتُعرف هذه النتيجة بقانون أوم التجريبي، أي أن:

$$V = RI \qquad (4\text{-}3)$$

إن وحدة قياس المقاومة في النظام الدولي هي (V/A)، ويطلق عليها اسم أوم، ورمزها(Ω) نسبة إلى العالم جورج سيمون أوم. ويمكن باستخدام قانون أوم إيجاد مقاومة الموصل عملياً، بوصله بين نقطتين فرق الجهد بينهما معلوم ΔV، وبقياس شدة التيار الكهربائي المار فيها (I)، وبقسمة فرق الجهد على شدة التيار، نحصل على مقدار مقاومة الموصل. أي أن: $R = \frac{V}{I}$

والسؤال الآن: ما أثر اختلاف مساحة مقطع الموصلات الفلزية على السرعة الانسياقية للشحنات الحرة عند مرور تيار كهربائي فيها؟

طُرق توصيل المقاومات

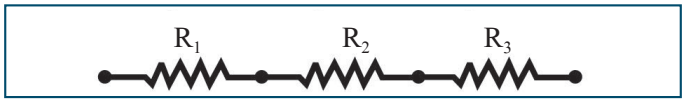
في كثير من الأحيان يتطلب توصيل عدة مقاومات في الدارة الكهربية، لتثبيت مقدار التيار، أو لتجزئة التيار بين عدة مقاومات، أو لتقليل الجهد، أو لتوزيعه. ويتم توصيل المقاومات في الدارات الكهربائية على التوالي أو التوازي أو كليهما معا.

نشاط (2-4) توصيل المقاومات الكهربائية

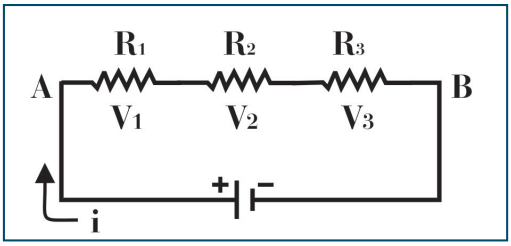
المواد والأدوات: مقاومات كربونية، وبطارية، وأسلاك توصيل، وملتيميتر.

خطوات العمل:

- قم بقياس ثلاث مقاومات مختلفة باستخدام الملتيميتر.
- صل مقاومتين منهما على التوالي، وقم بقياس المقاومة بين طرفيهما باستخدام الملتيميتر.
- أعد الخطوة الثانية لثلاث مقاومات على التوالي. ماذا تلاحظ؟

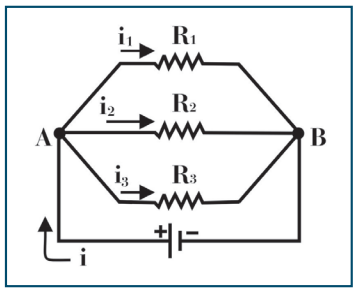


- اربط المقاومات الثلاث مع بطارية كما في الشكل(4-4) واستخدم الملتيميتر لقياس تيار كل منها. ماذا تلاحظ؟
- استخدم الملتيميتر لقياس فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة على حدة وطرفي المقاومات الموصولة. ماذا تلاحظ؟
- تحقق أن المقاومة المكافئة ($R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$)



الشكل(4-4)

أعد تنفيذ الخطوات السابقة بتوصيل المقاومات السابقة على التوازي. ماذا تلاحظ؟



- تحقق أن مقلوب المقاومة المكافئة: $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

سؤال: وازن بين توصيل المقاومات على التوالي، وتوصيلها على التوازي من حيث:

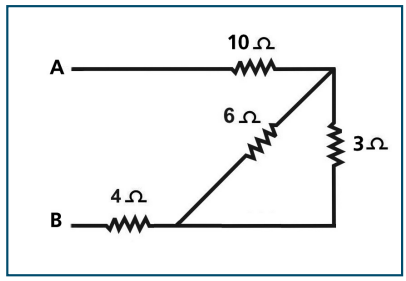
أ- شدة التيار المار في كل مقاومة.

ب - فرق الجهد الكهربائي بين طرفي كل مقاومة.

القدرة الكهربائية الكلية المستنفدة في المقاومات الموصولة على التوالي أو التوازي، تساوي مجموع القدرة المستهلكة في كل مقاومة على حدة، وذلك لأن مصدر الطاقة هو المسؤول عن بذل الشغل، لدفع التيار الكهربائي في جميع المقاومات في الدارة، وأن طريقة توصيل المقاومات في الدارة تؤثر في توزيع الجهد أو التيار الكهربائي بين المقاومات في الدارة.

مثال (6):

احسب المقاومة المكافئة بين النقطتين (A, B) لمجموعة المقاومات المبينة في الشكل المجاور.



الحل:

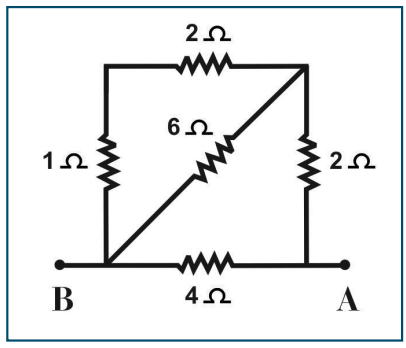
موصولتان على التوازي (3 Ω ، 6 Ω)

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2} \rightarrow R = 2\ \Omega$$

موصولات على التوالي (2 Ω ، 4 Ω، 10 Ω)

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R = 2 + 4 + 10 = 16\ \Omega$$



سؤال: احسب المقاومة المكافئة بين النقطتين (A، B) لمجموعة المقاومات المبينة في الشكل المجاور.

أسئلة الفصل

س1: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

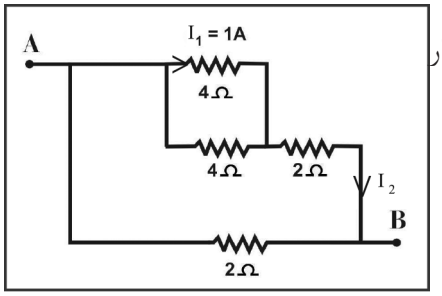
1. تعتمد مقاومية السلك على:

أ- مقاومته ب- طوله جـ- مساحة مقطعه العرضي د- نوع مادته

2. ما عدد الإلكترونات التي تعبر مقطع موصل يمر به تيار شدته 2 أمبير خلال ثانيتين؟

أ- 2.5×10^{19} ب) 25×10^{19} جـ- 6.25×10^{18} د- 1.25×10^{18}

3. يمثل الشكل المجاور جزءاً من دارة كهربائية، إذا كانت شدة التيار المار في المقاومة (4Ω) تساوي (1A)، فما شدة التيار I_2 بوحدة A؟



أ- 1 ب- 2 جـ- 3 د- 4

4. عند زيادة فرق الجهد بين طرفي سلك فلزي (مقاومة أومية)، فإن:

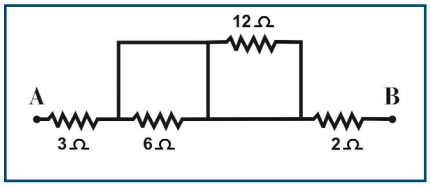
أ- شدة التيار الكهربائي المار فيه تقل ب- مقاومية مادة السلك تزداد

جـ- مقاومة السلك تبقى ثابتة د- شدة المجال الكهربائي فيه تبقى ثابتة

5. سلك فلزي مقاوميته ρ، أعيد تشكيله إلى مثلي طوله الأصلي، فإن مقاوميته بعد التشكيل وبفرض ثبوت درجة حرارته تساوي

أ) $\rho \frac{1}{2}$ ب) $\rho \frac{1}{4}$ جـ) ρ د) 4ρ

6. في الشكل المجاور، ما مقدار المقاومة المكافئة بين (A، B) بوحدة Ω ؟



أ- 5 ب- 6 جـ- 2 د- 3

س2: وضح المقصود بالمصطلحات الآتية: السرعة الانسياقية، وكثافة التيار، والموصلية.

دارات التيار المستمر Direct Current (DC) Circuits

1-5 القوة الدافعة الكهربائية:

تعرفت سابقاً أنه للحصول على تيار كهربائي في دارة كهربائية، يلزمنا مصدر لفرق الجهد الكهربائي: كالبطارية، أو المولد الكهربائي، أو الخلية الشمسية، وتكمن أهمية هذه المصادر في أنها تعمل على تحريك الشحنات الحرة وإدامة التيار في دارة مغلقة.

ويُعرف مقدار الشغل الذي تبذله البطارية في نقل وحدة الشحنات الموجبة من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل البطارية بالقوة الدافعة الكهربائية، ويرمز لها بالرمز (ε)؛ أي أن:

القوة الدافعة الكهربائية = الشغل الذي تبذله البطارية/ كمية الشحنة المنقولة

$$\varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta Q} \qquad (5\text{-}1)$$

وتقاس القوة الدافعة الكهربائية بوحدة (J/C)، أي الفولت (V).

$$\Delta W = \Delta Q\, \varepsilon$$

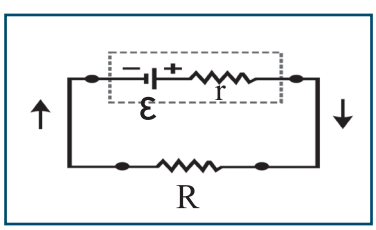
وبافتراض أن الشغل (ΔW) يبذل خلال زمن (Δt)، فبقسمة طرفي المعادلة السابقة على (Δt)، نجد أن:

$$\frac{\Delta W}{\Delta t} = \varepsilon \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

وحيث أن القدرة $P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$ ، وشدة التيار $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$، فإن المعادلة السابقة تصبح:

$$P = \varepsilon\, I \qquad (5\text{-}2)$$

2-5 معادلة الدارة الكهربائية البسيطة:



تعلمت سابقاً أن البطارية تبذل شغلاً أثناء تحريك الشحنات الكهربائية في دارة مغلقة. وهذا الشغل يستنفد في مقاومات الدارة الداخلية (r) والخارجية (R). وعند غلق المفتاح في الدارة البسيطة المجاورة يسري تيار في الدارة، وحسب قانون حفظ الطاقة فإن قدرة البطارية (القدرة الداخلة) تستنفد (أو تستهلك) على شكل طاقة حرارية في المقاومات الداخلية والخارجية. أي أن:

$$\varepsilon\, I = I^2\, r + I^2\, R = I^2\, (r + R)$$

ومنها يمكن التوصل إلى المعادلة التي تعطي شدة التيار في الدارة البسيطة: $I = \frac{\varepsilon}{r+R}$

أما إذا احتوت الدارة على عدد من البطاريات والمقاومات الخارجية الموصولة على التوالي، فإن القدرة الداخلة في الدارة من البطاريات التي يكون فيها اتجاه التيار نحو سهم القوة الدافعة للبطارية تساوي القدرة المستنفدة في المقاومات وفي البطاريات التي يكون فيها سهم القوة الدافعة للبطارية بعكس اتجاه التيار في الدارة، أي أن:

$$I\sum\varepsilon \text{ مع التيار} = I\sum\varepsilon \text{ عكس التيار} + I^2 \sum R$$

$$I\sum\varepsilon \text{ عكس التيار} - I\sum\varepsilon \text{ مع التيار} = I^2 \sum R$$

$$I(\sum\varepsilon \text{ عكس التيار} - \sum\varepsilon \text{ مع التيار}) = I^2 \sum R$$

$$\sum\varepsilon \text{ عكس التيار} - \sum\varepsilon \text{ مع التيار} = I\sum R$$

$$I = \frac{(\sum\varepsilon \text{ عكس التيار} - \sum\varepsilon \text{ مع التيار})}{\sum R} = \frac{\sum\varepsilon}{\sum R} \qquad (5\text{-}3)$$

حيث،

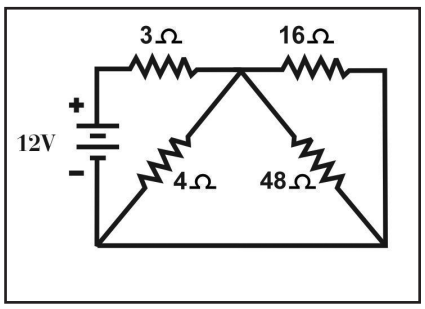
$\sum\varepsilon$: مجموع القوى الدافعة للبطاريات في الدارة.

$\sum R$: مجموع المقاومات الخارجية والمقاومات الداخلية للبطاريات في الدارة.

مما سبق نستنتج أنه إذا كان اتجاه التيار في الدارة بعكس اتجاه سهم القوة الدافعة للبطارية، فإن البطارية تستنفد طاقة بمعدل ($I\varepsilon$) (تختزن الطاقة على شكل طاقة كيميائية في البطارية) بالإضافة للطاقة المستنفدة في مقاومتها الداخلية. وهذه الحالة تشبه عملية شحن البطارية عند وصلها في دارة كهربائية.

ولتطبيق هذه المعادلة نفترض اتجاهاً معيناً للتيار في الدارة، وتعد البطارية ذات قوة دافعة موجبة إذا كان سهم القوة الدافعة بنفس اتجاه التيار الافتراضي، وسالبة إذا كانت بعكس اتجاه التيار الافتراضي.

مثال (1):



في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل المجاور، احسب شدة التيار المار في كل مقاومة.

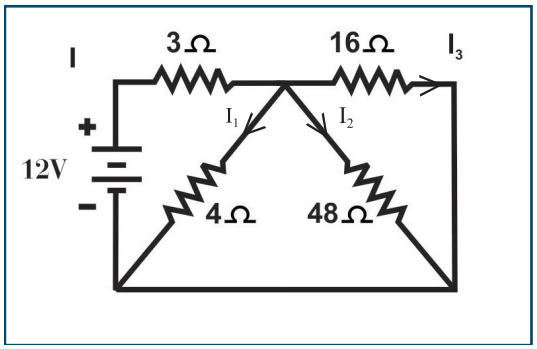
الحل:

المقاومات (4 Ω، 48 Ω، 16 Ω) موصولة على التوازي:

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

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{4}+\frac{1}{48}+\frac{1}{16}=\frac{12+1+3}{48}=\frac{16}{48}\rightarrow R=\frac{48}{16}=3\ \Omega$$

المقاومات (R، 3 Ω) موصولة على التوالي:



$$\sum R = R_1 + R_2 \rightarrow \sum R = 3 + 3 = 6\ \Omega$$

$$I = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R} = \frac{12}{6} = 2A$$

ويساوي تيار المقاومة (3Ω)

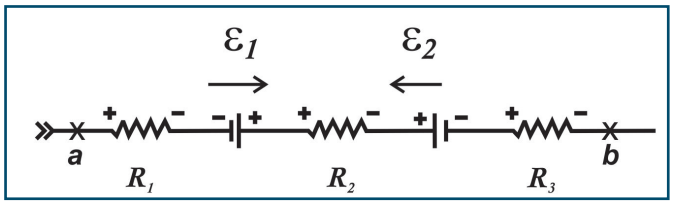
$$V_T = V_4 = V_{48} = V_{16}$$

$$2 \times 3 = 4 \times I_1 = 48 \times I_2 = 16 \times I_3$$

$$I_1 = 1.5A\ ,\ I_2 = \frac{1}{8}\ A,\ I_3 = \frac{3}{8}\ A$$

3-5 فرق الجهد بين نقطتين في دارة كهربائية

يبين الشكل المجاور جزءاً من دارة كهربائية. إن معدل الطاقة (القدرة) التي تعطيها (تفقدها) الشحنات الحرة للجزء المحصور بين النقطتين (a,b) يساوي ($I\ V_{ab}$)، بالإضافة للقدرة الداخلة لهذا الجزء من الدارة من قبل البطاريات (مع التيار ε) التي يكون اتجاه سهمها بنفس اتجاه التيار بين النقطتين. وهذه القدرة تُستنفد (أو تستهلك) على شكل حرارة في المقاومات الداخلية والخارجية ($\sum I^2 R_{ab}$)، ويستخدم الجزء (عكس التيار $I\varepsilon$) ليعكس الفعل الكيميائي (أي شحن البطارية) في البطاريات (عكس التيار ε) التي يكون اتجاه سهمها بعكس اتجاه التيار بين النقطتين. أي أن:



القدرة الداخلة بين نقطتين في الدارة = $I\ V_{ab} + I \sum (\varepsilon \text{مع التيار})_{ab}$

مع العلم أن حساب الجهد بين طرفي الفرع يكون بنفس اتجاه التيار.

القدرة المستنفدة (أو المستهلكة) بين نقطتين في الدارة = $\sum I^2 R_{ab} + I \sum (\varepsilon \text{عكس التيار})_{ab}$

ومن مبدأ حفظ الطاقة، فإن:

القدرة الداخلة = القدرة المستنفدة (أو المستهلكة)

ومنه فإن فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين (V_{ab}) يعطى بالعلاقة:

$$V_a + \sum \Delta V_{ab} = V_b$$

$$V_{ab} + \sum \Delta V_{ab} = 0 \qquad (5\text{-}4)$$

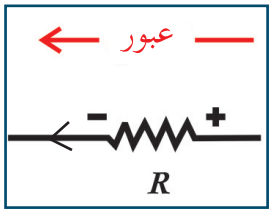
حيث:

$\sum \Delta V_{ab}$: تعني مجموع التغيرات في الجهد ضمن المسار بين النقطتين (a ,b).

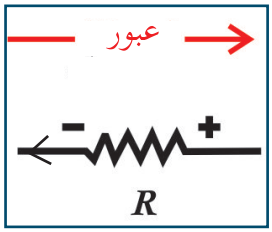
V_a: جهد النقطة (a).

V_b: جهد النقطة (b).

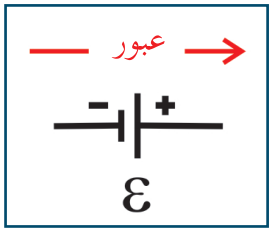
ولحساب التغير في الجهد عبر المقاومات أو البطاريات بين نقطتين في دارة يجب مراعاة إشارة التغير في الجهد مع اتجاه عبورها كما يأتي:



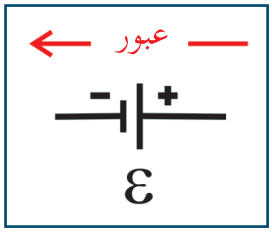
1. إذا كان اتجاه العبور في المقاومة باتجاه التيار، أي من نقطة جهدها عال (+) إلى نقطة أخرى جهدها منخفض (-)، فإن التغير في الجهد يكون سالباً ويساوي (-I R).



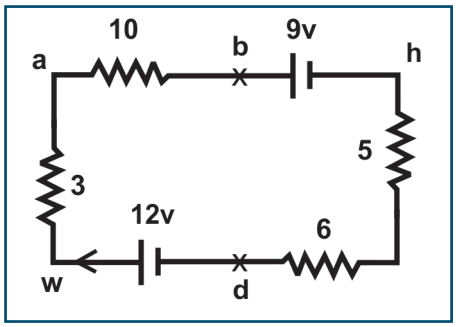
2. إذا كان اتجاه العبور في المقاومة بعكس اتجاه التيار، أي من نقطة جهدها منخفض (-) إلى نقطة أخرى جهدها عال (+)، فإن التغير في الجهد يكون موجباً، ويساوي (+I R).



