١٢

بسم الله الرحمن الرحيم

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم

الفيزياء

فريق التّأليف:

د.عدلي صالح (منسقاً)
أ.ياسر مصطفى
أ. أيمن الشروف
أ. سفيان صويلح
أ. مرسي سمارة
أ. محمد أبو ندى
أ. لبنى أبو عودة

أ. أحمد سياعرة

قررت وزارة التربية والتعليم في دولة فلسطين
تدريس هذا الكتاب في مدارسها بدءاً من العام الدراسي ٢٠١٨/ ٢٠١٩ م

الإشراف العام

رئيس لجنة المناهج	د. صبري صيدم
نائب رئيس لجنة المناهج	د. بصري صالح
رئيس مركز المناهج	أ. ثروت زيد

الدائرة الفنية

إشراف فني	كمال فحماوي
تصميم فني	ابتهال صوالحة

تحكيم علمي	د. مؤيد أبو صاع
تحرير لغوي	أ. أحمد الخطيب
قراءة	د. طارق بشارات، أ. يوسف عودة
رسومات	أ. سالم نعيم
متابعة المحافظات الجنوبية	د. سمية النخالة

الطبعة الثانية
٢٠٢٠ م/ ١٤٤١هـ

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

moehe.gov.ps | mohe.pna.ps | mohe.ps
.com/MinistryOfEducationWzartAltrbytWaltlym
فاكس +970-2-2983250 | هاتف +970-2-2983280

تـقـديـم

يتصف الإصلاح التربوي بأنه المدخل العقلاني العلمي النابع من ضرورات الحالة، المستند إلى واقعية النشأة، الأمر الذي انعكس على الرؤية الوطنية المطورة للنظام التعليمي الفلسطيني في محاكاة الخصوصية الفلسطينية والاحتياجات الاجتماعية، والعمل على إرساء قيم تعزز مفهوم المواطنة والمشاركة في بناء دولة القانون، من خلال عقد اجتماعي قائم على الحقوق والواجبات، يتفاعل المواطن معها، ويعي تراكيبها وأدواتها، ويسهم في صياغة برنامج إصلاح يحقق الآمال، ويلامس الأماني، ويرنو لتحقيق الغايات والأهداف.

ولما كانت المناهج أداة التربية في تطوير المشهد التربوي، بوصفها علماً له قواعده ومفاهيمه، فقد جاءت ضمن خطة متكاملة عالجت أركان العملية التعليمية التعلمية بجميع جوانبها، بما يسهم في تجاوز تحديات النوعية بكل اقتدار، والإعداد لجيل قادر على مواجهة متطلبات عصر المعرفة، دون التورط بإشكالية التشتت بين العولمة والبحث عن الأصالة والانتماء، والانتقال إلى المشاركة الفاعلة في عالم يكون العيش فيه أكثر إنسانية وعدالة، وينعم بالرفاهية في وطن نحمله ونعظمه.

ومن منطلق الحرص على تجاوز نمطية تلقّي المعرفة، وصولاً لما يجب أن يكون من إنتاجها، وباستحضار واعٍ لعديد المنطلقات التي تحكم رؤيتنا للطالب الذي نريد، وللبنية المعرفية والفكريّة المتوخّاة، جاء تطوير المناهج الفلسطينية وفق رؤية محكومة بإطار قوامه الوصول إلى مجتمع فلسطيني ممتلك للقيم، والعلم، والثقافة، والتكنولوجيا، وتلبية المتطلبات الكفيلة بجعل تحقيق هذه الرؤية حقيقة واقعة، وهو ما كان له ليكون لولا التناغم بين الأهداف والغايات والمنطلقات والمرجعيات، فقد تآلفت وتكاملت؛ ليكون النتاج تعبيراً عن توليفة تحقق المطلوب معرفياً وتربوياً وفكرياً.

ثمّة مرجعيات تؤطّر لهذا التطوير، بما يعزّز أخذ جزئية الكتب المقررّة من المنهاج دورها المأمول في التأسيس؛ لتوازن إبداعي خلّاق بين المطلوب معرفياً، وفكرياً، ووطنياً، وفي هذا الإطار جاءت المرجعيات التي تم الاستناد إليها، وفي طليعتها وثيقة الاستقلال والقانون الأساسي الفلسطيني، بالإضافة إلى وثيقة المنهاج الوطني الأول؛ لتوجّه الجهد، وتعكس ذاتها على مجمل المخرجات.

ومع إنجاز هذه المرحلة من الجهد، يغدو إزجاء الشكر للطواقم العاملة جميعها؛ من فرق التأليف والمراجعة، والتدقيق، والإشراف، والتصميم، وللجنة العليا أقل ما يمكن تقديمه، فقد تجاوزنا مرحلة الحديث عن التطوير، ونحن واثقون من تواصل هذه الحالة من العمل.

وزارة التربية والتعليم

مركز المناهج الفلسطينية

آب / ٢٠١٨م

مـقـدمـة

إن اهتمام وزارة التربية والتعليم الفلسطينية بتطوير مناهج التعليم؛ وتحديثها في إطار الخطة العامة للوزارة؛ وسعيها الحثيث لمواكبةِ التطورات العالمية على الصُّعُد كافة، باستلهام واضح للتطوّر العلمي والتكنولوجي المتسارع، وبما ينسجم وتطلعاتنا للطالب الذي نطمح؛ ليغدو فاعلا، وباحثا، ومجربّا، ومستكشفا، ومتأملا.