3. إذا كان اتجاه العبور في البطارية من القطب السالب إلى القطب الموجب، أي من نقطة جهدها منخفض (-) إلى نقطة أخرى جهدها عالٍ (+)، فإن التغير في الجهد يكون موجباً، ويساوي (+ε).



4. إذا كان اتجاه العبور في البطارية من القطب الموجب إلى القطب السالب، أي من نقطة جهدها عالٍ (+) إلى نقطة أخرى جهدها منخفض (-)، فإن التغير في الجهد يكون سالباً، ويساوي (-ε).



مثال (2):

معتمداً على القيم المبينة في الشكل المجاور جد:

A- شدة التيار المار في الدارة.

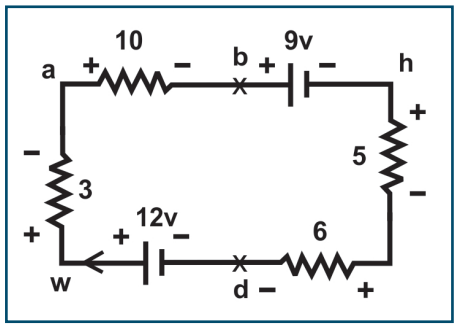
B- التغيرات في الجهد بين النقاط (a,b)، (b,h)، (h,d)، (d,w)، (w,a).

C- مجموع التغيرات في الجهد للمسار المغلق.

الحل:

A) $\sum R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 10 + 5 + 6 + 3 = 24\Omega$

$$I = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R} = \frac{12 - 9}{24} = \frac{3}{24} = \frac{1}{8} = 0.125 \text{ A}$$



B) $\Delta V_{a-b} = V_b - V_a = - I R = -0.125 \times 10 = -1.25$ V

$\Delta V_{b-h} = V_h - V_b = -\varepsilon = -9$ V

$\Delta V_{h-d} = V_d - V_h = -0.125 \times 11 = -1.375$ V

$\Delta V_{d-w} = V_W - V_d = +\varepsilon = +12$ V

$\Delta V_{w-a} = V_a - V_W = - I R = -0.125 \times 3 = -0.375$ V

C) $\sum \Delta V = -1.25 + (-9) + (-1.375) + 12 + (-0.375) = 0$

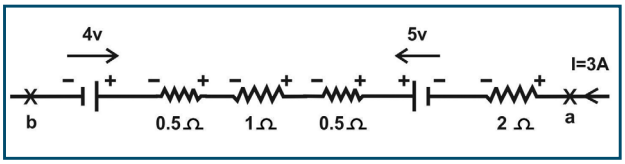
مثال (3):

يمثل الشكل الآتي جزءاً من دارة كهربائية شدة التيار المار فيها (3A). احسب:

A- فرق الجهد بين النقطتين (a ,b).

B- القدرة المستنفدة بين النقطتين (a ,b).

C- القدرة الداخلة بين النقطتين (a ,b).



الحل:

A) $V_a + \sum \Delta V_{ab} = V_b$

$V_a - 3 \times 2 + 5 - 3 \times 0.5 - 3 \times 1 - 3 \times 0.5 - 4 = V_b$

$V_a - 12 + 5 - 4 = V_b \rightarrow V_a - 11 = V_b$

$V_a - V_b = 11 \rightarrow V_{ab} = 11$ V

القدرة المستنفدة بين النقطتين (a ,b) = B) $\sum I^2 R_{ab} + I \sum (\varepsilon \text{ عكس التيار})_{ab}$

$3^2 \times 4 + 3 \times 4 = 9 \times 4 + 12 = 36 + 12 = 48$ W

القدرة الداخلة بين النقطتين (a ,b) = C) $I\ V_{ab} + I \sum (\varepsilon \text{ مع التيار})_{ab}$

$3 \times 11 + 3 \times 5 = 33 + 15 = 48$ W

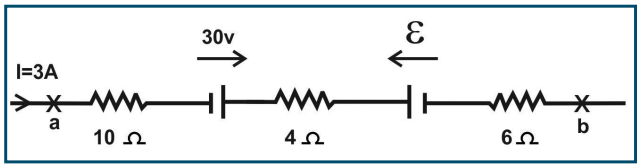
مثال (4):

يبين الشكل المجاور جزءاً من دارة كهربائية، إذا علمت أن القدرة المستنفدة في الفرع (a , b) تساوي (210 W) وبإهمال المقاومات الداخلية للبطاريات، احسب:

A- القوة الدافعة المجهولة (ε).

B- فرق الجهد بين النقطتين (a , b).

C- القدرة الداخلة بين النقطتين (a , b).



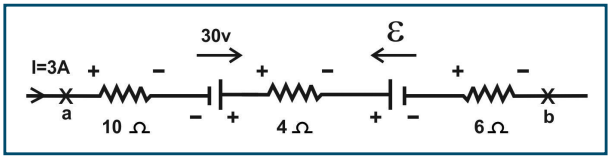
الحل:

A) القدرة المستنفدة بين النقطتين (a , b)

$\sum I^2 R_{ab} + I \sum (\varepsilon \text{ عكس التيار})_{ab}$ =

$210 = 3^2 \times 20 + 3\ \varepsilon \rightarrow 210 = 180 + 3\ \varepsilon$

$3\ \varepsilon = 210 - 180 = 30 \rightarrow \varepsilon = 10$ V



B) فرق الجهد بين النقطتين (a , b)

$V_a + \sum\Delta V_{ab} = V_b$

$V_a - 3 \times 20 + 30 - 10 = V_b$

$V_a - 60 + 20 = V_b \longrightarrow V_a - 40 = V_b$

$V_a - V_b = 40 \longrightarrow V_{ab} = 40\ V$

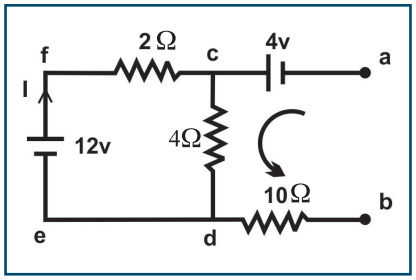
C) القدرة الداخلة بين النقطتين (a ,b) =

$I\ V_{ab} + I \sum (\varepsilon \text{ مع التيار})_{ab}$

$3 \times 40 + 3 \times 30 = 120 + 90 = 210\ W$

مثال (5):

في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل المجاور، احسب فرق الجهد بين النقطتين (a ,b)، ثم بين أيهما أعلى جهداً.

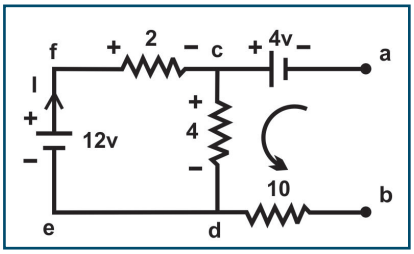


الحل:

نجد أولا شدة التيار الكهربائي المار في الحلقة، ونفرض أن اتجاه التيار في الحلقة من (f c d e f):

$$I = \frac{\sum\varepsilon}{\sum R} = \frac{12}{2+4} = \frac{12}{6} = 2\ A$$

لإيجاد فرق الجهد بين النقطتين نختار المسار(a c d b):



$V_a + \sum\Delta V_{ab} = V_b$

$V_a + 4 - 2 \times 4 + 0 \times 10 = V_b$

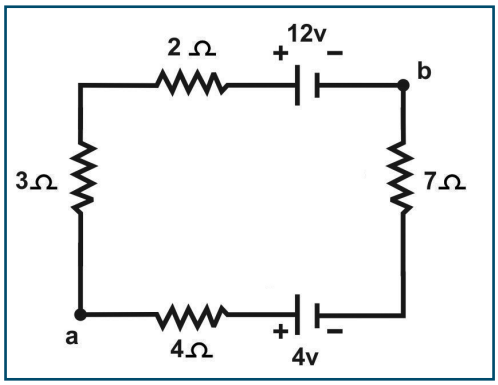
$V_a + 4 - 8 - 0 = V_b \longrightarrow V_a - 4 = V_b$

$V_a - V_b = 4 \longrightarrow V_{ab} = 4\ V \longrightarrow V_a > V_b$

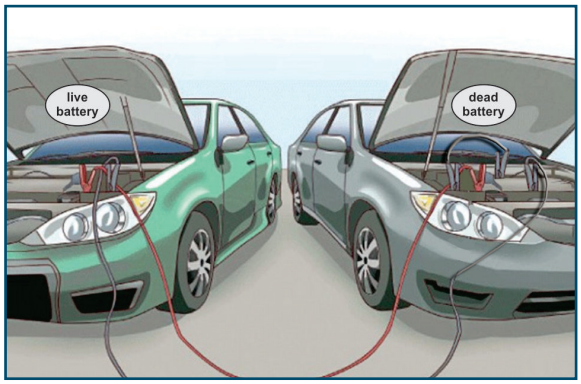
سؤال: احسب فرق الجهد بين النقطتين a ,b من خلال المسار الثاني (a c f e d b).

4-5 فرق الجهد بين قطبي مصدر كهربائي في دارة كهربائية:

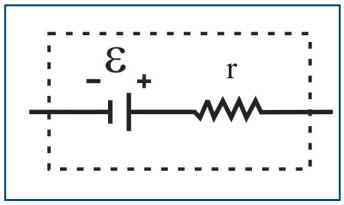
أناقش: يبين الشكل المجاور، دارة شحن بطارية، تتكون من بطاريتين متعاكستين وأربع مقاومات موصولتين على التوالي في دارة بسيطة. أجب عما يأتي:



- ما مقدار شدة التيار في الدارة؟
- ما فرق الجهد بين طرفي كل بطارية؟
- ما القدرة الكهربائية في كل من البطاريات؟
- ما القدرة الكهربائية المستنفدة في المقاومات؟
- ماذا تستنتج؟

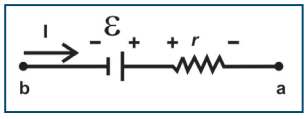


البطارية ليست مصدراً للتيار الكهربائي الثابت في المقدار، بل يتغير مقداره بتغيير المقاومات في الدارة. وتعد البطاريات مصدر جهد ثابت تقريباً، ولكن عند غلق الدارة الكهربائية، يقل فرق الجهد بين طرفي البطارية عنه عندما كانت الدارة مفتوحة، وهذا يسمى بالهبوط في الجهد. ويعزى ذلك إلى أن المقاومة الداخلية للبطارية تعيق حركة الإلكترونات. وتمثل البطاريات بحيث تحتوي على مصدر قوة دافعة موصول على التوالي بمقاومة تسمى المقاومة الداخلية للبطارية، كما في الشكل المجاور.



يمكن استخدام معادلة فرق الجهد بين نقطتين لإيجاد فرق الجهد بين قطبي مصدر كهربائي. إن هناك احتمالين لاتجاه التيار واتجاه القوة الدافعة، هما:

- إذا كان اتجاه التيار في المصدر بنفس اتجاه سهم القوة الدافعة للمصدر (في حالة التفريغ)، فإن:



$$V_a + \sum \Delta V_{ab} = V_b$$

$$V_a - \varepsilon + I \times r = V_b$$

$$V_a - V_b = \varepsilon - I \times r$$

$$\rightarrow V_{ab} = \varepsilon - I \times r$$

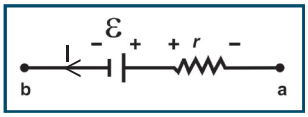
نستنتج من العلاقة السابقة أن فرق الجهد بين النقطتين (a ,b) أقل من القوة الدافعة الكهربائية للمصدر، وذلك لأن جزءاً من القوة الدافعة الكهربائية يُستنفد على شكل حرارة في المقاومة الداخلية للمصدر. ويُسمى المقدار ($I \times r$) الهبوط في الجهد.

- إذا كان اتجاه التيار بعكس اتجاه سهم القوة الدافعة الكهربائية للمصدر (في حالة الشحن)، فإن:

$$V_a - \varepsilon - I \times r = V_b$$

$$V_a - V_b = \varepsilon + I \times r$$

$$\rightarrow V_{ab} = \varepsilon + I \times r$$



في هذه الحالة يكون فرق الجهد بين قطبي المصدر أكبر من القوة الدافعة الكهربائية.

وتكون $V_{ab} = \varepsilon$ عندما تكون المقاومة الخارجية كبيرة جداً، حيث يؤول التيار إلى الصفر، كما في حالة توصيل الفولتميتر بطرفي بطارية، وبذلك تتناقص قيمة $I \times r$ بينما تزداد قيمة V_{ab} لتقترب من نهايتها القصوى (ε). وفي هذه الحالة لا تزود البطارية الدارة الكهربائية بالتيار الكهربائي (أي تبدو الدارة مفتوحة). وعليه فإن القوة الدافعة الكهربائية لأي مصدر (أو بطارية) هي فرق الجهد بين طرفيه عندما تكون الدارة مفتوحة.

مثال (7):

بطارية تخزين قوتها الدافعة الكهربائية $\varepsilon = 25$ V ومقاومتها الداخلية ($r = 0.2\ \Omega$). احسب فرق الجهد بين طرفيها:

A) عندما تُعطي تياراً قدره (8 A).

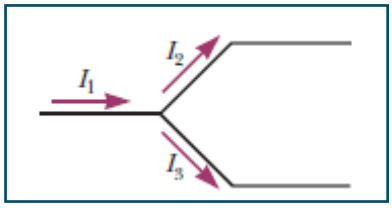
B) عندما تُشحن بتيار قدره (8 A).

الحل:

A) $V_{ab} = \varepsilon - I \times r = 25 - 8 \times 0.2 = 25 - 1.6 = 23.4$ V

B) $V_{ab} = \varepsilon + I \times r = 25 + 8 \times 0.2 = 25 + 1.6 = 26.6$ V

5-5 قانونا كيرتشوف



إن كثيراً من الدارات الكهربائية لا يمكن تبسيطها، بحيث يمكن استخدام معادلة الدارة الكهربائية لإيجاد شدة التيار الكهربائي المار فيها. ولدراسة هذه الدارات التي تتكون من أكثر من حلقة واحدة؛ يوجد طرق عدة لحلها، وإحدى هذه الطرق باستخدام قانوني كيرتشوف، وهما:

القانون الأول لكيرتشوف:

يمثل الشكل المجاور جزءاً من دارة كهربائية، إن التيار الكهربائي (I_1) عندما يصل إلى نقطة التفرع، فإنه سينقسم إلى جزأين (I_2, I_3). وبما أن الشحنة الكهربائية محفوظة، فإن مجموع الشحنات الكهربائية الداخلة إلى نقطة تفرع ما في وحدة الزمن يجب أن يساوي مجموع الشحنات الكهربائية الخارجة منها في

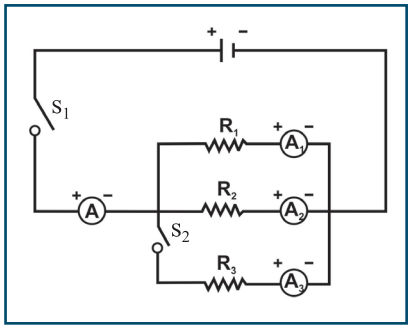
وحدة الزمن. وتُعرف هذه النتيجة بالقانون الأول لكيرتشوف، الذي ينص على أن: **(مجموع التيارات التي تدخل أية نقطة تفرع يساوي مجموع التيارات التي تخرج من نقطة التفرع)**. والصيغة الرياضية لقانون الأول لكيرتشوف هي:

$$\sum I \text{ داخلة} = \sum I \text{ خارجة} \qquad (5\text{-}6)$$

نشاط (5-1): القانون الأول لكيرتشوف

المواد والأدوات: مكونات الدارة في الشكل المجاور.

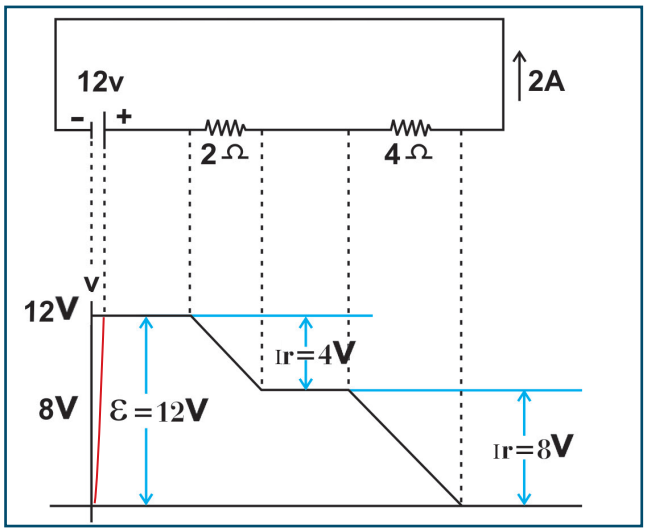
الخطوات:



- صل الدارة الكهربائية كما في الشكل المجاور.
- أغلق المفتاح (S_1)، ثم سجل قراءة كل من (A_1, A_2, A). ماذا تلاحظ؟
- أغلق المفتاحين (S_1، S_2) معا، ثم سجل قراءة كل من (A_1, A_2, A_3, A). ماذا تلاحظ؟ وهل تغيرت قيم (A_1, A_2)؟
- ماذا تستنتج؟
- كرر الخطوات السابقة باستخدام قيم جديدة للمقاومات (R_1, R_2, R_3). ماذا تلاحظ؟
- ماذا تستنتج؟

القانون الثاني لكيرتشوف:

يبين الشكل المجاور رسماً تخطيطياً يوضح التغيرات في الجهد عبر دارة كهربائية بسيطة، عند الحركة عبر الدارة باتجاه عكس عقارب الساعة. ومن هذا الشكل يتضح لنا أن مجموع التغيرات في الجهد عبر أجزاء الدارة جميعها (مسار مغلق) يساوي صفراً. وتُعرف هذه النتيجة بالقانون الثاني لكيرتشوف.



هذا ويمكن التوصل للقانون الثاني لكيرتشوف من العلاقة التي تعطي فرق الجهد بين نقطتين في دارة كهربائية كالتالي:

$$V_a + \sum \Delta V_{ab} = V_b$$

وعند تطبيق هذه العلاقة بين نقطتين منطبقتين بعضهما على بعض، فإن:

$$V_a + \sum \Delta V_{aa} = V_a \rightarrow \sum \Delta V_{aa} = V_a - V_a = 0$$

أي أن:

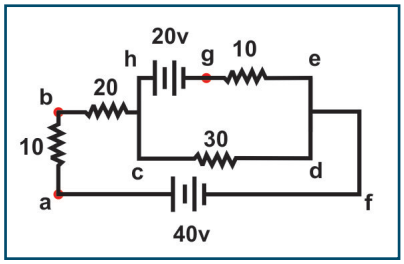
$$\sum \Delta V \text{ حلقة} = 0 \qquad (5\text{-}7)$$

وتُعرف هذه النتيجة بالقانون الثاني لكيرتشوف الذي نصه: «مجموع تغيرات الجهد عبر حلقة مقفلة في الدارة الكهربائية يساوي صفراً». وهو يعبر عن قانون حفظ الطاقة.

لاستخدام قانوني كيرتشوف في حل المسائل، تتبع الخطوات الآتية:

- افترض قيماً للتيار المار في أقل عدد ممكن من الموصلات، ثم حدّد قطبية البطاريات وقطبية أطراف المقاومات بناءً على اتجاهات التيارات المفترضة في الدارة.
- أوجد العلاقة بين التيارات الداخلة إلى نقطة تفرع والتيارات الخارجة منها باستخدام القانون الأول لكيرتشوف.
- طبق القانون الثاني لكيرتشوف على عدد من المسارات المغلقة .
- حل المعادلات التي حصلت عليها، التي تساوي عدد التيارات المفروضة.

مثال (6):

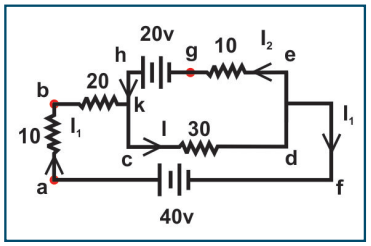


يمثل الشكل المجاور دارة كهربائية مغلقةعلماً بأن المقاومات بوحدة أوما، جد:

A) شدة التيار الكهربائي المار في كل بطارية.

B) فرق الجهد بين النقطتين(a, g) (V_{ag}).

الحل:



A) نفترض اتجاهات للتيارات في الدارة، كما هو مبين في الشكل المجاور، ثم نطبق القانون الأول لكيرتشوف عند نقطة التفرع (k):

$$\sum I \text{ خارجة} = \sum I \text{ داخلة}$$

$$I_1 + I_2 = I \ldots (1)$$

بتطبيق القانون الثاني لكيرتشوف في الحلقة (1) متبعين المسار المغلق (c d e h c):

$$\sum \Delta V \text{ حلقة} = 0$$

$$-30\,I - 10\,I_2 + 20 = 0$$

$$30\,I + 10\,I_2 = 20 \ldots (2)$$

بتطبيق القانون الثاني لكيرتشوف في الحلقة (2) متبعين المسار المغلق(a f d c b a) :

$$\sum \Delta V \text{ حلقة} = 0$$

$$-40 + 30\,I + I_1\,(20 + 10) = 0$$

$$30\,I + 30\,I_1 = 40 \ldots (3)$$

بتعويض قيمة (I_1) من المعادلة (1) في المعادلة (3) ينتج:

$$\sum \Delta V \text{ حلقة} = 0$$

$$30\,I + 30\,(I - I_2) = 40$$

$$30\,I + 30\,I - 30\,I_2 = 40$$

$$60\,I - 30\,I_2 = 40 \ldots (4)$$

بضرب طرفي المعادلة الثانية في (3) وجمع المعادلة الناتجة مع المعادلة (4):

$$90\ I + 30\ I_2 = 60$$

$$60\ I - 30\ I_2 = 40$$

$$150\ I = 100,\ I = \frac{2}{3}\ A$$

بتعويض قيمة (I) في المعادلة (3)، فإن:

$$30 \times \frac{2}{3} + 30\ I_1 = 40\ ,I_1 = \frac{2}{3}\ A$$

وبتعويض قيم (I_1, I) في المعادلة (1)، فإن: $I_2 = 0$.

B) نتبع المسار(a b h g)، لإيجاد فرق الجهد بين النقطتين (a , g) كما يأتي:

$$V_a + \sum \Delta\ V_{ag} = V_g$$

$$V_a - I_1\ (\ 20 + 10) - 20 = V_g$$

$$V_a - \frac{2}{3} \times 30 - 20 = V_g \rightarrow V_a - V_g = 40 \rightarrow V_{ag} = 40\ V$$

مثال (7):

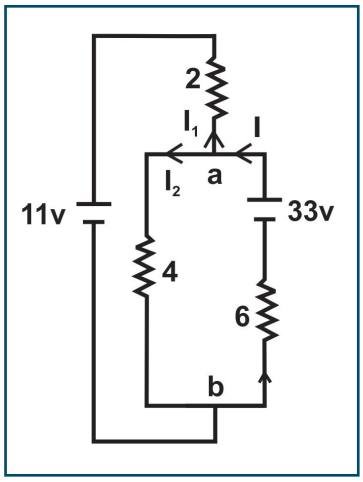
استخدم قانوني كيرتشوف لإثبات قانون حفظ الطاقة في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل الآتي:

الحل:

بتطبيق القانون الأول لكيرتشوف عند نقطة التفرع

$$\sum I \text{ خارجة} = \sum I \text{ داخلة}$$

$$I = I_1 + I_2 \ldots (1)$$



بتطبيق القانون الثاني لكيرتشوف في الحلقة الأولى:

$$\sum \Delta V \text{ حلقة} = 0$$

$$-2 I_1 - 11 + 4 I_2 = 0$$

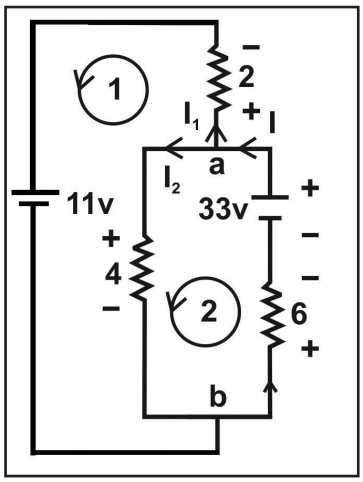
$$4 I_2 _ 2 I_1 = 11 \ldots (2)$$

بتطبيق القانون الثاني لكيرتشوف في الحلقة الثانية:

$$\sum \Delta V \text{ حلقة} = 0$$

$$-4 I_2 - 6 I + 33 = 0$$

$$4 I_2 + 6 I = 33 \ldots (3)$$



بتعويض قيمة (I) من المعادلة الأولى في المعادلة الثالثة:

$$4 I_2 + 6 (I_1 + I_2) = 33$$

$$4 I_2 + 6 I_1 + 6 I_2 = 33$$

$$10 I_2 + 6 I_1 = 33 \ldots (4)$$

بضرب طرفي المعادلة (2) في (3) وجمع الناتجة مع المعادلة (4):

$$12 I_2 _ 6 I_1 = 33$$

$$10 I_2 + 6 I_1 = 33$$

$$- - - - - - - - - - - - - -$$

$$22 I_2 = 66 \text{ , } I_2 = 3 \text{ A , } \quad I_1 = 0.5 \text{ A, } \quad I = 3.5 \text{ A}$$

القدرة الداخلة في الدارة: $\sum I (\varepsilon_{\text{مع التيار}}) = I \times 33 = 3.5 \times 33 = 115.5 \text{ W}$

القدرة المستنفدة في الدارة:

$$\sum I^2 R + \sum I (\varepsilon_{\text{عكس التيار}}) = I_1 \times 11 + I_1^2 \times 2 + I_2^2 \times 4 + I^2 \times 6$$

$$= 0.5 \times 11 + 0.5^2 \times 2 + 3^2 \times 4 + 3.5^2 \times 6$$

$$= 5.5 + 0.5 + 36 + 73.5 = 115.5 \text{ W}$$

أسئلة الفصل

س1: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

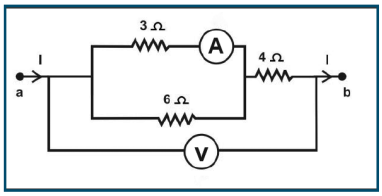
1. عند غلق دارة المصباح الكهربائي في المنزل، فإن الزمن اللازم لإضاءة المصباح يُحدّد:

أ- بعدد التصادمات بين الإلكترونات في الثانية الواحدة في أسلاك التوصيل.

ب- بالسرعة الانسياقية للإلكترونات الحرة في أسلاك التوصيل.

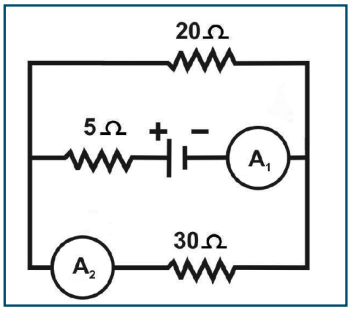
جـ- بسرعة انتشار خطوط المجال الكهربائي في أسلاك التوصيل.

د- بالإضاءة اللحظية للمصباح الكهربائي.



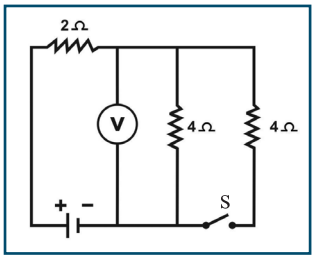
2. يمثل الشكل المجاور جزءاً من دارة كهربائية، إذا كانت قراءة الأميتر 2 A ، فما قراءة الفولتميتر؟

أ- 9 V ب- 12 V جـ- 18 V د- 24 V



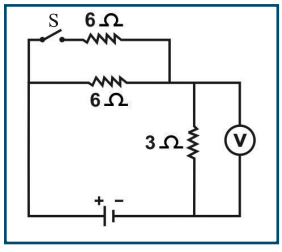
3. الدارة الكهربائية المجاورة، إذا كانت قراءة الأميتر (A_1) تساوي (5A)، فما قراءة الأميتر (A_2)؟

أ- 1.5 A ب- 2 A جـ- 2.5 A د- 3 A



4. في الدارة الكهربائية المجاورة، إذا كانت قراءة الفولتميتر (16 V) والمفتاح (S) مفتوحاً، فكم تصبح قراءته عند غلق المفتاح؟

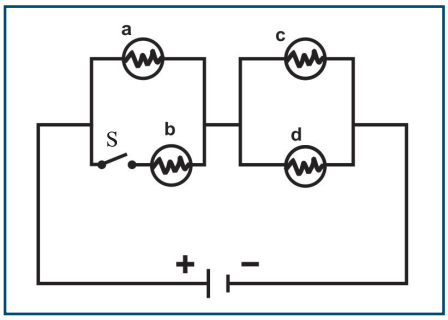
أ- 12 V ب- 14 V جـ- 16 V د- 18 V



5. في الدارة الكهربائية المجاورة، إذا كانت قراءة الفولتميتر (30 V) والمفتاح (S) مفتوحاً، فكم تصبح قراءته عند غلق المفتاح؟

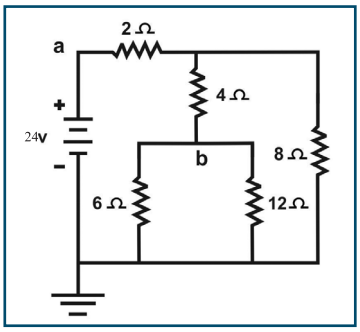
أ- 30 V ب- 35 V جـ- 40 V د- 45 V

6. في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل المجاور، إذا علمت أن المصابيح متماثلة، والمصابيح (a, c, d) مضاءة والمفتاح (S) مفتوح، إذا أغلق المفتاح (S)، فأي منها تزداد شدة إضاءته؟



أ- (c)　　ب- (c ,a)　　جـ- (d ,c)　　د- (d ,c ,a)

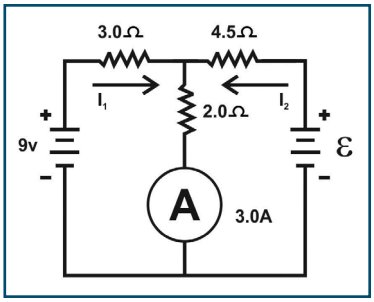
س2: في الدارة الكهربائية المجاورة، جد:



أ- فرق الجهد بين النقطتين (a , b).

ب- جهد النقطة (b).

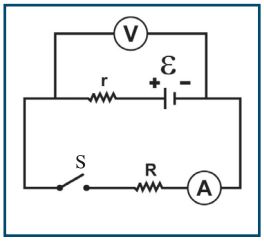
س3: في الدارة الكهربائية المجاورة، إذا كانت قراءة الأميتر (A) تساوي (3 A). جد:



أ- شدة كل من التيارين (I_1, I_2).

ب- مقدار القوة الدافعة الكهربائية (ε).

س4: في الدارة الكهربائية المجاورة، إذا كانت قراءة الفولتميتر والمفتاح (S) مفتوح تساوي (3.08 V)، وعند غلق المفتاح تصبح قراءته (2.97 V)، وقراءة الأميتر (1.65 A)، فاحسب:

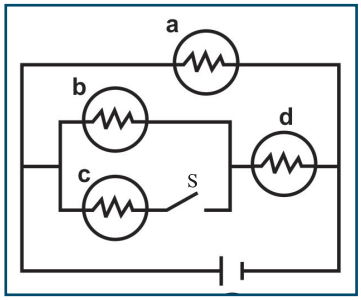


أ- مقدار القوة الدافعة الكهربائية للبطارية (ε).

ب- مقدار المقاومة الداخلية للبطارية (r).

ج- مقدار المقاومة الخارجية (R).

س 5: يبين الشكل المجاور دارة كهربائية تحوي مصابيح متماثلة. أجب عما يأتي:



أ- هل يتغير جهد المصباح (a) عند إغلاق المفتاح؟ فسر إجابتك.

ب- هل يتغير جهد المصباح (d) عند إغلاق المفتاح؟ فسر إجابتك.

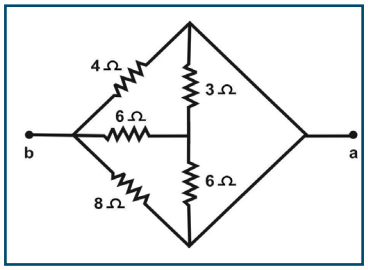
ج- ماذا يحدث لإضاءة المصباح (b) عند إغلاق المفتاح؟ فسر إجابتك.

أسئلة الوحدة

س1: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

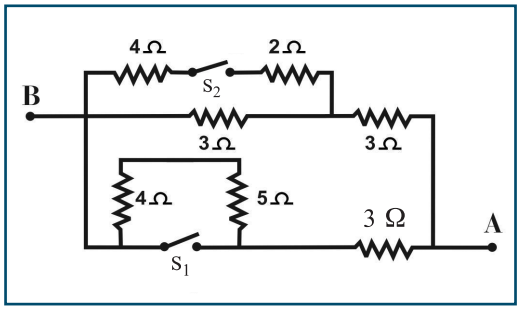
1. سلك فلزي مقاومته (R) ومساحة مقطعه العرضي (A) موصول بين نقطتين، فرق الجهد بينهما (V). إذا أعيد تشكيله ليزداد طوله إلى الضعف، فإن السرعة الانسياقية للإلكترونات الحرة فيه في هذه الحالة:

أ- تبقى ثابتة ب- تزداد إلى الضعف جـ- تقل إلى النصف د- تقل إلى الربع



2. في الشكل المجاور، ما مقدار المقاومة المكافئة بين النقطتين (a ,b)؟

أ- 2 Ω ب- 3 Ω جـ- 4 Ω د- 6 Ω

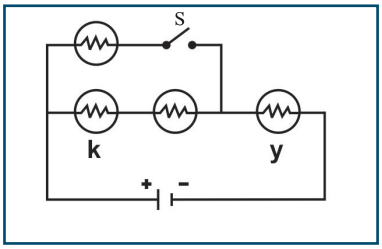


3. في الشكل المجاور، احسب المقاومة المكافئة بين النقطتين (A ،B)، وذلك عندما يكون s_1 مغلقاً فقط:

أ- 1.88 ب- 2

جـ- 3.75 د- 4.4

4. في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل المجاور، إذا علمت أن المصابيح متماثلة، فماذا يحصل لشدة إضاءة المصباحين (y ,k) عند غلق المفتاح (s)؟

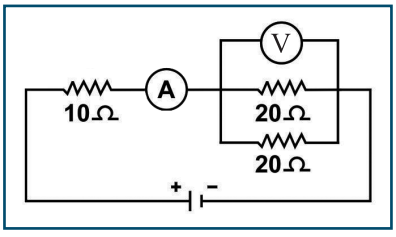


أ- تقل شدة إضاءة المصباح (y)، بينما تزداد شدة إضاءة المصباح (k).

ب- تقل شدة إضاءة المصباحين (y، k).

جـ- تزداد شدة إضاءة المصباح (y)، بينما لا تتغير شدة إضاءة المصباح (k).

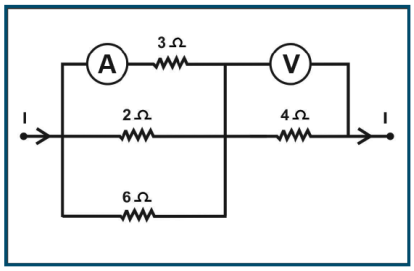
د- تزداد شدة إضاءة المصباح (y)، بينما تقل شدة إضاءة المصباح (k).



5. في الدارة الكهربائية المجاورة، إذا كانت قراءة الأميتر (A) تساوي (2) أمبير، فما قراءة الفولتميتر (V)؟

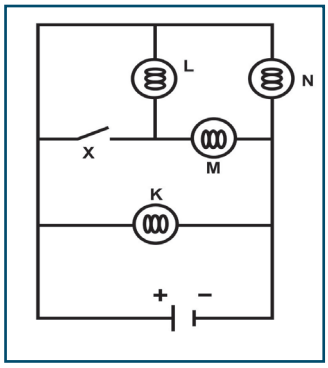
أ- 10 V ب- 20 V جـ- 30 V د- 40 V

6.) يبين الشكل المجاور جزءاً من دارة كهربائية يسري فيها تيار كهربائي شدته (I). إذا كانت قراءة الفولتميتر (V) تساوي (36 V)، ما مقدار قراءة الأميتر (A) ؟



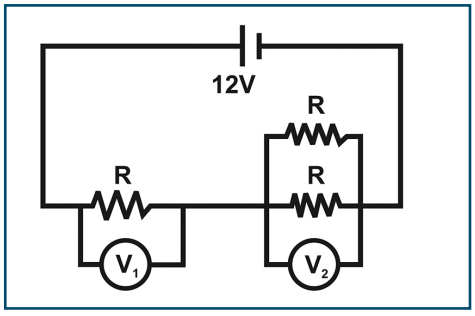
أ- 2A ب- 3 A جـ- 3.5 A د- 4.5 A

7. في الشكل المجاور دارة كهربائية تتكون من أربعة مصابيح L, N, M, K متماثلة وبطارية ومفتاح، والمصابيح الأربعة تشع ضوءاً. أي من المصابيح تزداد شدة إضاءته عند غلق المفتاح s؟



أ- L,M ب- M,N جـ- K,M د- M

8. وصل طالب ثلاث مقاومات متماثلة كما في الشكل المجاور. إذا كان فرق الجهد بين قطبي البطارية 12 V، ما قراءة كل من V_1, V_2؟



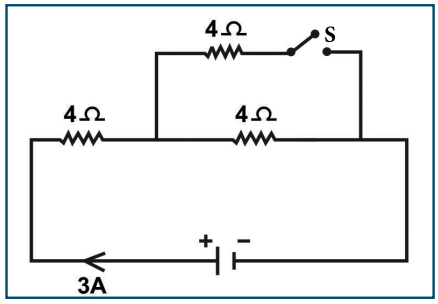
أ- $V_1 = 4\ V$ ، $V_2 = 8\ V$

ب- $V_1 = 6\ V$ ، $V_2 = 6\ V$

جـ- $V_1 = 8\ V$ ، $V_2 = 4\ V$

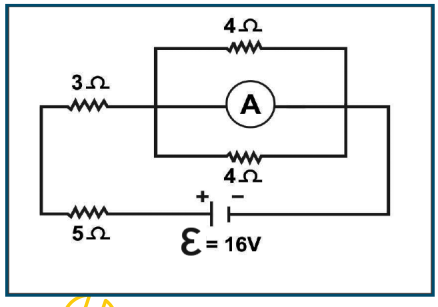
د- $V_1 = 9\ V$ ، $V_2 = 3\ V$

9. يبين الشكل المجاور دارة كهربائية مغلقة يسري فيها تيار كهربائي شدته (3A) والمفتاح (S) مفتوح. كم تصبح شدة التيار الكلي عند غلق المفتاح؟



أ- 2 A ب- 3 A جـ- 4 A د- 5 A

10. في الدارة الكهربائية المجاورة، ما قراءة الأميتر (A)؟



أ- 1 A ب- 1.2 A جـ- 1.6 A د- 2 A

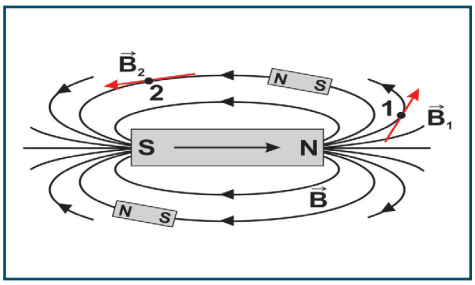
الوحدة الثالثة: الكهرومغناطيسية

الفصل السادس

المجال المغناطيسي Magnetic Field

1-6 المجال المغناطيسي Magnetic Field

تعرفت سابقاً إلى المغناطيس، وبعض المواد التي يجذبها، والمجال المغناطيسي لمغناطيس مستقيم. ولعلك قمت يوماً بتخطيط المجال المغناطيسي لمغناطيس مستقيم مستخدماً برادة الحديد أو بوصلة، وتعرفت تلك الخطوط الوهمية التي تستخدم لوصف المجال المغناطيسي، وتسمى خطوط المجال المغناطيسي، كما في الشكل (6- 1).