في هذا الإطار؛ يأتي كتاب الفيزياء للصف الثاني عشر في إطار مشروع تطوير مناهج العلوم الهادف إلى إحداث تطوير نوعيٍّ في تعليم العلوم، وتعلّم كل ما يرتبط بها من محاور واكتساب ما تتطلبه من مهارات، وبما يوفّر الضمانات الكفيلة بأن يكون للطالب الدور الرئيس المحوريُّ في عملية التعلم والتعليم .

أما عن الكتاب الذي بين أيدينا، فقد توزعّت مادته بحيث يشتمل على أربع وحدات موزعة على عشرة فصول في موضوعات الميكانيكا، والكهرباء المتحركة، والكهرو مغناطيسية، و الفيزياء الحديثة، وحرصنا على عرض المحتوى بأسلوب سلسٍ، وبتنظيمٍ تربوِّي فاعل؛ يعكس توجهات المنهج وفلسفته، ويتمثل في دورة التعلم، حيث تم إستخدام المعادلة والقوانين بالحروف اللاتينية ليخدم الطلبة الذين سيتابعون دراستهم الجامعية في المجالات العلمية.

اشتمل المحتوى على أنشطةٍ متنوعةِ المستوى تَتَّسِمُ بإمكانية تنفيذ الطلبة لها، مراعِيَةً في الوقت نفسهِ مبدأ الفروق الفردية بينهم، مع الاهتمام بتضمين المحتوى صورا ورسومات إيضاحيّة معبّرة تعكسُ طبيعة الوحدة أو الدرس، مع تأكيد الكتاب في وحداتهِ ودروسهِ المختلفةِ على مبدأ التقويم التكوينيّ، والتقويم الواقعيّ .

وتستلهم فلسفةُ الكتاب أهميّة اكتساب الطالب منهجية علمية في التفكير والعمل، وتنمية مهاراته العقلية والعملية، ومنها: قراءة الصور، والكتابة والقراءة العلميّة، والرسم، وعملُ النماذج والتجارب، علاوة على اهتمامها بربط المعرفة بواقع حياة الطالب من جهة، وبالرياضيات من جهة أخرى، لجعل التكامل حقيقة واقعة، وهدفا قابلا للتحقق.

فريق التأليف

المحتويات

الوحدة الأولى	الميكانيكا	2
الفصل الأول	الزخم (كمية التحرك) الخطي والدفع	4
الفصل الثاني	التصادمات	15
الفصل الثالث	الحركة الدورانية	33
الوحدة الثانية	الكهرباء المتحركة	55
الفصل الرابع	التيار الكهربائي والمقاومة	57
الفصل الخامس	دارات التيار المستمر	72
الوحدة الثالثة	الكهرومغناطيسية	94
الفصل السادس	المجال المغناطيسي	96
الفصل السابع	القوة المغناطيسية	110
الفصل الثامن	الحث الكهرو مغناطيسي	123
الوحدة الرابعة	الفيزياء الحديثة	144
الفصل التاسع	نظرية الكم	146
الفصل العاشر	بنية النواة والإشعاع النووي	166

الوحدة الأولى: الميكانيكا

ما دور الفيزياء في فهم العوامل المؤثرة في التصادمات وآثارها؟

الميكانيكا Mechanics

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذه الوحدة والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الميكانيكا في حل مسائل تتعلق بالزخم الخطي والتصادمات والحركة الدورانية من خلال تحقيق الآتي:

١. اكتساب مهارة إجراء التجارب العلمية وحل المشكلات الفيزيائية.

٢. تقدير جهود العلماء في اكتشاف قوانين الفيزياء التي تفسر الظواهر الطبيعية، وما ينبثق عنها من تطبيقات عملية.

٣. تصميم مشروع حول أسباب حوادث الطرق وسبل الحد منها.

الفصل الأول:

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

يهدف لاعب كرة القدم إلى التحكم بمسار الكرة لتستقر في شباك الفريق الآخر أو لتمريرها لزميله، وذلك من خلال ركلها على النحو الذي يحقق مأربه بإكسابها السرعة والاتجاه المناسبين، وهذا هو الحال في كثير من الألعاب الرياضية الأخرى التي تعتمد المناورة والتسديد، ومنها: كرة السلة، والكرة الطائرة، وغيرهما.

تتيح لنا المبادئ الأساسية للميكانيكا، المتمثلة بقوانين نيوتن، فهم حركة الأجسام؛ بل توقع المسارات التي تتخذها بدقة بالغة لدى معرفة القوى المؤثرة عليها. إن ركل الكرة بقوة، ولو لفترة وجيزة، يغير من زخمها ليمكنها من الحركة والانطلاق نحو الهدف، ثم لا تلبث أن تغير قوة الجاذبية من زخمها، ربما باتجاه مغاير.

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم كمية التحرك والدفع في حل مسائل تتعلق بها وبعض التطبيقات العملية عليه من خلال تحقيق الآتي:

- اشتقاق نظرية الدفع - الزخم رياضيا.
- تفسير بعض المشاهدات اليومية باستخدام نظرية الدفع–الزخم.
- حلّ مسائل حسابية على الدفع والزخم وحفظه.

1-1 الزخم الخطي (Linear Momentum)

أفكر؟

ما العوامل التي تؤثر في إيقاف كرة مندفعة تجاهي؟

نشاط (1-1): الزخم الخطي

المواد والأدوات: ٣ كرات مختلفة الكتلة، سطح مائل، وممحاة.

الخطوات:

١. ثبت السطح المائل بزاوية ميل مقدارها 30° وضع الممحاة في نهاية السطح المائل.
٢. قم بدحرجة الكرة الأقل كتلة من أعلى السطح ولاحظ المسافة التي تحركتها الممحاة.
٣. أعد الخطوات السابقة مع الكرتين الثانية والثالثة، ماذا تلاحظ؟
٤. أعد الخطوات من ١- ٣ بتغيير زاوية ميل السطح المائل مثلا 45° أو 60°، ماذا تلاحظ؟
ما سبب اختلاف المسافة التي تحركتها الممحاة في كل مرة؟

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 بإتجاه الشرق

للكرة:

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.

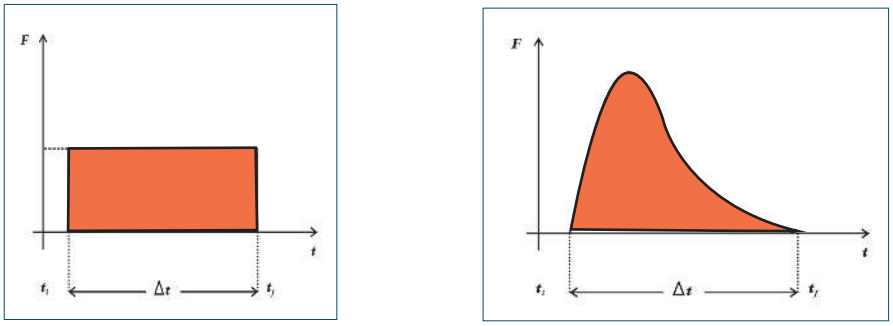
أناقش:

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:

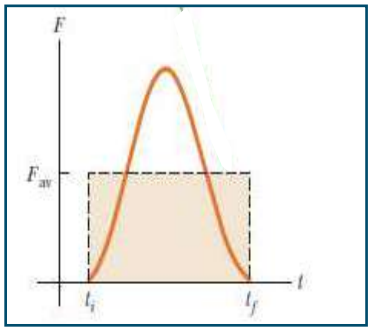
$$\mathbf{I} = \sum \mathbf{F}\, \Delta t \qquad (1\text{-}3)$$

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)

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



الشكل (1-2)

نشاط (1-2): الدفع

معتمداً على بيانات الشكل (1-3)، أكمل ما يأتي:

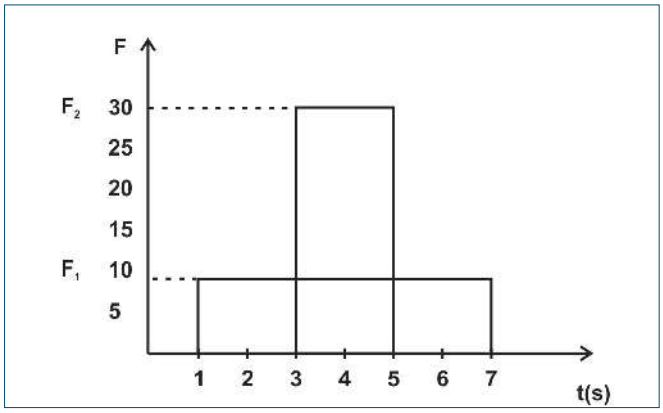
دفع القوة F_1 = ...

زمن تأثير القوة F_1 = ...

دفع القوة F_2 = ...

زمن تأثير القوة F_2 = ...

ماذا تستنتج؟ .....



الشكل (1-3)

سؤال: لماذا يلجأ سائق سيارة إلى الضغط على الفرامل لفترات زمنية متتالية حتى تتوقف السيارة عند الاقتراب من مفترق طرق أو إشارة ضوئية؟

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 $\Delta \mathbf{P}$:

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

وبقسمة طرفي المعادلة على الزمن ينتج:

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

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:

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

تعد المعادلة (1-4) 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 (1-5) 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 سمِّيت 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.

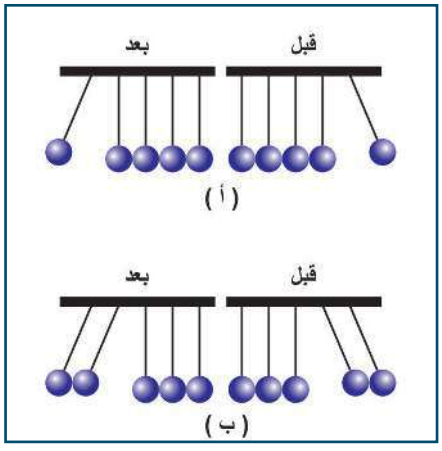
$$\sum \mathbf{P}_i = \sum \mathbf{P}_f \qquad (1\text{-}6)$$

نشاط (1-3): حفظ الزخم

المواد والأدوات: خمس كرات فلزية أو زجاجية متماثلة، وخيوط غير قابلة للتوتر، ومادة لاصقة، وحامل.

الخطوات:

- قم بتجهيز الكرات، كما في الشكل (1-4)، وانتظر حتى تسكن.
- اسحب كرة من الطرف الأيمن لمجموعة الكرات، ثم اتركها تتحرك على نحو حر، ماذا تلاحظ؟
- كرر الخطوة السابقة بإزاحة كرتين، ثم ثلاث، ماذا تلاحظ؟
- ما العلاقة بين زخم النظام (مجموعة الكرات) قبل التصادم مباشرة وبعده؟



الشكل (1-4)

من النشاط السابق، وجد أن اصطدام كرة واحدة من الطرف الأيمن بمجموعة الكرات الساكنة أدّى إلى اندفاع كرة واحدة من الطرف الأيسر، ارتفاعها تقريباً يساوي ارتفاع الكرة الأولى. الأمر الذي يعني اكتسابها السرعة نفسها (لماذا)؟ ويدلّ ذلك على أن الزخم للنظام قبل التصادم يساوي الزخم للنظام بعد التصادم.