الشكل (6- 1)

يُعد المجال المغناطيسي مجال قوى مثل المجال الكهربائي، مقداره في نقطة ما يساوي شدة المجال المغناطيسي في تلك النقطة، واتجاهه باتجاه القوة المؤثرة في القطب الشمالي المفرد (الافتراضي) عند وضعه في تلك النقطة.

إن خط المجال المغناطيسي خط قوة له اتجاه، ويعبر عنه **بالمسار الذي يتبعه القطب الشمالي الافتراضي المفرد حرّ الحركة تحت تأثير القوى المغناطيسية المؤثرة فيه عندما يوضع في المجال المغناطيسي.**

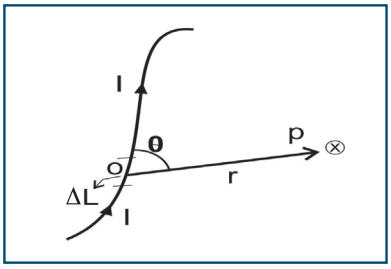
المجال المغناطيسي: المنطقة المحيطة بالمغناطيس التي تظهر فيها آثار قوته المغناطيسية.

نلاحظ أن معظم خصائص خطوط المجال المغناطيسي تتشابه مع خصائص خطوط المجال الكهربائي، لكن خطوط المجال المغناطيسي مقفلة تخرج من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي خارج المغناطيس، وتكمل دورتها من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي داخل المغناطيس؛ وذلك لعدم وجود قطب مغناطيسي مفرد.

2-6 مصادر المجال المغناطيسي Sources of the Magnetic Field

قانون بيو وسافار

بعد اكتشاف أورستد، تم تطوير القوانين والعلاقات الرياضية التي تحكم العلاقة بين التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي. وكان بيو وسافار من أبرز العلماء الذين عملوا في هذا المجال، حيث قاما بإجراء تجارب عملية للتوصل إلى علاقة لحساب شدة المجال المغناطيسي الناشئ في نقاط عدة نتيجة مرور تيار كهربائي في أسلاك موصلة مختلفة الأشكال، فوجدا أنه إذا تم تقسيم موصل يسري فيه تيار كهربائي ثابت (I) إلى أقسام صغيرة طول كل منها (ΔL) عند نقطة تبعد عن الموصل مسافة (r) كما في الشكل (6-3)، فإن شدة المجال المغناطيسي (ΔB) الناشئ بوحدة تسلا (T):



الشكل (6-3)

- يتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربائي المار في الموصل.
- يتناسب عكسياً مع مربع الإزاحة أو البعد (r)، حيث (r): الإزاحة من العنصر (ΔL) إلى النقطة أو متجه الموضع.
- يتناسب طردياً مع $\sin\theta$، حيث (θ): الزاوية المحصورة بين اتجاه (ΔL) واتجاه (r).
- يعتمد على نوع مادة الوسط الموجود فيه الموصل.
- يكون المتجه (ΔB) عمودياً على كل من (ΔL) و(r).

ومن الممكن التعبير عن شدة المجال (ΔB) الناتج عن الجزء (ΔL) بطريقة رياضية: $\Delta B = \frac{\mu_0 I \Delta L \sin\theta}{4\pi r^2}$

وتتغير نفاذية الوسط (μ) بتغيّر نوعيته، وفي حالة الفراغ تسمى ثابت النفاذية المغناطيسية للفراغ

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ T.m/A$.

أما لحساب شدة المجال المغناطيسي الكلية عند نقطة (P) والناتجة عن جميع أجزاء الموصل، فإن المجال المغناطيسي الكلي في الهواء أو الفراغ يساوي:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\sum\frac{I\Delta L\sin\theta}{r^2} \qquad (6\text{-}1)$$

ولتحديد اتجاه المجال المغناطيسي المتولّد حول الموصل، نستخدم قاعدة اليد اليمنى .

3-6 المجال المغناطيسي الناشئ عن تيار كهربائي في سلك طويل مستقيم

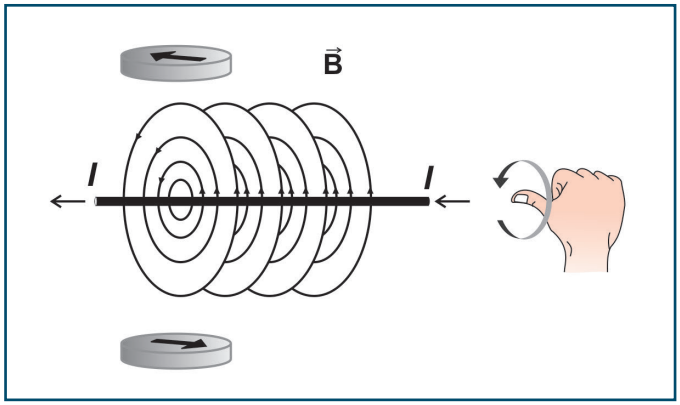
لقد أثبتت التجارب العملية أنه يحيط بالسلك المستقيم الذي يمر فيه تيار كهربائي مجال مغناطيسي، وتكون خطوط المجال حول السلك على شكل دوائر متحدة المركز ومركزها محور السلك ومستواها عمودي على السلك، وأن كل نقطة في السلك يمكن اعتبارها مركزاً لخطوط المجال كما هو مبين في الشكل المجاور (6- 4). ولتحديد اتجاه المجال المغناطيسي المتولد حول موصل يسري فيه تيار كهربائي، نستخدم قاعدة اليد اليمنى كالتالي: تخيل أنك تمسك السلك بيدك اليمنى، بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه التيار، فيكون انحناء الأصابع مشيراً إلى اتجاه خطوط المجال المغناطيسي حول السلك، كما هو مبين في الشكل (6- 5).

الشكل (6-4)

دلت التجارب العملية أن شدة المجال المغناطيسي الناشئ عن تيار في سلك طويل مستقيم يسري فيه تيار كهربائي I عند نقطة تبعد مسافة r عن السلك تتناسب طردياً مع شدة التيار وعكسياً مع بُعد النقطة عن السلك.

أي أن: $B \propto \frac{I}{r}$ وهذه العلاقة صحيحة، كلما كان بُعد النقطة عن السلك صغيراً جداً بالنسبة لطول السلك. وفي هذه الحالة يكون ثابت التناسب ($\frac{\mu_0}{2\pi}$)، أي أن:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \qquad (6\text{-}2)$$



الشكل (6-5)

حيث:

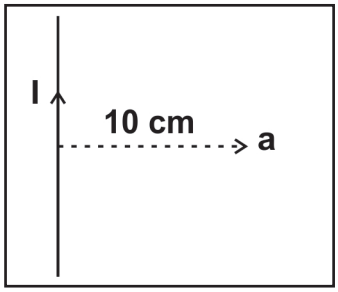
I: شدة التيار الكهربائي المار في السلك وتقاس بوحدة الأمبير.

r: المسافة العمودية بين النقطة المراد إيجاد شدة المجال المغناطيسي فيها والسلك، وتقاس بوحدة المتر.

هذا ويُمكن استخدام هذه العلاقة على سلك مستقيم وطويل، أو في حالة كون بُعد النقطة عن السلك صغيراً جداً بالنسبة لطول السلك.

يرمز للسلك المتعامد مع سطح الورقة إذا كان اتجاه التيار فيه نحو الناظر بالرمز ⊙، ويرمز له بالرمز ⊗ إذا كان اتجاه التيار فيه بعيدا عن الناظر.

مثال (1):

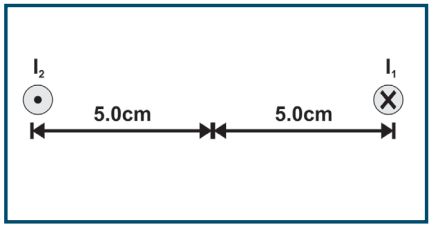


الشكل المجاور يبين سلكاً مستقيماً يسري فيه تيار كهربائي شدته (25 A). أوجد شدة المجال المغناطيسي في النقطة (a) التي تبعد عن السلك (10 cm).

الحل:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

$$B = \frac{4\pi x10^{-7} \times 25}{2\ \pi x0.1} = 5 \times 10^{-5}\ T$$ للداخل



سؤال: سلكان مستقيمان طويلان جدا ومتوازيان وضعا عموديين على مستوى الصفحة، وعلى بُعد (10 cm) من بعضهما، فإذا مر بهما تياران $I_1 = 2\ A$ ، $I_2 = 5\ A$، احسب: أ. شدة المجال المغناطيسي الناشئ عنهما عند منتصف المسافة بينهما

ب. موقع نقطة التعادل.

4-6 المجال المغناطيسي لملف دائري يسري فيه تيار كهربائي

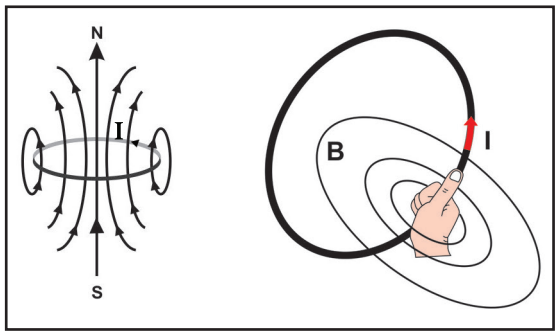
تعرفت في البند السابق المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي في سلك مستقيم طويل جداً، فهل تتغير صفات المجال المغناطيسي بتغير شكل الموصل الذي يمر فيه التيار؟ وهل تتغير قيمة المجال المغناطيسي الناشئة عنه عند أية نقطة بالقرب منه؟ للإجابة عن هذه الأسئلة، قم بثني سلك مستقيم، واصنع منه ملفاً دائرياً، ثم قم بتخطيط المجال المغناطيسي له في النشاط الآتي:

نشاط (6-1): تخطيط المجال المغناطيسي لملف دائري

المواد والأدوات: ملف دائري، وبطارية 3 V، وبوصلة، وزيت نباتي، وقطع صغيرة من أسلاك رفيعة جداً (ليف الجلي السلكية، أو برادة حديد ناعمة)، ووعاء بلاستيكي (مرطبان أو كأس بلاستيكي).

الخطوات:

- صل طرفي الملف بقطبي البطارية، وأدخل بوصلة مثبتة على مسطرة بلاستيكية، حرك البوصلة في مواقع عدة داخل الملف وخارجه، ماذا تلاحظ؟
- اعكس قطبي البطارية، ثم كرر الخطوة السابقة، ماذا تستنتج؟
- ضع المرطبان داخل الملف الدائري بشكل أفقي، ثم أضف كمية مناسبة من الزيت النباتي في المرطبان أو الكأس.
- أضف كمية من برادة الحديد، حرك المرطبان، ثم أغلق الدارة. سجل نتائجك.



الشكل (6-6)

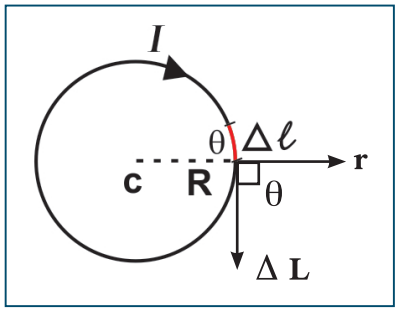
كيف تحدد اتجاه المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي في ملف دائري من السلك عند مركز الملف؟
لعلك لاحظت أن انحناء خطوط المجال المغناطيسي يقل بالاقتراب من مركز الملف، حيث تكون مستقيمة بالقرب من مركز الملف. ماذا تستدل؟ ولتحديد اتجاه المجال المغناطيسي في مركز الملف الدائري نتبع قاعدة اليد اليمنى والإبهام وهي:

(إذا جعلنا إبهام اليد اليمنى يشير لاتجاه التيار في الملف، فإن اتجاه حركة أصابع اليد تشير لاتجاه المجال في المركز)، لاحظ الشكل (6-6).

والآن، كيف نحسب مقدار شدة المجال المغناطيسي في مركز الملف الدائري الشكل (6-7).؟

بما أن المجال المغناطيسي في مركز الملف منتظم، فإنه يمكن استخدام قانون بيو وسافار لإيجاد مقدار شدة المجال المغناطيسي عند نقطة في مركزه، أي أن:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\sum\frac{I\Delta L\sin\theta}{r^2}$$



الشكل (6-7)

بما أن $\theta = 90^\circ$، وعلى فرض أن الملف يحوي (N) لفة، ومتوسط نصف قطره ($R = r$)، فإن طول الملف ($\sum\Delta L$) يساوي عدد لفاته × محيط اللفة الواحدة؛ أي أن:

$$\sum\Delta L = N \times 2\pi R$$

فإن:

$$B = \frac{\mu_0\, IN \times 2\,\pi\, R \sin 90^\circ}{4\,\pi R^2}$$

$$B = \frac{\mu_0\, IN}{2R} \qquad (7\text{-}6)$$

مثال (2):

ملف دائري عدد لفاته (250) لفة، ونصف قطره 3.14 cm، موضوع في مستوى الصفحة. احسب مقدار واتجاه شدة المجال المغناطيسي في مركزه، إذا كان يسري فيه تيار كهربائي شدته (2 A) مع اتجاه دوران عقارب الساعة.

الحل:

$$B = \frac{\mu_0 IN}{2R}$$

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2 \times 250}{2 \times 3.14 \times 10^{-2}} = 1 \times 10^{-2} \text{ T للداخل}$$

مثال (3):

ملفان دائريان متحدان في المركز، وعدد لفات كل منهما (100) لفة، وموضوعان في مستوى الصفحة. الأول نصف قطره 7 cm، والثاني نصف قطره 2 cm. إذا كان مقدار شدة التيار في الملف الأول 5 A باتجاه عقارب الساعة، أوجد مقدار شدة التيار واتجاهه في الملف الثاني اللازمة لإنتاج المجالات المغناطيسية التالية عند المركز المشترك:

A) 9×10^{-3} T للداخل　　B) 2×10^{-3} T للداخل　　C) صفر

الحل:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I N}{2R}$$

$$B_1 = \frac{4\pi \text{ X } 10^{-7} \times 5 \times 100}{2 \times 7 \times 10^{-2}} = 4.5 \times 10^{-3} \text{ T للداخل}$$

A) بما أن B_1 أقل من 9×10^{-3} T، فإن B_2 بنفس اتجاه B_1، أي أن:

$$B_2 = 9 \times 10^{-3} - 4.5 \times 10^{-3} = 4.5 \times 10^{-3} T$$

$$4.5 \times 10^{-3} = 3.14 \times 10^{-3} I_2$$

$$I_2 = 1.43 \text{ A مع عقارب الساعة}$$

B) بما أن B_1 أكبر من 2×10^{-3} T، فإن B_2 بعكس اتجاه B_1. أي أن:

$$2 \times 10^{-3} = 4.5 \times 10^{-3} - B_2$$

$$B_2 = 2.5 \times 10^{-3} \text{ T}$$

$$2.5 \times 10^{-3} \text{ T} = 3.14 \times 10^{-3} I_2 \rightarrow I_2 = 0.8 \text{ A عكس عقارب الساعة}$$

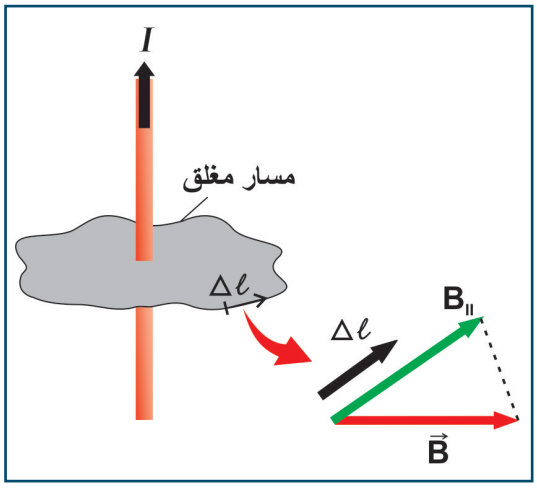
C) بما أن $B = 0$ فإن $B_2 = B_1$ مقداراً ويعاكسه اتجاهاً

$I_2 = 1.43$ A عكس عقارب الساعة

$4.5 \times 10^{-3} = 3.14 \times 10^{-3} I_2$

5-6 قانون أمبير Ampere's Law

لقد تعرفت إلى العلاقة بين شدة التيار الكهربائي المار في سلك مستقيم طويل، وشدة المجال المغناطيسي حوله. ولكن، هل يمكن إيجاد شدة المجال المغناطيسي عند نقطة حول مجموعة أسلاك تسري فيها تيارات كهربائية مختلفة؟



الشكل (6-8)

لقد وضع العالم أمبير علاقة لحساب شدة المجال المغناطيسي حول سلك أو مجموعة من الأسلاك. حيث افترض وجود مسار مغلق حول سلك يسري فيه تيار كما في الشكل (6-8)، ثم جزأ المسار إلى أجزاء صغيرة (ΔL)، بحيث يمكن اعتبار شدة المجال المغناطيسي ثابتة فوق ذلك الجزء، وبضرب طول كل جزء من هذه الأجزاء في مركّبة شدة المجال في اتجاه ذلك الجزء، فيكون مجموع هذه الكميات مساوياً ثابتاً μ_0 مضروباً في مجموع التيارات التي تخترق المسار المغلق. وتُعرف هذه النتيجة بقانون أمبير، الذي ينص على أنه (لأي مسار مغلق يكون مجموع حاصل الضرب النقطي لشدة المجال المغناطيسي مع طول ذلك الجزء في المسار المغلق يساوي المجموع الجبري للتيارات التي تخترق المسار المغلق، مضروباً في ثابت النفاذية المغناطيسية للفراغ μ_0) ، أي أن:

$$\sum \mathbf{B}.\Delta \mathbf{L} = \mu_0 \sum I \qquad (6\text{-}4)$$

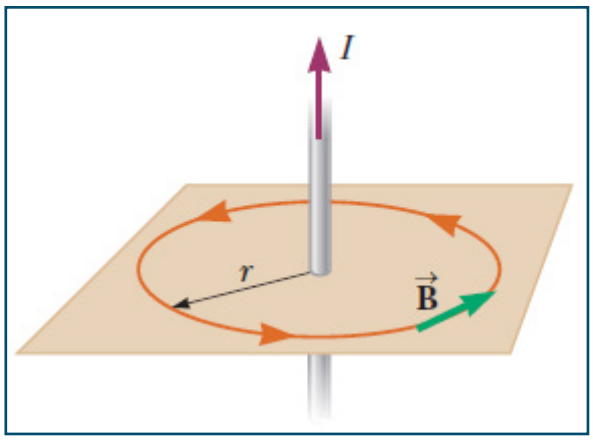
حيث:

ΔL: جزء صغير من طول المسار المغلق.