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: أثرت قوة مقدارها 15 N في جسم، ودام تأثيرها 7s، احسب:

أ- الدفع الذي أثر في الجسم.

ب- الزمن اللازم لقوة مقدارها 1.5 N تؤثر في الجسم ويكون لها نفس دفع القوة الأولى.

س٥: 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

س٦: أثرت قوة لمدة 0.6 s على جسم، فازداد زخمه بمقدار 12 kg.m/s، احسب متوسط القوة المؤثرة.

س٧: سائق سيارة كتلته 80 kg يقود سيارة بسرعة 25 m/s شاهد حيوانا على الطريق، فضغط على الكوابح، ليتفادى الاصطدام بالحيوان، فاندفع إلى الأمام إلا أن حزام الأمان أوقفه عن الحركة خلال 0.5 s، أجب عما يأتي:

١. ما متوسط القوة التي أثر بها حزام الأمان في السائق؟

٢. ما متوسط القوة التي سيؤثر بها المقود في السائق عند ارتطامه به خلال 0.001 s في حالة عدم وضع حزام الأمان؟

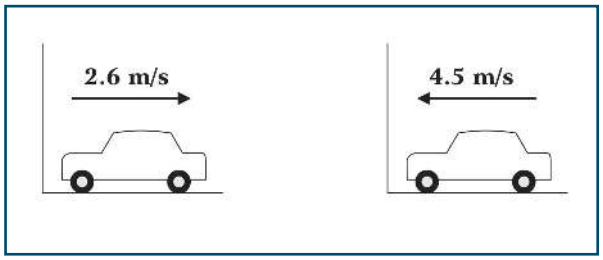
٣. ماذا تستنتج من خلال إجابتك عن الفرعين السابقين؟

س٨: تسير سيارة كتلتها 600 kg بجانب متسابق وبسرعة 9 km/h، إذا كانت كتلة المتسابق 60 kg

- ما مقدار زخم كل من السيارة والمتسابق؟

- هل يمكن أن يركض المتسابق بحيث يكون له زخم السيارة نفسه؟ علل إجابتك.

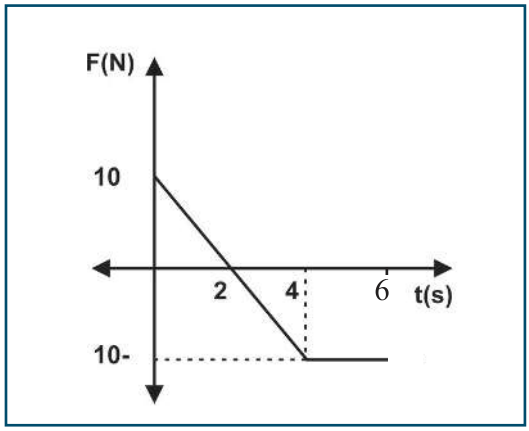
س٩: في الشكل تقترب سيارة كتلتها 1600 kg من جدار وترتد عنه في الإتجاه المعاكس، فما:



١. التغير في زخم السيارة.

٢. الطاقة الحركية المفقودة.

س١٠: جسم كتلته (2 kg) يتحرك بسرعة (5 m/s) على سطح أفقي أملس، أثرت عليه قوة متغيرة، مثلت بيانياً مع الزمن كما في الشكل المجاور، بالاعتماد على البيانات المثبتة عليه، جد:



١. دفع القوة خلال 4 s ، 6 s.

٢. أكبر سرعة يمكن أن يمتلكها الجسم في نفس إتجاه حركته.

٣. زمن توقف الجسم.

٤. متوسط القوة المؤثرة من بداية تأثيرها وحتى سكون الجسم.

التصادمات (Collisions)

يفقد مئات الآلاف من الناس أرواحهم سنوياً في العالم بسبب تصادم المركبات على الطرق، فكيف تفيدنا الفيزياء في الحد من حوادث الطرق، والآثار الناتجة عنها؟ وما الإرشادات التي يجب تزويد السائقين والمواطنين بها للسلامة على الطرق؟ وما المبادئ والمفاهيم الفيزيائية التي تمكننا من فهم تصادمات الأجسام والجسيمات بشكل عام؟

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته وأن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الميكانيكا في حل مسائل تتعلق بالزخم الخطي والتصادمات من خلال تحقيق الآتي:

- المقارنة بين الأنواع المختلفة من التصادمات من حيث حفظ الطاقة الحركية.
- إعطاء أمثلة حياتية متنوعة على أنواع التصادمات.
- بيان أهمية دراسة التصادمات في الحياة اليومية.
- تطبيق قوانين حفظ الزخم، وحفظ الطاقة الحركية في حل مسائل متنوعة.

1-2 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.

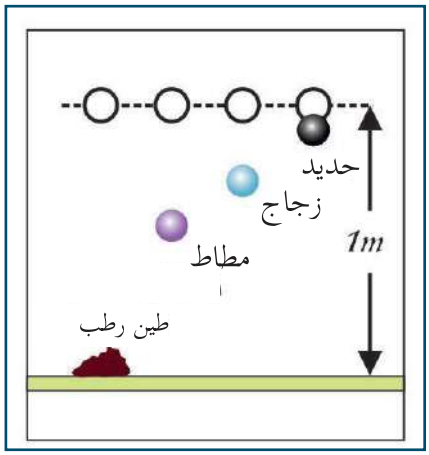
وتأتي أهمية دراسة التصادم بين الأجسام المختلفة في الحياة العملية كونه أساساً لكثير من الألعاب الرياضية والترفيهية، كما تفيد في تحليل حوادث السير، وتعطي معلومات عن طبيعة الأجسام المتصادمة ومرونتها. وأسهمت دراسة نتائج تصادم الجسيمات الأولية في بناء النماذج الذرية.

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:

نشاط (2- 1): أنواع التصادمات

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.

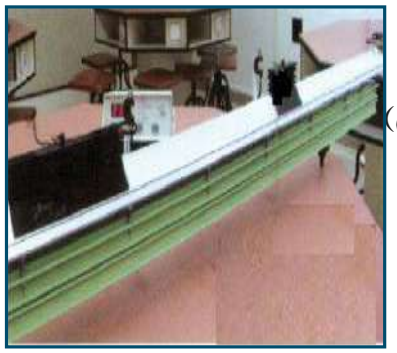
أناقش:

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.

نشاط (2-2) التصادم المرن Elastic Collision

المواد والأدوات: السكة الهوائية وملحقاتها، وعربات متماثلة خاصة بالسكة الهوائية، ومؤقت زمني.

الخطوات:



١. قم بتجهيز السكة الهوائية كما تعلمت في الصف الحادي عشر.

٢. ضع عربتين لهما نفس الكتلة على السكة مثبتا بهما نوابض (حلقات التصادم) ليسهل ارتدادهما عند التصادم.

٣. ضع إحدى العربتين خارج البوابة الضوئية والأخرى بين البوابتين الضوئيتين.

٤. قم بتشغيل مضخة الهواء لتقليل الاحتكاك.

٥. ادفع العربة الأولى(m_1) بحيث تمر من البوابة الأولى، وسجل زمن مرورها عبر البوابة الأولى(t_{1i}) ، ثم احسب سرعتها ولتكن (v_{1i})

٦. لاحظ ماذا يحدث عند اصطدام العربة الأولى بالعربة الثانية الساكنة التي كتلتها (m_2).

٧. سجل زمن مرور العربة الثانية عبر البوابة الضوئية (t_{2f}) ، ثم احسب سرعتها v_{2f}

٨. كرر الخطوات السابقة بتغيير كتلة العربة الأولى m_1 مرة وكتلة العربة الثانية m_2 مرة أخرى، وسجل النتائج

٩. كرر الخطوات السابقة بتغيير اتجاه حركة كل من العربتين، وسجل النتائج.

الحالة	$m_1(g)$	$m_2(g)$	$t_{1i}(s)$	$v_{1i}(cm/s)$	$t_{1f}(s)$	$v_{1f}(cm/s)$	$t_{2f}(s)$	$v_{2f}(cm/s)$
$m_1 = m_2$								
$m_1 > m_2$								
$m_1 < m_2$								

من النتائج التي حصلت عليها في الجدول السابق أكمل الجداول الآتية :

الحالة	p_{1i}	p_{1f}	p_{2f}	$\sum p_i$	$\sum p_f$	$\frac{\sum p_f}{\sum p_i}$
$m_1 = m_2$						
$m_1 > m_2$						
$m_1 < m_2$						

- من خلال حساب التغير في الزخم للعربتين قبل التصادم مباشرة، وكذلك بعد التصادم مباشرة. ماذا تلاحظ؟ كيف تفسر ذلك؟
- اكتب علاقة رياضية توضح حفظ الزخم للعربتين.
- احسب التغير في الطاقة الحركية للنظام ثم دون ماذا تلاحظ، بم تفسر ذلك؟

الحالة	K_{1i}	K_{1f}	K_{2i}	K_{2f}	$\sum K_i$	$\sum K_f$	$\frac{\sum K_f}{\sum K_i}$
$m_1 = m_2$							
$m_1 > m_2$							
$m_1 < m_2$							

- هل تختلف النتيجة التي حصلت عليها من النشاط إذا كانت العربتان قبل التصادم تتحركان باتجاهين متعاكسين؟
- هل تختلف النتيجة التي حصلت عليها من النشاط السابق إذا كانت كتلة العربات مختلفة؟

إن مقدار التغير في الزخم لكل من العربتين:

$$\Delta \mathbf{P}_1 = \mathbf{P}_{1f} - \mathbf{P}_{1i}$$

$$\Delta \mathbf{P}_1 = m_1 v_{1f} - m_1 v_{1i}$$

$$\Delta \mathbf{P}_2 = m_2 v_{2f} - m_2 v_{2i}$$

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.