B: شدة المجال المغناطيسي

$\sum I$: المجموع الجبري للتيارات التي تخترق المسار المغلق.

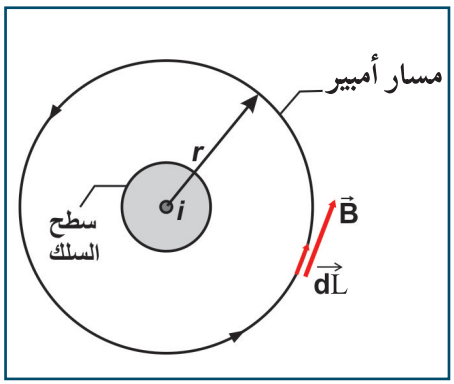
يستخدم قانون أمبير في حساب المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيارات كهربائية في موصلات ذات تماثل هندسي يسمح باختيار مسارات مغلقة حولها، بحيث يكون المجال المغناطيسي في كل نقطة من نقاط المسار معلوماً.



الشكل (6-9)

ويمكن تطبيق قانون أمبير لحساب شدة المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم لا نهائي عند نقطة تبعد عنه مسافة (r). وبما أن خطوط قوى المجال المغناطيسي حول السلك هي عبارة عن دوائر متحدة في المركز مع محور السلك، فإن اتجاه شدة المجال المغناطيسي باتجاه المماس لخطوط المجال عند أية نقطة حول السلك. كما هو مبين في الشكل (6- 9)

$$\sum B.\Delta L = \mu_0 \sum I$$



الشكل (6-10)

وبما أن B ثابت على طول المسار، واتجاهه باتجاه المماس لخط المجال، كما في الشكل(7- 10) فإن θ بينهما تساوي صفراً:

$$\sum B\ \Delta L \cos\theta = \mu_0 \sum I$$

$$B \times 2\pi r = \mu_0 I$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

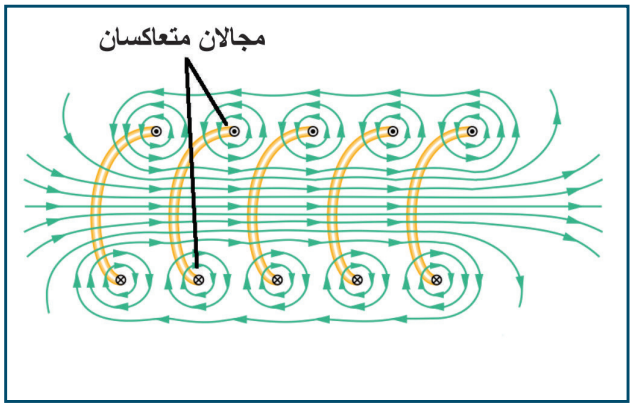
6-6 المجال المغناطيسي لملف حلزوني يسري فيه تيار كهربائي

Magnetic Field of Solenoid

هل تتغيّر صفات المجال المغناطيسي إذا تغيّر شكل الملف الدائري ليصبح حلزونياً؟

للإجابة عن ذلك كرر نشاط الملف الدائري (6- 2) مستخدماً ملفاً حلزونياً بدلاً من الملف الدائري، ولاحظ نمط خطوط المجال المغناطيسي، انظر الشكل (6-11).

وتستخدم اليد اليمنى لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي في الملف الحلزوني.

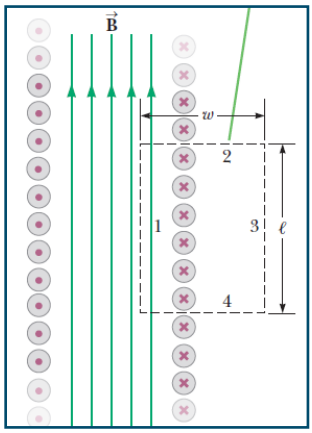


الشكل (6-11)

أناقش:

- وازن بين المجال المغناطيسي داخل الملف الحلزوني وخارجه من حيث المقدار والاتجاه.
- على ماذا يدل توازي خطوط المجال داخل الملف الحلزوني؟
- ما شكل خطوط المجال المغناطيسي خارج اللفات؟
- هل يمكن اعتبار المجال المغناطيسي للملف الحلزوني محصلة لمجالات اللفات؟
- ماذا تتوقع أن يحدث للمجال المغناطيسي داخل الملف الحلزوني إذا زاد عدد اللفات مع ثبوت الطول؟ فسّر.
- هل تلاحظ تشابه نمطي خطوط المجال المغناطيسي للملف الحلزوني والمغناطيس المستقيم؟

* يستخدم قانون أمبير (للإشتقاق فقط) وغير مطلوب تطبيقات رياضية أخرى.



الشكل (6-12)

لعلك توصلت إلى أن خطوط المجال المغناطيسي خارج الملف الحلزوني تكون على شكل دوائر مركزها السلك، وتتجمع داخله على شكل خطوط متوازية على امتداد محوره لتعطي مجالاً منتظماً تقريباً. وإذا قربت اللفات لتصبح متراصة يصبح المجال منتظماً أكثر، ويكون مقدار المجال خارج الملف صغيرا مقارنةً مع قيمته داخله، وعند الأطراف تبدأ الخطوط بالانتشار في المنطقة الواقعة خارج الملف، فيقل مقدار المجال الناتج عنها عند الطرفين.

ولحساب المجال المغناطيسي داخل الملف الحلزوني، نستخدم قانون أمبير. نختار مساراً مغلقاً مستطيل الشكل، كما في الشكل (6-12). وبتطبيق قانون أمبير على المسارات الأربعة، نجد أن: $\sum B.\Delta L = \mu_0 \sum I$

$$B\ L = \mu_0 \sum I$$

$$B = \frac{\mu_0 I\ N}{L}$$

$$B = \frac{\mu_0 I\ N}{L} = \mu_0\ nI \qquad (6\text{-}5)$$

حيث n = عدد اللفات في وحدة الأطوال وتساوي: $n = N / L$

مثال (4):

لُف سلك من النحاس طوله 440 cm على شكل ملف حلزوني قطره 14 cm وطوله 55 cm. احسب شدة المجال المغناطيسي عند نقطة على محوره عندما يمر فيه تيار شدته 1.4 A

الحل:

$L = N\ (2\pi\ r)$

$L = N \times 2 \times 3.14 \times 7 = 440$

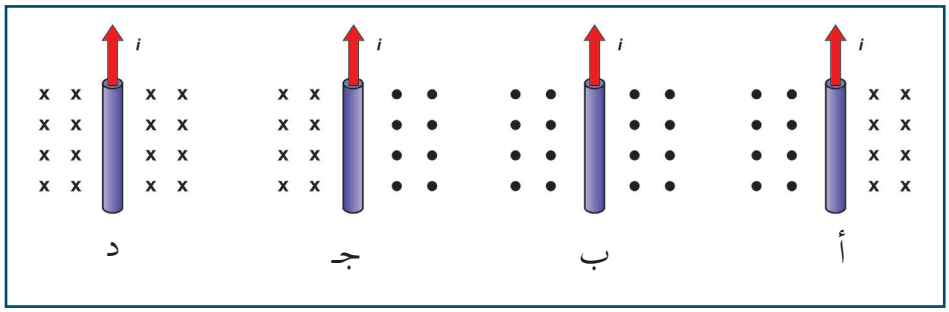
$N = 10$

$$B = \frac{\mu_0 I\ N}{L} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1.4 \times 10}{0.55} = 3.2 \times 10^{-5}\ T$$

أسئلة الفصل:

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة

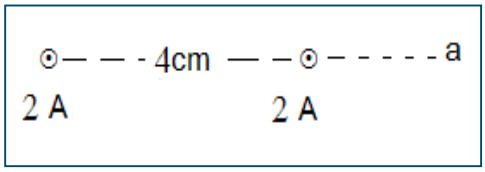
1. أي من الأشكال الآتية يمثل المجال المغناطيسي لسلك مستقيم طويل يسري فيه تيار كهربائي شدته (I)؟



2. إذا كانت شدة المجال المغناطيسي في ملف حلزوني عندما يمر به تيار كهربائي مستمر عند نقطة ما على محوره تساوي (B) تسلا. فإذا أُنقص عدد لفاته إلى الربع دون تغيير طوله، فما مقدار شدة المجال المغناطيسي عند نقطة ما على محوره؟

أ- 4 B ب- 2 B جـ- 0.5 B د- 0.25 B

3. يبين الشكل المجاور سلكين لا نهائيين يسري في كل منهما تيار كهربائي شدته (2 A) نحو الناظر، والمسافة بينهما (4 cm) في الهواء. ما مقدار شدة المجال المغناطيسي في النقطة (a) التي تبعد عن الأول (4 cm) بوحدة تسلا؟



أ- 1×10^{-5} ب- 1.5×10^{-5} جـ- 2×10^{-5} د- 5×10^{-5}

4. أي العوامل تسبب نقصان شدة المجال المغناطيسي داخل ملف حلزوني يمر فيه تيار كهربائي مع ثبوت باقي العوامل؟

أ- زيادة طول الملف ب- زيادة عدد لفات الملف

جـ- إنقاص طول الملف د- زيادة شدة التيار المار في الملف

5. سلك معدني طوله (L) متر على شكل حلقة معدنية بلفة واحدة، ومر فيها تيار كهربائي شدته (I) أمبير، فكانت شدة المجال المغناطيسي في مركزها (B). إذا لُف نفس السلك لتكوين ملف دائري عدد لفاته لفتان، ومر فيه نفس شدة التيار الكهربائي، فما شدة المجال المغناطيسي المتولدة في مركزه؟

أ- 2B ب- B جـ- 4B د- 0.5B

س2: أ- عرف ما يأتي: المجال المغناطيسي، وكثافة خطوط المجال المغناطيسي، وقانون أمبير.

ب- علل ما يأتي:

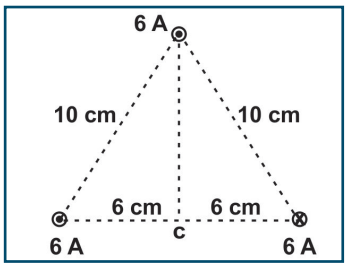
1- خطوط المجال المغناطيسي مقفلة.

2- خطوط المجال المغناطيسي لا تتقاطع.

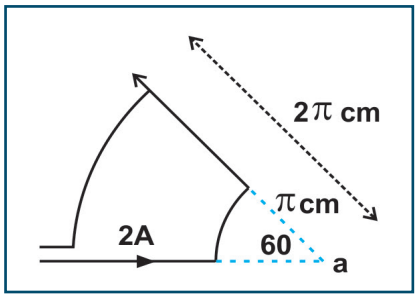
3- تتقارب خطوط المجال المغناطيسي بالقرب من محور السلك وتتباعد كلما ابتعدنا عنه.

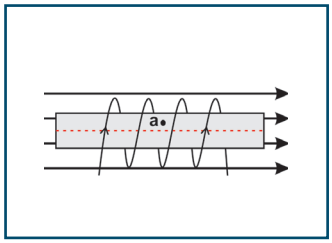
4- شدة المجال المغناطيسي خارج الملف الحلزوني الذي طوله أكبر بكثير من نصف قطره تقترب من الصفر.

س3: احسب مقدار واتجاه شدة المجال المغناطيسي في النقطة (c)



س4: اعتمادا على المعلومات المثبتة على الشكل المجاور. احسب المجال المغناطيسي الكلي عند النقطة a.

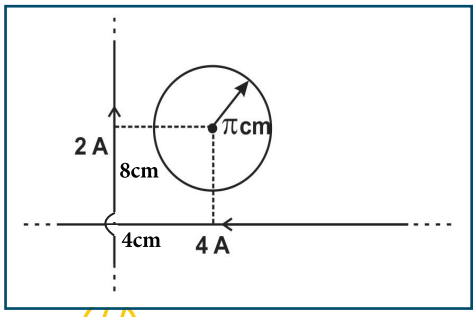




س5: الشكل المجاور يمثل ملفاً حلزونياً عدد لفاته 7 لفات وطوله (3 cm) يمر فيه تيار كهربائي شدته (2 A)، واتجاه التيار فيه مع عقارب الساعة عند النظر إليه من اليمين، غمر في مجال مغناطيسي شدته (3×10^{-4} T) نحو اليمين. احسب محصلة المجال المغناطيسي عند أية نقطة داخل الملف الحلزوني.

س6: سلك موصل طوله (50 πm) شُكّل بحيث يصنع منه ملف دائري نصف قطره (R) وعدد لفات (N)، مُرّر به تيار شدته (5 A) فتولد في مركزه مجال مغناطيسي شدته ($2\pi \times 10^{-3}$ T)، احسب نصف قطر ذلك الملف وعدد لفاته.

س7: يبين الشكل سلكين مستقيمين لا نهائيين، يحمل الأول تيارا كهربائيا شدته (2 A) نحو محور الصادات الموجب، والثاني (4 A) نحو السينات السالب، وضعت حلقة دائرية في مستوى السلكين نصف قطرها (π cm)، ويقع مركزها في النقطة (4 cm , 8 cm)، أوجد مقدار واتجاه شدة التيار المار بالحلقة لتصبح شدة المجال المغناطيسي في مركز الملف (10^{-5} T) باتجاه الناظر.

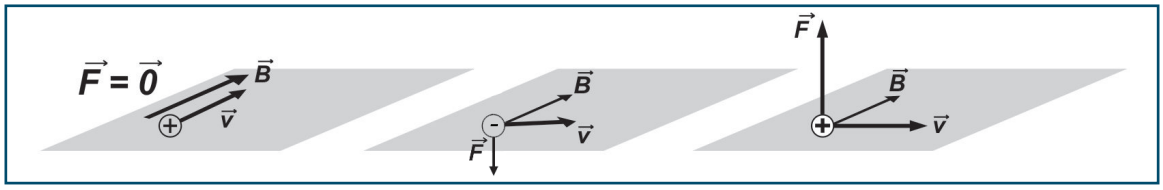


القوة المغناطيسية Magnetic Force

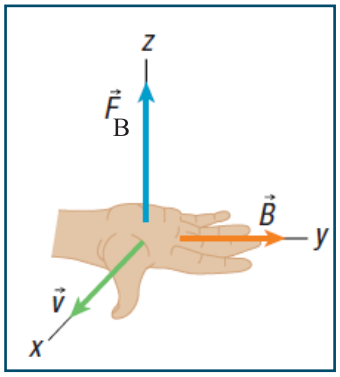
1-7 القوة المغناطيسية المؤثرة في شحنة كهربائية متحركة Mag.Force on Moving Charge

عرفت سابقاً أن المجال الكهربائي يؤثر بقوة كهربائية في الشحنات الساكنة، وكذلك في الشحنات المتحركة بغض النظر عن اتجاه حركتها، وأن اتجاه القوة يكون بموازاة المجال الكهربائي. وقد دلت التجارب العملية على أن المجال المغناطيسي لا يؤثر بقوة مغناطيسية في الجسيمات المشحونة الساكنة، وعندما تتحرك هذه الجسيمات فيه، فإنها تتأثر بقوة من المجال المغناطيسي، وهذه القوة تتناسب طردياً مع كل من مقدار الشحنة q، وشدة المجال المغناطيسيB، ومركبة السرعة العمودية باتجاه شدة المجال ($v \sin\theta$)، حيث (θ): الزاوية بين السرعة واتجاه المجال المغناطيسي، أي أن القوة المغناطيسية ناتجة عن عملية الضرب الاتجاهي لمتجهي السرعة وشدة المجال المغناطيسي في الشحنة. أي أن:

$$\mathbf{F} = q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B} \qquad (7\text{-}1)$$
$$F = q\,v\,B\sin\theta$$



الشكل (7-1)



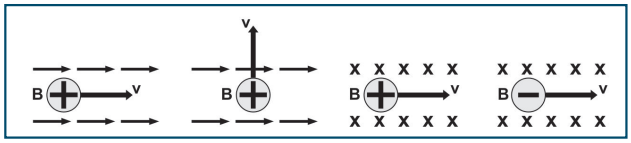
الشكل (7-2)

أما اتجاه القوة فيكون عمودياً دائماً على المستوى الذي يحوي كلاً من (v) و(B) كما في الشكل (8-1). ويحدد باستخدام قاعدة اليد اليمنى المفتوحة للشحنة الموجبة على النحو الآتي: ابسط يدك بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه السرعة وأصابع اليد إلى اتجاه المجال المغناطيسي (B)، فيكون اتجاه القوة المغناطيسية (F) عمودياً على راحة اليد إلى الخارج، انظر الشكل (7-2). وللشحنة السالبة نستخدم اليد اليسرى المفتوحة.

ومن المعادلة (7-1)، تلاحظ أن وحدة قياس شدة المجال المغناطيسي هي: N . s/C.m، وتعرف هذه الوحدة باسم (تسلا)، ويرمز لها بالرمز T.

التسلا: شدة المجال المغناطيسي الذي يؤثر بقوة مقدارها 1N في شحنة مقدارها 1C، تتحرك بسرعة 1 m/s، باتجاه يتعامد مع اتجاه المجال المغناطيسي.

أناقش:

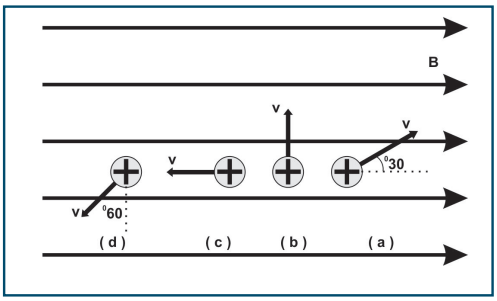


الشكل (7-3)

- حدد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في الشحنات المبينة في الشكل (7- 3).
- هل يؤثر المجال المغناطيسي في بروتون ساكن؟
- هل يؤثر المجال المغناطيسي في نيوترون متحرك؟
- دخل جسيم مشحون مجالاً مغناطيسياً منتظماً ولم يتأثر بقوة مغناطيسية. فسر ذلك؟

مثال (1):

يتحرك جسيم شحنته ($8.4\mu C$) بسرعة مقدارها 100 m/s، في مجال مغناطيسي منتظم شدته 0.3 T باتجاه محور السينات الموجب. احسب مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في الشحنة واتجاهها في الحالات (a، b، c، d) المبينة في الشكل (7- 4).