إذن: وحسب 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:

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

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

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

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؛ وهذا يعني أن الطاقة الحركية محفوظة. $\sum K_i = \sum K_f$

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

وتستخدم المعادلات السابقة لحساب سرعة الكرتين بعد التصادم مباشرة. ويمكن استنتاج علاقة جديدة لحل الأسئلة من المعادلتين السابقتين بكتابة معادلة حفظ الزخم بالصورة:

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

وكتابة معادلة الطاقة الحركية بالصورة:

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

لكن، $(a^2 - b^2) = (a - b)(a + b)$

يمكن كتابة المعادلة (2-B) على الصورة:

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

وبقسمة طرفي المعادلة (2 -C) على (2 - A):

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

$$v_{1i} + v_{1f} = v_{2i} + v_{2f} \longrightarrow v_{1i} - v_{2i} = v_{2f} - v_{1f}$$

$$\longrightarrow v_{1i} - v_{2i} = -(v_{1f} - v_{2f})$$

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

حيث:

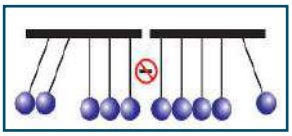
v_{12i}: تعني سرعة الجسم الأول بالنسبة للجسم الثاني قبل التصادم مباشرة.

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.

* إشتقاق العلاقة (2-3) غير مطلوب.

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.



أفكر حينما تتصادم كرة بمجموعة كرات ساكنة تماثلها في الكتلة. لماذا لا تندفع كرتان أو أكثر؟ لاحظ الشكل.

أناقش:

- ما العلاقة بين الدفع الذي يسببه كل من الجسمين في الآخر؟
- لماذا نعبر عن القوة المتبادلة بين الجسمين بمتوسط القوة بينهما أثناء التصادم؟

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:

$$\sum P_i = \sum P_f$$

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

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

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

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

وكذلك من المعادلة (2-3)

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

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

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

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

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

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.

نشاط (2-3) التصادم غير المرن Inelastic Collision

المواد والأدوات: كرات زجاجية، وكرات من الصلصال الرطب (الطين) وسطح أملس.

الخطوات:

١. قم بدحرجة مجموعة من الكرات الزجاجية على السطح الأملس تجاه بعضها بعضاً حتى تتصادم.

٢. قم بدحرجة كرات الطين الرطب تجاه بعضها بعضاً حتى تتصادم.

٣. لاحظ ماذا حدث عند تصادمها؟

٤. هل سمعت صوتا لتصادم كرات الزجاج؟

٥. ما التغير الذي طرأ على شكل كرات الصلصال الرطب؟

من النشاط السابق، الصوت الذي سمعته عند تصادم كرات الزجاج، والتشوه الذي حدث لكرات الصلصال الرطب يتطلب شغلاً لإنجازه ، ومصدر هذا الشغل هو الطاقة الحركية للنظام قبل التصادم. أي أن الطاقة المفقودة تتحول إلى أشكال أخرى للطاقة وهذا هو التصادم غير المرن. ومن أمثلته تصادم كرات البلياردو، ومعظم 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.

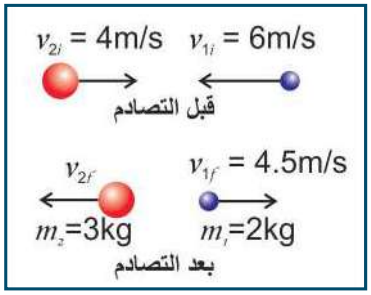
مجموع الطاقة الحركية للجسمين قبل التصادم $= (\frac{1}{2} m_1 v^2_{1i} + \frac{1}{2} m_2 v^2_{2i})$

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 .

نشاط (2-4) التصادم عديم المرونة Completely Inelastic Collision

المواد والأدوات: كرتان متساويتا الكتلة، وخيط، وقطعة معجون، ومسطرة مترية، وورقة، وشريط لاصق.

الخطوات:

١. مستخدما قطعتين من الخيط متساويتين في الطول ثبت كل كرة بقطعة من الخيط مستخدما الشريط اللاصق.
٢. ثبت ورقة بيضاء على السبورة مستخدما الشريط اللاصق.
٣. امسك طرفي الخيطين بشكل تتدلى فيه الكرتان أمام الورقة المثبتة على السبورة.
٤. ثبت قطعة المعجون على إحدى الكرتين من مكان يسمح للكرتين بالالتصاق تماماً.
٥. اسحب الكرة الثانية حتى ارتفاع معين عن مستوى الكرة الأولى.
٦. ضع علامة بالقلم تدل على موقع كل من الكرتين على الورقة.
٧. أطلق الكرة الثانية لتصطدم بالأولى وتلتصق بها، وعندما تتحركان معا ضع علامة باستخدام القلم على الورقة، لتدل على أقصى ارتفاع تصل إليه الكرتان معا.

٨. مستخدما المسطرة المترية قم بقياس الإزاحتين.

٩. كرر المحاولة على ارتفاعات مختلفة.

١٠. كرر المحاولة مستخدماً أنواعاً أخرى من الكرات المتساوية الكتلة.

رقم المحاولة	كتلة كل من الكرتين	ارتفاع الكرة الأولى	أقصى ارتفاع تصل إليه الكرتان معا	طاقة الوضع قبل الإفلات للأولى	طاقة الوضع عند أقصى ارتفاع بعد التصادم

- ماذا تلاحظ؟

وبتطبيق قانون حفظ الزخم للجسمين:

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

$$\sum P_i = \sum P_f$$

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

عندما تكون الكرتان متساويتين في الكتلة وإحداهما ساكنة (على اعتبار سرعة الكرة المتحركة v)، فإن

$$mv_1 + mv_2 = (m + m) v_f$$
$$mv = 2m v_f$$
$$v = 2 v_f$$
$$v_f = \frac{1}{2} v$$

أي أن المجموعة تتحرك بسرعة تساوي نصف سرعتها قبل التصادم.