الشكل (7-4)

الحل:

$F = q\ v\ B \sin\theta$

بعيداً عن الناظر

$F_a = 8.4 \times 10^{-6} \times 100 \times 0.3 \times \sin 30 = 1.26 \times 10^{-4} N$

بعيداً عن الناظر

$F_b = 8.4 \times 10^{-6} \times 100 \times 0.3 \times \sin 90 = 2.52 \times 10^{-4} N$

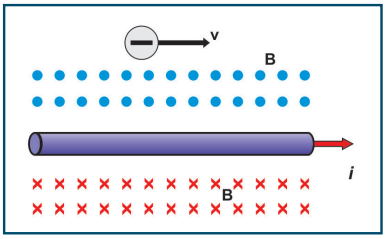
$F_c = 8.4 \times 10^{-6} \times 100 \times 0.3 \times \sin 180 = 0$

نحو الناظر

$F_d = 8.4 \times 10^{-6} \times 100 \times 0.3 \times \sin 150 = 1.26 \times 10^{-4} N$

مثال (2):

يبين الشكل (7-5) سلكاً مستقيماً طويلاً يسري فيه تيار كهربائي شدته (10 A). احسب القوة المؤثرة في إلكترون يتحرك بسرعة (1×10^6 m/s) باتجاه موازٍ للسلك نحو محور السينات الموجب على بعد 1 cm منه.



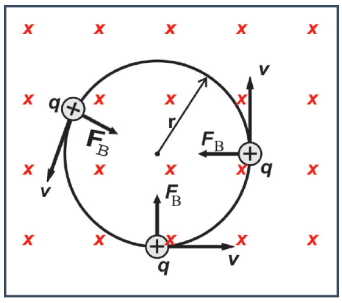
الشكل (7-5)

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10}{2\pi \times 0.01} = 2.0 \times 10^{-4}\ T$$

$$F = qvB\sin\theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^6 \times 2 \times 10^{-4} = 3.2 \times 10^{-17} N\ (+y)$$

2-7 حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم

لقد تعرفت في البند السابق، أن القوة المغناطيسية المؤثرة في شحنة تتحرك في مجال مغناطيسي تكون دائماً عمودية على سرعتها، فهل تكتسب الشحنة تسارعاً بفعل هذه القوة؟ للإجابة عن هذا السؤال، افترض أن مجالاً مغناطيسياً منتظماً عمودياً على الصفحة بعيداً عن الناظر يؤثر في جسيم مشحون كما في الشكل (7-6).



الشكل (7-6)

بما أن القوة المغناطيسية تعامد اتجاه السرعة، فإن الجسيم المشحون يكتسب تسارعاً ثابتاً في المقدار وعمودياً دائماً على السرعة. وهذا يؤدي إلى تغيّر مستمر في اتجاه السرعة دون تغيّر في مقدارها. وبالتالي، يسلك الجسيم المشحون مساراً دائرياً عند دخوله المجال المغناطيسي. وحركة الجسيم المشحون في مسار دائري لا تتم إلا بتأثير قوة مركزية F_B، وهي هنا القوة المغناطيسية. وبتطبيق قانون نيوتن الثاني، فإن:

$$F_c = F_B = m\ a_c$$

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

$$r = \frac{mv}{qB} \qquad (7\text{-}2)$$

حيث: (r): نصف قطر المسار الدائري للجسيم المشحون المتحرك داخل المجال.

(m): كتلة الجسيم المشحون.

(B): مقدار شدة المجال المغناطيسي المنتظم.

(q): مقدار شحنة الجسيم.

ولإيجاد الزمن اللازم للجسيم المشحون حتى يتم دورة كاملة، نستخدم العلاقة:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi mv}{qBv}$$

$$T = \frac{2\pi m}{qB} \qquad (7\text{-}3)$$

وأما تردد الجسيم المشحون فهو:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m} \qquad (7\text{-}4)$$

وأما التردد الزاوي (ω) للجسيم المشحون في مداره فهو:

$$\omega = \frac{qB}{m} \qquad (7\text{-}5)$$

أناقش:

- ما الشغل المبذول من القوة المغناطيسية على الجسيم المشحون؟
- هل تتغير طاقته الحركية؟ ولماذا؟
- هل يتغير زخمه الخطي؟ ولماذا؟
- بين ما يحدث للزمن الدوري عند مضاعفة سرعة الجسيم المشحون؟

مثال (3):

جسيم مشحون بشحنة مقدارها ($3.2 \times 10^{-19}\,C$)، وكتلته ($4 \times 10^{-28}\,kg$)، يدور بسرعة ثابتة مقدارها ($10^7 m/s$) في مسار دائري متعامد مع مجال مغناطيسي منتظم شدته ($0.1T$). احسب:

1. القوة المغناطيسية المؤثرة في الجسيم.
2. نصف قطر المسار الدائري للجسيم.
3. تردد حركة الجسيم.
4. الزمن الدوري.

الحل:

1) $F = qv\,B\sin\theta = 3.2 \times 10^{-19} \times 10^7 \times 0.1 \times \sin 90 = 3.2 \times 10^{-13} N$

2) $r = \frac{m\,v}{qB} = \frac{4 \times 10^{-28} \times 10^7}{3.2 \times 10^{-19} \times 0.1} = 0.125\ m$

3) $f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m} = \frac{3.2 \times 10^{-19} \times 0.1}{2 \times 3.14 \times 4 \times 10^{-28}} = 1.27 \times 10^7\ Hz$

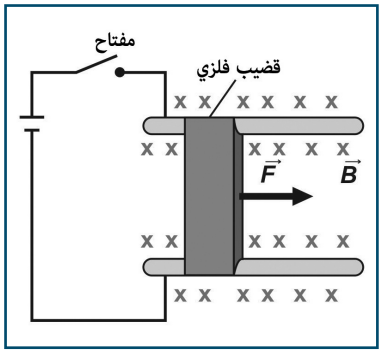
4) $T = \frac{1}{f} = 7.87 \times 10^{-8}\ s$

3-7 القوة المغناطيسية المؤثرة في موصل يسري فيه تيار كهربائي
Magnetic Force on a Current-Carrying Conductor

توصّلت في البند السابق إلى أن قوة مغناطيسية تؤثر في الشحنة إذا تحركت في مجال مغناطيسي. فهل يتأثر سلك فلزي يسري فيه تيار كهربائي بقوة مغناطيسية إذا وضع في مجال مغناطيسي؟

للإجابة عن السؤال، قم بتنفيذ النشاط التالي:

نشاط (7-1): القوة المغناطيسية على موصل يسري فيه تيار كهربائي



المواد والأدوات: مصدر فرق جهد (بطارية)، وموصل، ومغناطيس، ومفتاح.

الخطوات:

- كوّن دارة كهربائية كما في الشكل المجاور.
- أغلق الدارة بوساطة المفتاح، ماذا يحدث للموصل؟
- اعكس أقطاب البطارية، ثم أغلق الدارة مرة أخرى، ماذا يحدث للموصل؟

لعلّك لاحظت تأثر السلك بقوة مغناطيسية، وقد أثبتت التجارب أن هذه القوة تتناسب طردياً مع كل من: شدة التيار الكهربائي، وشدة المجال المغناطيسي، وطول السلك، وجيب الزاوية المحصورة بين اتجاه التيار (طول السلك)، وشدة المجال المغناطيسي. فكيف نتوصل إلى العلاقة رياضياً؟

تعرفت سابقاً أن التيار الكهربائي: شحنات كهربائية متحركة، ولما كان المجال المغناطيسي يؤثر بقوة في أية شحنة متحركة فيه، فإن المجال المغناطيسي سيؤثر في السلك الذي يسري فيه تيار كهربائي، بقوة تساوي محصّلة القوى المؤثرة في هذه الشحنات.

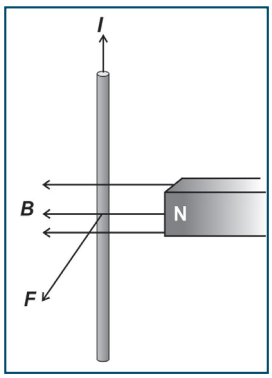
عند وصل طرفي موصل فلزي طوله (L)، ومساحة مقطعه العرضي (A)، والكثافة الحجمية للإلكترونات الحرة فيه (n_e) بمصدر فرق جهد، فإن الشحنات الحرة فيه تتحرك بسرعة ثابتة v (السرعة الانسياقية)، ولما كانت الشحنات المكونة للتيار من نفس النوع (إلكترونات)، فإن:

القوة المغناطيسية الكلية = عدد الشحنات × القوة المؤثرة في كل شحنة

$$\mathbf{F} = (n_e\, A\mathbf{L})\ (q\mathbf{v} \times \mathbf{B}) = n_e A q \mathbf{L}\ (v \times B)$$

$$\mathbf{F} = (n_e A q \mathbf{v})\ (\mathbf{L} \times \mathbf{B}) = I\ (\mathbf{L} \times \mathbf{B})$$

$$\mathbf{F} = I\ (\mathbf{L} \times \mathbf{B}) \qquad (7\text{-}6)$$
$$F = ILB \sin\theta$$



الشكل (7-7)

ويتحدد اتجاه (L) باتجاه التيار المار في السلك. ويكون اتجاه القوة متعامداً مع اتجاهي شدة المجال المغناطيسي وطول السلك (اتجاه التيار المار فيه)، ويحدد اتجاه القوة باستخدام قاعدة كف اليد اليمنى المفتوحة المبينة في الشكل (7 -7)، وهي:(اجعل أصابع اليد اليمنى المفتوحة تشير إلى اتجاه شدة المجال المغناطيسي (B)، والإبهام يشير إلى اتجاه التيار، فتكون القوة باتجاه عمودي على الكف إلى الخارج).

مثال (5):

سلك مستقيم من النحاس كثافة كتلته الطولية 46.6 g/m موضوع أفقياً في مجال مغناطيسي، ويسري فيه تيار كهربائي شدته 5 A نحو محور السينات السالب. ما اتجاه أقل مجال مغناطيسي يلزم لرفع هذا السلك رأسياً إلى أعلى؟ وما مقداره؟

الحل:

أقل قوة تلزم لتحريك السلك إلى أعلى بسرعه ثابتة، تكون القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك لأعلى، ومساوية في المقدار لوزن السلك، وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى المفتوحة، يكون اتجاه المجال المغناطيسي باتجاه الناظر. ولحساب أقل مقدار لشدة المجال، فإن: القوة المغناطيسية = الوزن

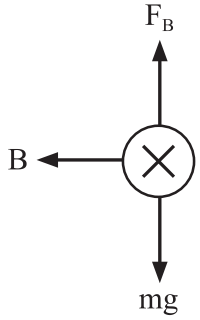
$$F_g = F_B$$

$$mg = ILB \sin 90$$

$$\frac{m}{L} \times 10^{-3} \times 10 = 5 \times B \times 1$$

$$46.6 \times 10^{-3} \times 10 = 5 \times B \times 1$$

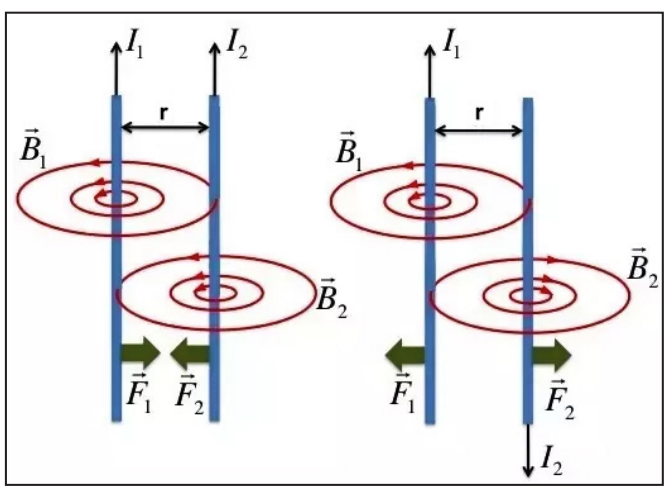
$$B = 0.0932\ T$$



4-7 القوة المتبادلة بين سلكين متوازيين طويلين يحمل كل منهما تياراً كهربائياً

يتولد مجال مغناطيسي حول سلك يسري فيه تيار كهربائي، فإذا وضع سلك آخر يحمل تيارا كهربائياً موازياً للأول فإن كلاً منهما يقع في مجال الآخر، فتنشأ قوة مغناطيسية متبادلة بينهما. ولحساب القوة المتبادلة بين سلكين متجاورين طويلين متوازيين يسري في كليهما تيار كهربائي، نحسب أولا شدة المجال المغناطيسي الناشئ عن أحدهما عند موضع الآخر، ثم نحسب القوة التي يؤثر فيها هذا المجال في السلك الآخر، ففي الشكل (7- 8)، تكون شدة المجال المغناطيسي المتولد عن السلك الأول في موضع الثاني (B_1) هو: $B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$

حيث r: البعد العمودي بين السلكين.



الشكل (7-8)

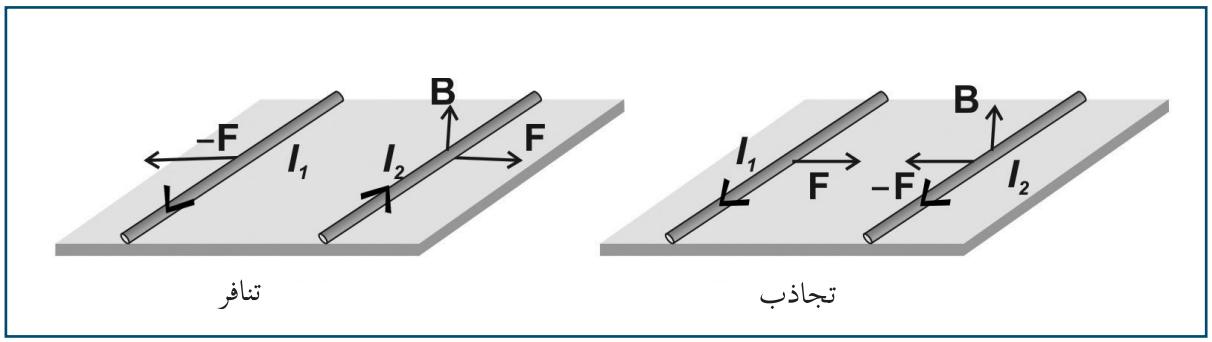
وهذا المجال يؤثر بقوة في السلك الثاني تعطى بالعلاقة:

$$F = I_2 L \times \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} \sin 90 = I_2 L \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$$

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi r} \qquad (7\text{-}7)$$

وبالمثل يمكن إثبات أن السلك الثاني يؤثر في الأول بقوة مساوية لها في المقدار، ومعاكسة لها في الاتجاه الشكل (7- 7). ونظراً لأن السلكين طويلان جداً، فإن القوة المتبادلة بين السلكين لكل وحدة طول $(\frac{F}{L})$، تعطى بالعلاقة:

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$$

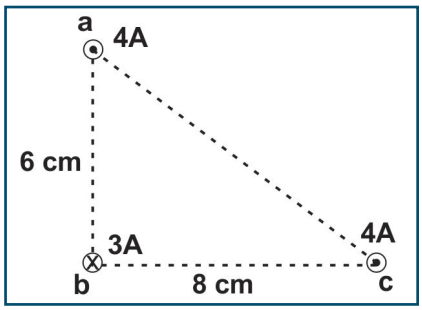


الشكل (7-9): اتجاه القوة المغناطيسية بين سلكين طويلين.

سؤال: عرف الأمبير من العلاقة السابقة.

مثال (6):

يمثل الشكل (7- 10) ثلاثة أسلاك مستقيمة طويلة جداً يسري في كل منها تيار كهربائي. احسب مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في وحدة الطول من السلك (b).



الشكل (7-10)

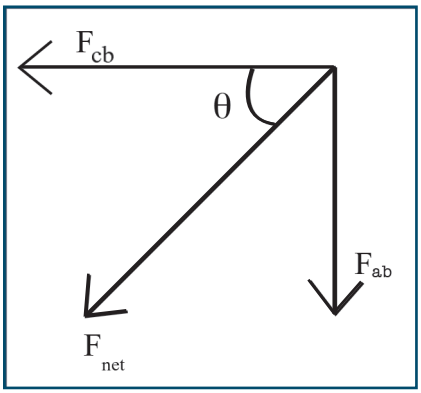
الحل:

$$F_{ab} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 4 \times 3}{2\pi \times 6 \times 10^{-2}} = 4 \times 10^{-5}\ N/m \quad (-y)$$

$$F_{cb} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 4 \times 3}{2\pi \times 8 \times 10^{-2}} = 3 \times 10^{-5}\ N/m \quad (-x)$$

$$F_{net} = \sqrt{4^2 + 3^2} \times 10^{-5} = 5 \times 10^{-5}\ N/m$$

$$\tan\theta = \frac{4}{3}\ ,\ \theta = 53^\circ$$



6-7 قوة لورنتز وحركة الشحنات في المجالين الكهربائي والمغناطيسي

تعتمد كثير من التطبيقات العلمية على التأثير الفيزيائي للمجالين الكهربائي والمغناطيسي على الأجسام المشحونة، حيث إنه عند تعريض جسيم مشحون لكلا المجالين في آن واحد، فإن هذا الجسيم سيقع تحت تأثير القوتين الكهربائية والمغناطيسية، ومحصلة القوتين تعرف باسم قوة لورنتز، أي أن: $\mathbf{F}_{net} = \mathbf{F}_E + \mathbf{F}_B$

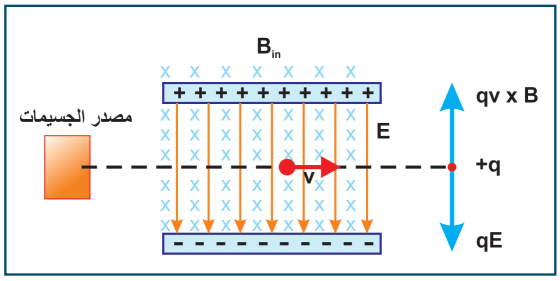
$$\mathbf{F}_{net} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \qquad (7\text{-}7)$$

منتقي السرعات:

يتبين من اسم هذا الجهاز أنه مرشح للسرعة، حيث يمكن باستخدامه التحكم في اختيار حزمة من الجسيمات المشحونة ذات سرعة محددة؛ وذلك لأن الجسيمات المنبعثة عند أية درجة حرارة لها توزيع إحصائي على نطاق واسع من السرعات، ولاختيار سرعة محددة نستخدم جهاز منتقي السرعات.

آلية عمله:

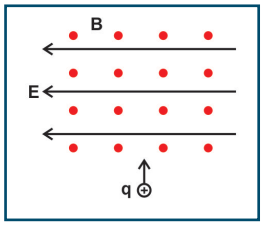
يتكون جهاز منتقي السرعات من مصدر للجسيمات المشحونة، حيث تنطلق الجسيمات من المصدر بسرعات مختلفة لتمر من الشريحة التي تحدّد حزمة من هذه الجسيمات لتمرّ في منطقة مجال كهربائي متعامد مع مجال مغناطيسي، كما في الشكل (11-8)، تتأثر الجسيمات المشحونة بالمجالين الكهربائي والمغناطيسي، بحيث يكون اتجاه القوة الكهربائية للأسفل واتجاه القوة المغناطيسية للأعلى. وهذا سيؤدي إلى أن الجسيمات المتحركة بسرعة معينة هي التي ستتحرك في خط مستقيم، لأنه عند تلك السرعة تتساوى القوة الكهربائية مع مقدار القوة المغناطيسية، بينما الجسيمات المتحركة بسرعات أخرى ستنحرف عن المسار المستقيم. ولإيجاد هذه السرعة نستخدم قانون لورنتز: $\mathbf{F}_{net} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \longrightarrow v = \frac{E}{B}$



الشكل (8- 11)

مثال (7):

يبين الشكل المجاور جسيماً مشحوناً بشحنة موجبة مقدارها (2 C) ، يتحرك في منطقة يؤثر فيها مجال كهربائي شدته (0.1 N/C) باتجاه محور السينات السالب، ومجال مغناطيسي شدته (4×10^{-4} T) يتجه نحو الناظر. ما مقدار السرعة التي يتحرك بها الجسيم حتى يبقى محافظاً على اتجاه حركته في خط مستقيم إلى أعلى؟



الحل:

$F_{net} = 0$

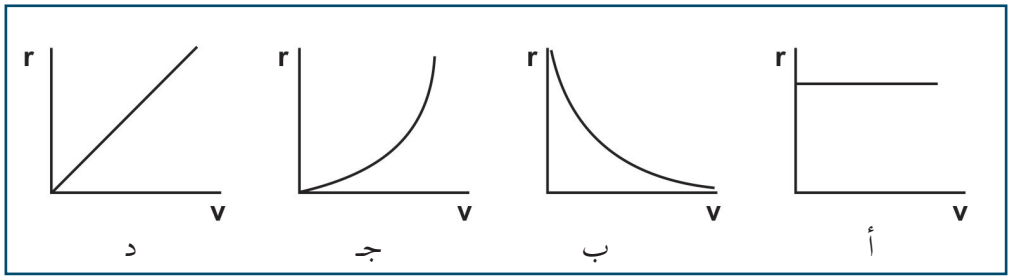
$$v = \frac{E}{B} = \frac{0.1}{4 \times 10^{-4}} = 250 \text{ m/s}$$

سؤال: ما مقدار شدة المجال الكهربائي اللازمة للحصول على جسيمات مشحونة سرعتها (1.5×10^{6} m/s) في جهاز منتقي السرعات، إذا كانت شدة المجال المغناطيسي فيه (2.2×10^{-4} T).

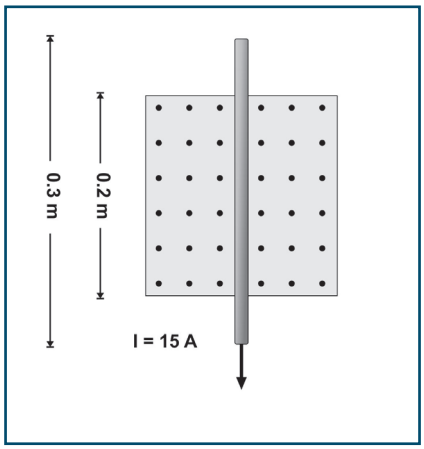
أسئلة الفصل:

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. تم مسارعة جسيمات مشحونة كتلتها (m) ولها نفس الشحنة في مجال كهربائي منتظم بسرعات مختلفة، ثم أدخلت في مجال مغناطيسي شدته (B) بشكل عمودي على خطوط المجال. أي من الأشكال الآتية يمثل العلاقة بين نصف قطر المسار الدائري (r) للجسيمات المشحونة وسرعتها (v)؟



2. يبين الشكل المجاور، سلكاً فلزياً طوله (30 cm)، موضوعاً في مجال مغناطيسي منتظم شدته (0.25 T) يتجه نحو الناظر، ويسري فيه تيار كهربائي شدته (15 A). ما مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك.



أ- 0.75 N باتجاه (- x).

ب- 0.75 N باتجاه (+ x).

ج- 1.1 N باتجاه (- x).

د- 1.1 N باتجاه (+ x).

3. يدخل جسيم مشحون مجالاً مغناطيسياً بشكل عمودي عليه بسرعة مقدارها (v)، ثم يدخل جسيم آخر مماثل له في الكتلة والشحنة المجال المغناطيسي بسرعة (2 v). إذا كان تردد حركة الجسيم الأول (f)، فما تردد حركة الجسيم الثاني؟

أ- f ب- $2f$ جـ- $4f$ د- $0.5f$

4. مجال كهربائي منتظم (E) ومجال مغناطيسي منتظم (B) في نفس الاتجاه. إذا قذف بروتون في نفس اتجاه خطوط المجالين، فأي الآتية صحيحة؟

أ- البروتون يتحرك عكس المجال الكهربائي.

ب- البروتون يتحرك بإتجاه المجال الكهربائي.

جـ- يتحرك البروتون في مسار دائري.

د- سرعة البروتون تقل في المقدار.

5. ما نوع الجسيمات التي يتم الحصول عليها من جهاز منتقي السرعات؟

أ- غير مشحونة لها نفس السرعة　　ب- مشحونة لها نفس السرعة

جـ- غير مشحونة مختلفة في السرعة　　د- مشحونة مختلفة في السرعة

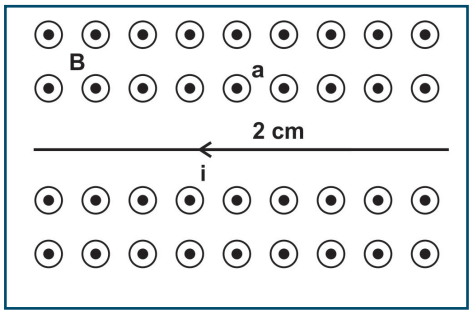
6. إذا كانت القوة المتبادلة بين سلكين لا نهائيين متوازيين يحملان تيارا كهربائيا تساوي 100 N، فكم تصبح القوة المتبادلة بينهما عند مضاعفة البعد بينهما (بوحدة N)؟

أ- 400　　ب- 200　　جـ- 50　　د- 25

س2: أ. وضح المقصود بقولنا: شدة المجال المغناطيسي 0.5T ، قوة لورنتز.

ب. فسر ما يأتي:

1. لا يبذل المجال المغناطيسي شغلاً على جسيم مشحون عند قذفه عمودياً عليه.
2. عند قذف إلكترون داخل ملف حلزوني يحمل تياراً كهربائياً باتجاه موازٍ لمحوره فإنه لا ينحرف.

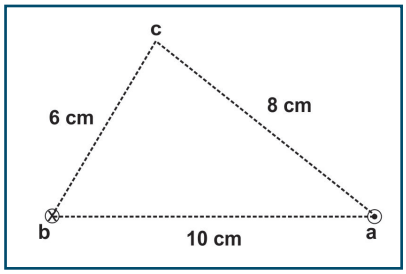


س3: سلك مستقيم طويل جداً يمر فيه تيار كهربائي شدته (4 A) مغمور في مجال مغناطيسي منتظم شدته ($5x10^{-5}$ T) باتجاه الناظر كما في الشكل المجاور. احسب:

أ- القوة المغناطيسية المؤثرة في جزء من السلك طوله (1 m) وحدد اتجاهها.

ب- شدة المجال المغناطيسي الكلي في النقطة (a).

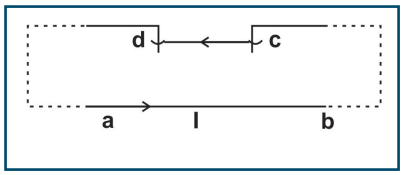
ج- القوة المغناطيسية المؤثرة في إلكترون يتحرك بسرعة (2×10^{5} m/s) لحظة مروره بالنقطة (a) بالاتجاه السيني الموجب.



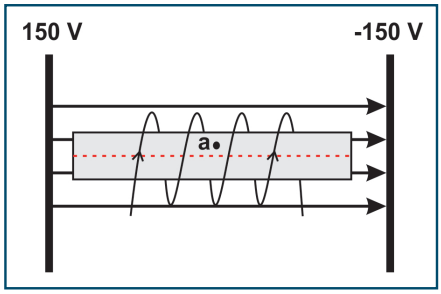
س4: تمثل النقطتان (a، b) في الشكل المجاور مقطعي موصلين مستقيمين طويلين جداً متعامدين مع مستوى الورقة، ويحمل كل منهما تياراً كهربائياً شدته (5 A) باتجاهين متعاكسين. النقطة (c) تقع في مستوى الورقة وتبعد (8 cm) عن النقطة (a)، (6 cm) عن النقطة (b). احسب:

أ- شدة المجال المغناطيسي الكلي عند النقطة (c).

ب- مقدار القوة التي يؤثر فيها أحد الموصلين على وحدة الأطوال من الآخر.



س5: ab سلك طويل، cd سلك كتلته (6 g) وطوله (1.5 m) مواز للسلك ab ويقع السلكان في مستوى رأسي واحد، فإذا كان السلك cd قابلا للانزلاق للأعلى والأسفل على حاملين رأسيين ومرّ تيار شدته 120 A في الدارة، بيّن على أي ارتفاع فوق ab يتزن السلك cd.



س6: في الشكل المجاور وضع ملف حلزوني طوله 2π cm وعدد لفاته 25 لفة بين لوحين فلزيين متوازيين على بعد 10 cm من بعضهما، عند مرور شحنة -1 ميكروكولوم بالنقطة a بسرعة 2×10^{6} m/s في اتجاه محور الصادات الموجب، كان مقدار قوة لورنتز المؤثرة على الشحنة تساوي 5×10^{-3} N، فما مقدار التيار المار في الملف الحلزوني؟

س٧: يتحرك بروتون كتلته (1.67×10^{-27} kg)، وشحنته (1.6×10^{-19}C) بسرعة مقدارها (7×10^{4} m/s) باتجاه محور السينات الموجب في منطقة مجال كهربائي منتظم شدته (700 V/m) واتجاهه باتجاه محور الصادات الموجب. ما مقدار واتجاه المجال المغناطيسي الذي يجب تسليطه على المجال الكهربائي، بحيث يستمر البروتون في الحركة باتجاه محور السينات الموجب؟

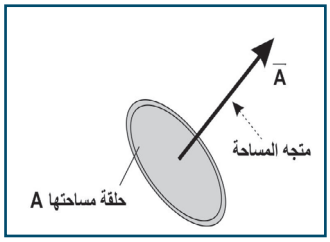
س٨: X، Y جسيمان، حيث ($m_x = 2\ m_y$)، قذفا أحدهما تلوَ الآخر بنفس السرعة من النقطة (a) نحو أعلى الصفحة في مجال مغناطيسي منتظم مقتربا من الناظر، كما في الشكل المجاور، يحمل الجسيم (X) شحنة (-2 μC) بينما (Y) يحمل شحنة (1 μC)، إذا علمت أن نصف القطر الذي دار به الجسيم (X) قبل أن يصطدم بالحاجز يساوي (10 cm)، أوجد المسافة الفاصلة بين نقطتي اصطدام كلا الجسيمين بالحاجز.

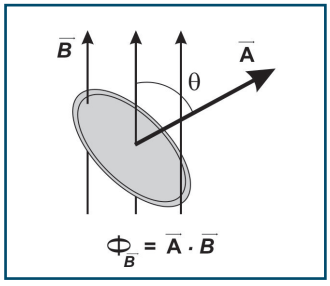
الحث الكهرومغناطيسي Electromagnetic Induction

1-8 الحث الكهرومغناطيسي Electromagnetic Induction

إن الشحنات الكهربائية الساكنة على سطوح الموصلات تولد مجالاً كهربائياً، وإذا سمح لهذه الشحنات بالحركة بفعل مؤثر ما فإنها تولد تياراً كهربائياً، التيار الكهربائي المار عبر هذه الموصلات يولد مجالاً مغناطيسياً على هيئة حلقات مقفلة حول هذه الموصلات، وما دامت التيارات الكهربائية تولد مجالات مغناطيسية، فهل من الممكن للمجال المغناطيسي أن يولد تياراً كهربائياً؟

2-8 التدفق المغناطيسي Magnetic Flux





توصل فاراداي من خلال تنفيذ بعض الأنشطة الى أن تياراً كهربائياً يتولد في ملف عندما يتغير المجال المغناطيسي داخله، وبذلك يعمل الملف كمصدر للقوة الدافعة الكهربائية، أطلق عليها اسم القوة الدافعة الكهربائية الحثية، وعلى التيار المار فيها اسم التيار الحثي.

وقد تحقق فاراداي كمياً من العوامل التي تؤثر في مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية. ووجد أنه كلما زاد معدل التغير في المجال المغناطيسي بالنسبة للزمن، زادت القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف. وعلى الرغم من أن تغير المجال المغناطيسي يولد تياراً كهربائياً، فإنه في حالات أخرى يكون المجال المغناطيسي ثابتاً، ويتولد فيها تيار حثي، كما هو الحال عند تغير مساحة الملف أو دورانه في المجال المغناطيسي. لقد استدل فاراداي من معرفته لخطوط قوى المجال المغناطيسي أن معدل التغير في عدد خطوط قوى المجال المغناطيسي الذي يقطع ملف (أو حلقة) هو الذي يؤدي إلى توليد تيار حثي فيه. ولكن، بماذا يذكرك قطع خطوط المجال المغناطيسي لمساحة ما؟

لقد تعرفت سابقاً، أن قطع خطوط المجال الكهربائي لمساحة ما يسمى التدفق الكهربائي، وبالمثل، يُعرّف قطع خطوط المجال المغناطيسي لمساحة ما: التدفق المغناطيسي، والعلاقة التي تربط بين التدفق المغناطيسي خلال سطح ما، ومساحته، وشدة المجال المغناطيسي، هي:

$$\Phi_B = \mathbf{B}.\mathbf{A} = BA\cos\theta \qquad (8\text{-}1)$$

حيث:

A: متجه المساحة، وهو متجه مقداره يساوي مقدار مساحة السطح، واتجاهه عمودي على السطح للخارج.

B: شدة المجال المغناطيسي.

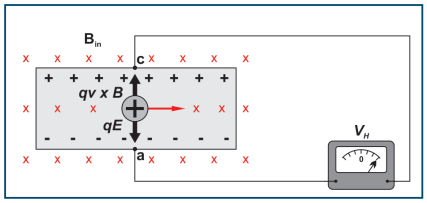
θ: الزاوية بين المجال المغناطيسي والعمودي على مستوى الملف (متجه المساحة).

Φ_B: التدفق المغناطيسي، ويقاس بوحدة الويبر $Wb = T.m^2$

وبناءً على مفهوم التدفق المغناطيسي، يمكن تعميم النتيجة السابقة: يتولد تيار حثي في ملف، إذا حدث تغير في التدفق المغناطيسي خلاله.

Induced Electromotive Force & Faraday's law

توصلت في البند السابق، إلى أنه يتولّد تيار حثّي في دارة مغلقة بسبب تغيّر التدفق المغناطيسي الذي يخترقها، فلماذا نتجت القوة الدافعة الكهربائية الحثية؟ وما العوامل التي يتوقف عليها مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية الناتجة في ملف أو موصل؟



الشكل (8- 1)

للإجابة عن الأسئلة السابقة، دعنا نضع موصلاً (ac) طوله (L) في مجال مغناطيسي منتظم، ونقوم بسحبه نحو اليمين بسرعة ثابتة (v) باتجاه عمودي على خطوط مجال مغناطيسي منتظم (B) يتجه عمودياً على الصفحة للداخل، كما في الشكل (8-1). وبذلك، فإن المجال المغناطيسي سيؤثر بقوة مغناطيسية في الشحنات الموجبة تساوي:

$\mathbf{F_B} = q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ باتجاه الموصل من (a) إلى (c).

مما يؤدي إلى زيادة تركيز الشحنات الموجبة عند النقطة (c) والشحنات السالبة عند النقطة (a). وكنتيجة لعملية فصل الشحنات، يتولد مجال كهربائي داخل الموصل، يكون اتجاهه من (c) إلى (a)، وتستمر الشحنات بالتجمع عند طرفي الموصل؛ حتى تتّزن القوة الكهربائية إلى أسفل ($q\mathbf{E}$) والقوة المغناطيسية إلى الأعلى ($q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B}$) ، عندها تتوقف حركة الشحنات باتجاه طرفي الموصل. وبذلك، فإنه يمكننا التعبير عن حالة الاتزان هذه في الموصل في الاتجاه الصادي بالمعادلة: $F_B = F_E$

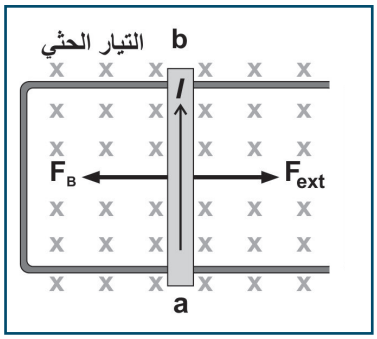
$q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B} = q\mathbf{E}$ ومنها نجد:

$$E = v\,B \qquad (8\text{-}2)$$

وبما أنّ فرق الجهد المتولد بين طرفي الموصل يعطى بالعلاقة: $\mathbf{V} = \mathbf{E}\,\mathbf{L}$ ، فإنّه بالتعويض عن قيمة $\mathbf{E}$ في المعادلة (9-2)، فإنّ: $V = v\,B\,L$

وتمثل القوة الدافعة الكهربائية الحثية بين طرفي الموصل، ويرمز لها بالرمز ε

$$\varepsilon = v\,B\,L \qquad (8\text{-}3)$$



الشكل (9- 2)

فإذا تم وصل طرفي الموصل (a b) بسلك خارجي على شكل حرف (U)، بحيث يشكل مجرى يمكن للموصل أن ينزلق عليه، وقمنا بسحب الموصل (a b) بتأثير قوة خارجية، وبسرعة ثابتة نحو اليمين، باتجاه عمودي على خطوط المجال المغناطيسي، حينها يتولد تيار حثي بالاتجاه المبين في الشكل (8- 2). ومع وجود الموصل في المجال المغناطيسي، فإن المجال يؤثر بقوة مغناطيسية في التيار الذي يسري في الموصل (a b) عمودياً على خطوط المجال المغناطيسي يكون اتجاهها نحو اليسار. وبما أنّ الموصل يتحرك بسرعة ثابتة، فإنّ القوة الخارجية (F_{ext}) تساوي القوة المغناطيسية، وتعاكسها في الاتجاه)؛ أي أنّ: $F_{ext} = -F_B = -ILB$

وخلال إزاحة الموصل إزاحة (Δx) تتغير المساحة التي تخترقها خطوط المجال المغناطيسي بمقدار ($L\Delta x$)، ويُحسب الشغل المبذول من القوة الخارجية وفق المعادلة:

$$W = F_{ext}\ (\Delta x)$$

$$W = -ILB\Delta x$$

حيث: $L\,\Delta x = \Delta A$

$W = -I\Delta\phi$

ويتحول هذا الشغل إلى طاقة كهربائية، وتساوي $(\varepsilon I\Delta t)$ أي أن: $\varepsilon I\Delta t = -I\Delta\phi$ ومنها نجد أن: $\varepsilon_{ave} = \dfrac{-\Delta\phi}{\Delta t}$

وهذه حالة عامة، تبيّن أن القوة الدافعة الكهربائية الحثية تتولد عند تغيّر التدفق المغناطيسي، بغض النظر عن شكل الدارة أو الملف، وإذا كان الملف يتكون من (N) لفة، فإن التدفق يتغيّر خلال كل لفة بالنسبة للزمن بالمقدار نفسه، فتكون القوة الدافعة الكهربائية الحثية الكلية تساوي:

$$\varepsilon_{ave} = -N\ \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \qquad (8\text{-}4)$$

وتعبر العلاقة السابقة عن الصيغة الرياضية لقانون فارادي الذي ينص على أن:

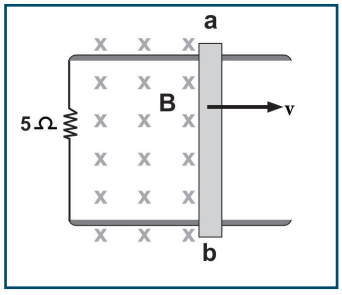
متوسط القوة الدافعة الكهربائية الحثية تتناسب طردياً مع المعدل الزمني للتغير في التدفق المغناطيسي الذي يخترق الدارة الكهربائية.