ومن قوانين حفظ الطاقة الميكانيكية فإن الكرتان ستصلان بعد التصادم إلى ارتفاع h' ، ويساوي ربع الارتفاع الذي أفلتت منه الكرة الأولى قبل التصادم h.

أي ان: $h' = \frac{1}{4} h$

سؤال: أثبت العلاقة $h' = \frac{1}{4} h$ رياضياً.

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.

صمم نموذجاً للبندول القذفي يمكن استخدامه لقياس سرعة قذيفة من بندقية أطفال.

الأدوات اللازمة: المعجون، وخيط، ومسطرة، وورق، وخشب، وبندقية أطفال.

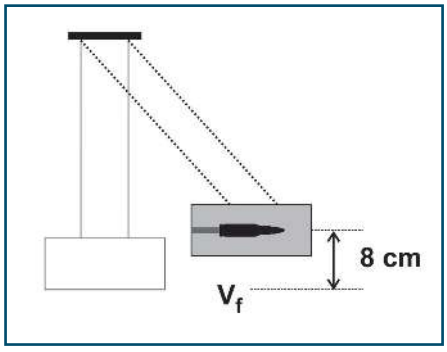
مثال (3):

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)

حيث: $m = m_1 + m_2$

1) $U = K$

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

$$v_f = 1.26\ m/s$$

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

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

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

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

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

سؤال: يتحرك جسم كتلته 16 kg في الاتجاه السيني الموجب بسرعة 3 m/s،ويتحرك جسم آخر كتلته 4 kg في الاتجاه السيني السالب بسرعة 5 m/s، يصطدم الجسمان بشكل مباشر، ويلتحمان، جد سرعتهما بعد الاصطدام مباشرة.

3-2 التصادم في بعدين Two –Dimensional Collision

إذا راقبت حركة كرات البلياردو أو حادث سير على مفترق طرق، لعلك لاحظت أن حركة الكرات أو السيارات قبل التصادم وكذلك بعده لم تكن على خط واحد، بل كانت تصنع زوايا بعضها مع بعض، أي التصادم في بعدين.

ما المقصود بالتصادم في بعدين؟

التصادم في بعدين: هو تصادم الأجسام بحيث لاتبقى فيه حركة الأجسام على نفس الخط قبل التصادم وبعده، وفيه يتحقق قانون حفظ الزخم في كلا الاتجاهين (السيني والصادي)، بينما حفظ الطاقة الحركية يعتمد على نوع التصادم إن كان مرناً، أو غير مرن، أو عديم المرونة.

$$\sum P_{ix} = \sum P_{fx}$$

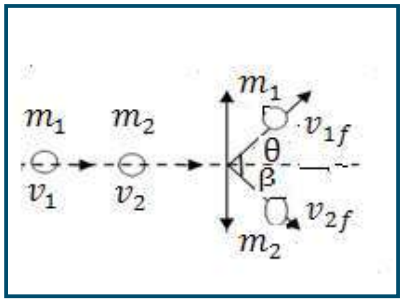
$$m_1 v_{1ix} + m_2 v_{2ix} = m_1 v_{1fx} + m_2 v_{2fx} \qquad (2\text{-}5)$$

$$m_1 v_{1ix} + m_2 v_{2ix} = m_1 v_{1f} \cos\theta + m_2 v_{2f} \cos\beta$$

$$\sum P_{yi} = \sum P_{yf}$$

$$m_1 v_{1iy} + m_2 v_{2iy} = m_1 v_{1fy} + m_2 v_{2fy} \qquad (2\text{-}6)$$

$$m_1 v_{1iy} + m_2 v_{2iy} = m_1 v_{1f} \sin\theta + m_2 v_{2f} \sin\beta$$



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

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

وفي حال التحم الجسمان بعد التصادم مباشرة:

$$\sum P_{xi} = \sum P_{xf}$$

$$m_1 v_{1ix} + m_2 v_{2ix} = (m_1 + m_2) v_{fx}$$

$$\sum P_{yi} = \sum P_{yf}$$

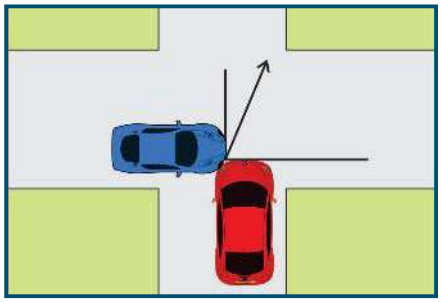
$$m_1 v_{1iy} + m_2 v_{2iy} = (m_1 + m_2) v_{fy}$$

حيث:

$$v_{fx} = v_f \cos\theta$$

$$v_{fy} = v_f \sin\theta$$

مثال (4):



اصطدمت سيارة تتحرك نحو الشرق بسرعة 13 m/s بسيارة أخرى مماثلة لها في الكتلة تتحرك تجاه الشمال عند مفترق طرق فالتحمت السيارتان معا، وتحرك الحطام تجاه زاوية 55° شمال الشرق. وعندما جاء شرطي المرور ادعى سائق السيارة الثانية المتجهة شمالاً أن سرعته لم تتجاوز 60 km/h، هل ما قاله هذا السائق يطابق ما توصل إليه الشرطي عند معاينة الحادث؟

الحل:

$$\sum P_{ix} = \sum P_{fx}$$

$$m_1 v_{1ix} + m_2 v_{2ix} = (m_1 + m_2) v_{fx}$$

$$m \times 13 \cos(0) + m v_2 \cos(90) = 2 m v_{fx}$$

$$13 + 0 = 2 v_f \cos(55)$$

$$v_f = 11.33 m/s$$

$$\sum P_{iy} = \sum P_{fy}$$

$$m_1 v_{1iy} + m_2 v_{2iy} = (m_1 + m_2) v_{fy}$$

$$m v_{1i} \sin(0) + m v_{2i} \sin(90) = 2 m v_{fy}$$

$$2 \times 11.33 \times \sin(55) = v_{2i}$$

$$2 v_{fy} = v_{2i} \sin(90)$$

$$v_{2i} = 18.56 m/s$$

سرعة السيارة الثانية قبل الاصطدام تساوي 66.8 km/h وهي لا تطابق ما ادعاه السائق.