فإذا كانت مقاومة الأسلاك (**R**)، فإن التيار الحثي الذي يسري في الدارة يساوي:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} \qquad (8\text{-}5)$$

سؤال: مبتدئا بقانون فارداي كيف يمكن التوصل للعلاقة: $\varepsilon = v\,B\,L$

مثال (1):



موصل a b طوله 40 cm متصل على التوالي مع مقاومة 5 Ω في مجال مغناطيسي 0.3 T إذا تحرك الموصل لليمين بسرعة 3 m/s كما في الشكل، أوجد:

1) القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة.

2) شدة التيار الحثي.

3) القوة الخارجية اللازمة حتى يتحرك الموصل بسرعة ثابتة.

الحل:

1) $\varepsilon = v\,B\,L = 3 \times 0.3 \times 0.4 = 0.36\ V$

2) $I = \dfrac{\varepsilon}{R} = \dfrac{0.36}{5} = 0.072\ A$ عكس عقارب الساعة

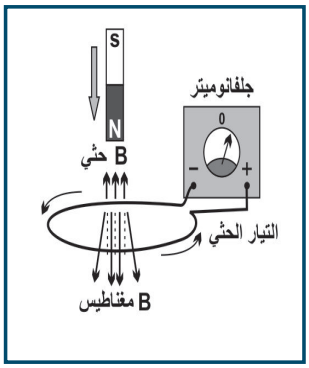
3) $F_{ext} = |F_B| = ILB = 0.072 \times 0.4 \times 0.3 = 0.00864\ N, (+\mathcal{X})$ باتجاه

4-8 قانون لنز

لعلك لاحظت في الأنشطة العملية السابقة أن انحراف مؤشر الجلفانوميتر عند تقريب المسبب في توليد التيار الحثي في الملف يكون معاكساً لانحرافه حال إبعاده، فهل فكرت في السبب؟ وما دلالة وجود الإشارة السالبة في قانون فارادي؟

لقد استخدم لنز مبدأ حفظ الطاقة للتوصل إلى قاعدة لتحديد قطبية القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في ملف أو سلك، وبالتالي اتجاه التيار الحثي المتولد في ملف عندما يتغير فيه التدفق المغناطيسي. وكما هو شأن أي تيار آخر، فإن التيار الحثي ينتج مجالاً مغناطيسياً خاصاً به (B حثي)، فيتولد عنه تدفقٌ مغناطيسيٌ في الملف يقاوم التغير في التدفق الذي أنشأه، ويحدد اتجاه التيار الحثي في الملف باستخدام قاعدة اليد اليمنى.

فعند تقريب قطب شمالي من حلقة فلزية دائرية متصلة بطرفي جلفانوميتر كما في الشكل(8-3)، يزداد التدفق المغناطيسي فيها باتجاه الأسفل، فيتولد في الحلقة قوة دافعة حثية ينشأ عنها تيار حثي اتجاه مجاله المغناطيسي للأعلى (بعكس اتجاه المجال المؤثر). وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى يكون اتجاه التيار الحثي فيها عكس عقارب الساعةعند النظر إليها من أعلى، فيكون طرف الملف القريب من المغناطيس قطباً شمالياً يتنافر مع القطب الشمالي للمغناطيس ليقاوم اقترابه. وبذلك يحاول التيار الحثي المتولد في الملف الحفاظ على بقاء التدفق في الملف ثابتاً.



الشكل (8- 3)

إذن فالقوة الدافعة الكهربائية الحثية تنشأ، بحيث تقاوم التغير في التدفق الذي كان سبباً في توليدها، وتعرف هذه النتيجة بقانون لنز الذي ينص على:

(يكون اتجاه التيار الحثي المتولد في دارة كهربائية أو ملف، بحيث يقاوم المولد له، وهو التغير في التدفق المغناطيسي)

أناقش:

ماذا يحدث في الحالة السابقة إذا تم:

1- إبعاد القطب الشمالي للمغناطيس عن الحلقة؟

2- تقريب القطب الجنوبي للمغناطيس من الحلقة؟

وبذلك يمكن تفسير وجود الإشارة السالبة في قانون فارادي، بأن التيار الحثي المتولد في الموصل أو الملف يقاوم التغير في التدفق المغناطيسي الذي يخترقه.

ولتحديد اتجاه التيار الحثي في ملف باستخدام قانون لنز، اتبع الخطوات الآتية:

1- حدد اتجاه المجال المغناطيسي المؤثر الذي يخترق الملف.

2- حدد التغير في التدفق المغناطيسي في الملف زيادة أو نقصاناً.

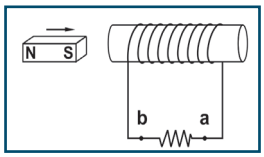
3- حدد اتجاه المجال المغناطيسي الحثي المتولد في الملف الذي يقاوم التغير في التدفق، كما يأتي:

- عندما يزداد التدفق: يكون اتجاه المجال المغناطيسي الحثي بعكس اتجاه المجال المؤثر.
- عندما يقل التدفق: يكون اتجاه المجال المغناطيسي الحثي بنفس اتجاه المجال المؤثر.

4- حدد اتجاه التيار الحثي المتولد في الملف باستخدام قاعدة اليد اليمنى.

مثال (2):

بيّن اتجاه التيار الحثي المتولد في الملف المبين في الشكل (8-4) عند تقريب المغناطيس منه.

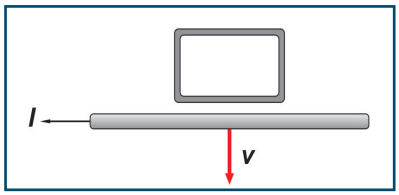


الشكل (8-4)

الحل:

إن تقريب المغناطيس من الملف سيؤدي إلى زيادة التدفق المغناطيسي الذي يخترق الملف، فيتولد في الملف تيار حثي ينتج مجالاً مغناطيسيا، يكون اتجاهه بحيث يعاكس (أو يقاوم) هذه الزيادة (الملف يحاول إبعاد المغناطيس)، وبالتالي سيكون الملف مغناطيساً قطبه الجنوبي قريب من المغناطيس الأصلي، بحيث يحدث تنافر بينه وبين المغناطيس الأصلي، وباستخدام قاعدة اليد اليمنى يكون اتجاه التيار الحثي في المقاومة من b إلى a.

سؤال: ما اتجاه التيار الحثي في الحلقة الفلزية المبينة في الشكل (8-5) عند:



الشكل (8- 5)

- تحريك سلك يسري فيه تيار كهربائي بعيداً عنها.
- زيادة تيار السلك.
- تحريك الحلقة يميناً بسرعة ثابتة.

أسئلة الفصل:

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة للفقرات الآتية:

1. أي الآتية لا تعدّ وحدة لقياس معامل الحث؟

أ- $\Omega.s$. ب- A/J ج- J/A^2 د- Tm^2/A

2. ما الزاوية بين المجال المغناطيسي ومستوى الملف عندما يصل التدفق المغناطيسي عبر الملف الى نصف قيمته العظمى؟

أ- 0 ب- $30°$ ج- $45°$ د- $60°$

3. ما المبدأ الذي استخدمه لنز لبناء قانونه في تحديد اتجاه التيار الحثي؟

أ- حفظ الشحنة ب- حفظ الطاقة ج- حفظ الزخم د- حفظ الكتلة

$$L_{in} = 4\pi \times 10^{-7} \times 1200^2 \times 0.25 \times 4 \times 10^{-4} = 1.81 \times 10^{-4}\ H$$

4. أي الآتية <u>لاتعد</u> وحدة لقياس التدفق المغناطيسي؟

أ- $V.s$. ب- $Wb.A$. ج- J/A^2 . د- $T.m^2$.

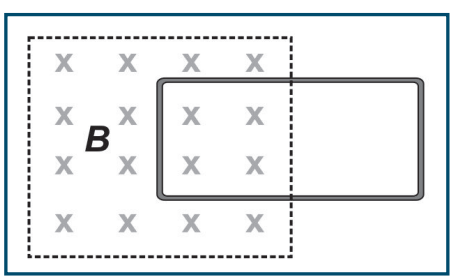
س2: وضح المقصود بكل من:

الحث الكهرومغناطيسي، وقاعدة لنز.

س3: في الشكل المجاور حدد اتجاه التيار الحثي في الحلقة:

1- لحظة سحبها لليمين بسرعة ثابته.

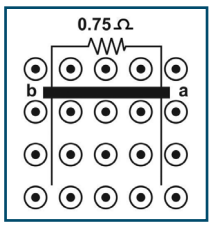
2- لحظة ازدياد شدة المجال المغناطيسي.



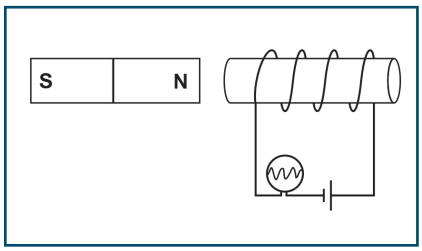
س4: مجال مغناطيسي شدته 0.2 T عمودي على مستوى ملف مكون من 500 لفة مساحة اللفة الواحدة $100\ cm^2$، احسب القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة:

1- عند إخراج الملف من المجال المغناطيسي خلال 0.1s

2- عندما ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي خلال 0.2s



س5: موصل كتلته 0.15 kg وطوله 1 m ينزلق تحت تأثير وزنه للأسفل بسرعة ثابتة 2 m/s في مستوى رأسي على سكة موصلة في مجال مغناطيسي منتظم عمودي على الصفحة للخارج، فما شدة المجال المغناطيسي، ومقدار واتجاه التيار الحثي؟



س8: ملف حلزوني، يتصل مع مصباح كهربائي وبطارية، وبالقرب منه مغناطيس قوي. ما التغيرات التي تطرأ على درجة سطوع المصباح في كل من الحالات الآتية:

أ- إذا قُرِّبَ المغناطيس نحو الملف.

ب- إذا تحرك الملف والمغناطيس يميناً بنفس السرعة.

أسئلة الوحدة

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة

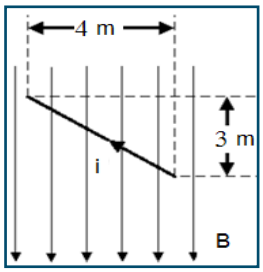
1. إذا تحرك جسيم مشحون عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم فإن جميع ما يلي صحيحاً ما عدا ؟

أ- يتأثر بقوة مغناطيسية. ب- تتغير مقدار سرعة الجسيم.

ج- يتغير زخمه الخطي. د- يتحرك بمسار دائري.

2. أي من الآتية يمثل وحدة شدة المجال المغناطيسي؟

أ- $C.m/s$ ب) $C.s/m$ ج- $kg/C.s$ د- $N/m.s$



3. يبين الشكل المجاور سلكاً يسري فيه تيار كهربائي شدته (10 A) موضوع في مجال مغناطيسي منتظم شدته (0.01 T). ما مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك بوحدة نيوتن؟

أ- (0.3) ب- (0.4)

ج- (0.5) د- (1)

4. يتحرك أيون يحمل شحنة موجبة مقدارها (3.2×10^{-19} C) في منطقة مجالين متعامدين: كهربائي وشدته (5×10^4 V/m)، ومغناطيسي شدته (0.8 T). إذا كان تسارع هذا الايون يساوي صفراً، فما مقدار سرعته بوحدة (m/s) ؟

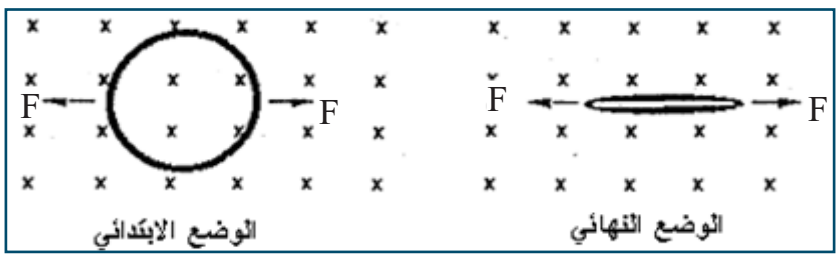
أ- صفر ب- 1.6×10^4 ج- 4×10^4 د- 6.3×10^4

5. تقاس القوة الدافعة الكهربائية الحثية بوحدة:

أ- $T.m^2/s$ ب- $V.m/s$ ج- T/s د- V/s

6. يبين الشكل المجاور حلقة معدنية مرنة نصف قطرها (15 cm)، ومقاومتها (4 Ω)، موضوعة في مستوى عمودي على خطوط مجال مغناطيسي منتظم شدته (0.25 T) مبتعد عن الناظر. إذا شدت الحلقة من منتصفيها بقوتين متساويتين ومتعاكستين حتى تلاشت مساحتها خلال زمن قدرة (0.3 s)، فما مقدار متوسط القوة الدافعة الحثية المتولدة فيها بوحدة الفولت؟

أ- 0.12 ب- 0.018 ج- 1.8 د- 0.059



7. سلك مستقيم موضوع في مجال مغناطيسي منتظم، حيث طوله عمودي على المجال كي يتولد قوة دافعة حثية في السلك يجب تحريكه في اتجاه:

أ- يوازي كلا من طوله واتجاه المجال المغناطيسي.

ب- يوازي طوله وعمودي على المجال المغناطيسي.

ج- عمودي على كل من طوله واتجاه المجال المغناطيسي.

د- عمودي على السلك وموازٍ للمجال.

8. أي من الآتية لا تعتمد عليه محاثة الملف الحلزوني؟

أ- طوله ب- عدد اللفات ج- شدة التيار د- مساحة مقطعه

9. ما وحدة قياس التدفق المغناطيسي

أ- Wb/m^2 ب- $T.m^2$ ج- $T.m$ د- T/m

10. ملف حلزوني يمر فيه تيار كهربائي، تم تقسيمه إلى جزأين بنسبة طولية 1:2، ما شدة المجال B_1: B_2 على محوريهما؟

أ) 1 :2 ب) 2 :1 ج)1:1 د)1: 4

11. التردد الزاوي ω لجسيم مشحون يتحرك في مجال مغناطيسي منتظم يعطى بالعلاقة:

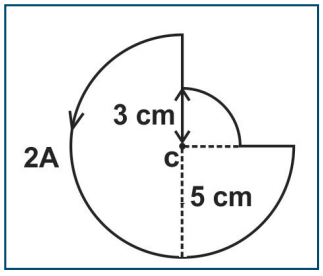
أ) $\frac{v}{R}$ ب) $\frac{qm}{R}$ ج) $\frac{R}{v}$ د) $\frac{mv}{q}$

س2: أ- علل ما يأتي:

1- لا تنحرف الجسيمات المشحونة عند دخولها منتقي السرعات بسرعة $v = \frac{E}{B}$

2- لا يستخدم قانون أمبير لاشتقاق المجال المغناطيسي في مركز ملف دائري.

ب- عرف كلا من: التسلا، وخط المجال المغناطيسي، والويبر، والأمبير.



س3: يمثل الشكل المجاور سلكاً يسري فيه تيار كهربائي شدته (2 A) في الاتجاه المبين. ما شدة المجال المغناطيسي عند النقطة (c) المبينة في الشكل؟

س4: يتسارع بروتون من السكون خلال فرق جهد مقداره (1000 V)، ثم يدخل مجالاً مغناطيسياً شدته 0.04 T بشكل عمودي على خطوط المجال المغناطيسي. إذا علمت أن كتلة البروتون (1.67×10^{-27} kg)، وشحنته 1.6×10^{-19} C أوجد:

أ- نصف قطر مسار البروتون. ب- الزمن الدوري له.

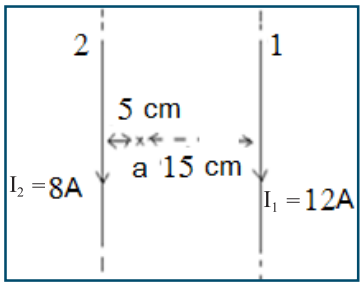
ج- تردد حركة البروتون. د- التردد الزاوي لحركة البروتون.

س5: يبين الشكل، سلكين لا نهائيين طويلين جدا المسافة بينهما (20 cm)، جد:

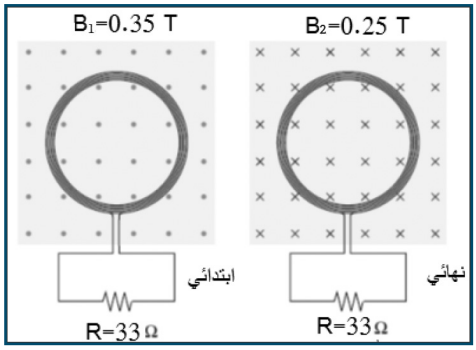
أ. القوة المتبادلة بينهما لوحدة الأطوال.

ب. شدة المجال المغناطيسي الكلي عند النقطة (a) التي تبعد (15 cm) عن السلك الأول، (5 cm) عن السلك الثاني.

ج. بعد النقطة التي تنعدم فيها شدة المجال المغناطيسي عن أحد السلكين.



س6: يبين الشكل المجاور، ملفاً دائرياً قطره (12 cm) وعدد لفاته (200) لفة، موصول بطرفي مقاومة مقدارها (33 Ω)، وموضوع في مستوى عمودي على مجال مغناطيسي منتظم شدته (0.35 T) يتجه نحو الناظر. إذا انعكس اتجاه المجال المغناطيسي، وتغيرت شدته إلى (0.25 T) خلال زمن (0.5 s)، فما مقدار شدة التيار الحثي المار في المقاومة R؟



س7: في الشكل المجاور، تسحب قوة خارجية موصلاً a b طوله (0.4 m) بسرعة ثابتة مقدارها (8 m/s) باتجاه محور السينات السالب، عمودياً على خطوط مجال مغناطيسي منتظم شدته (0.25 T) يتجه نحو الناظر. أجب عما يأتي:

أ- ما مقدار القوة الدافعة الحثية المتولدة فيه؟

ب- ما اتجاه التيار الحثي المتولد فيه؟

ج- ما مقدار قوة السحب اللازمة لتحريك الموصل بسرعة ثابتة؟