سؤال: كرة كتلتها 3 kg تتحرك بسرعة 5 m/s نحو المحور السيني الموجب، فتصطدم بكرة أخرى كتلتها 2 kg متحركة بسرعة 3 m/s تجاه المحور الصادي السالب، إذا التحمتا معاً، جد مقدار واتجاه سرعتهما بعد الاصطدام مباشرة.

حزام الأمان:

قسم الطلبة إلى مجموعات، مجموعة تتوجه إلى دائرة السير للاستفسار عن:

- نتائج حوادث السير بسبب عدم وضع حزام الأمان.
- لماذا يتم تغيير حزام الأمان عند وقوع حادث؟
- هل لحزام الأمان طول محدد؟
- هل لحزام الأمان قوة شد محددة تتعلق بقوة الحادث؟
- ما نسبة الأشخاص الذين يضعون حزام الأمان؟

مجموعة أخرى تدعو مجموعة من سائقي المركبات وتقوم بتوعيتهم حول أهمية وضع حزام الأمان.

مجموعة تزور مركز شرطة المرور للتعرف حول كيفية تحليل حركة المركبات عند وقوع حوادث السير.

ومجموعة تباشر بحملات توعية في المدرسة حول أهمية وضع (ربط) حزام الأمان بعمل منشورات توعوية.

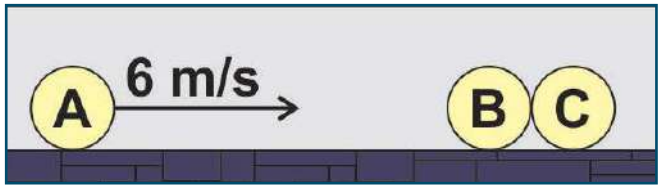
أسئلة الفصل

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:



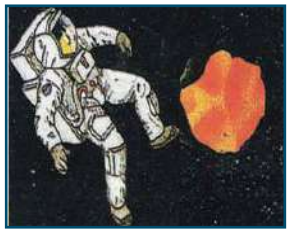
أ) تسكن الكرتان (A) و (B) وتتحرك الكرة (C) بسرعة 6 m/s.

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. أي العبارات الآتية ليست صحيحة لجميع أنواع التصادمات في نظام معزول؟

أ) يكون أحد الجسمين على الأقل متحركاً.　　ب) الطاقة الحركية للنظام محفوظة.

جـ) قد لا يتلامس الجسمان المتصادمان.　　د) الزخم للنظام محفوظ.

١٠. اصطدم جسم A كتلته m_1 متحرك بسرعة v_1 بكرة كتلتها m_2 وسرعتها v_2 حيث: ($m_2 > m_1$ ، $v_2 < v_1$) تصادماً عديم المرونة، إن التغير في الزخم:

أ) يكون أكبر للجسم A منه للكرة .　　ب) يكون أكبر للكرة منه للجسم A.

ج) متساوٍ في المقدار متعاكس في الاتجاه.　　د) متساو لكل منهما مقداراً فقط.

س٢: ماذا نعني بقولنا: إن جسمين اصطدما تصادماً مرناً؟

س٣: علل:

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

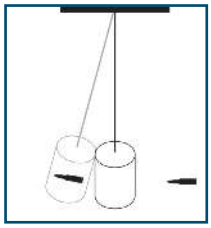
٢- إذا سقطت كرة من الطين تجاه أرضية صلبة فإنها لا ترتد بشكلٍ ملحوظ.

س٤: 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 .

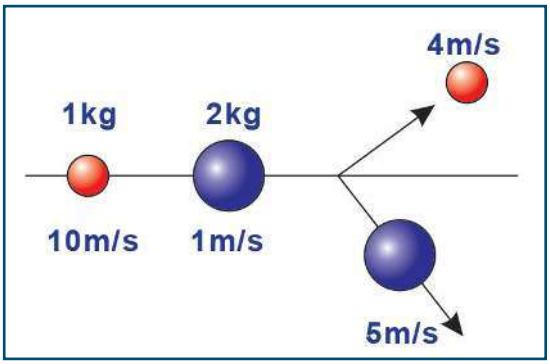
٢- سرعة الجسم الثاني بعد التصادم مباشرة .

س٥: 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 .



س٦: اصطدمت رصاصة كتلتها 20 g بقطعة خشبية معلقة كتلتها 980 g فاستقرت بها، وارتفعت المجموعة عن وضع الاتزان 10 cm، احسب سرعة الرصاصة قبل الاصطدام مباشرة .

س٧: جسمان لهما نفس الكتلة وبنفس مقدار السرعة يسيران بحيث يصنعان بينهما زاوية، اصطدما وكونا جسماً واحداً وتحركا بنصف مقدار سرعتهما الأصلية أوجد الزاوية بينهما قبل الاصطدام مباشرة.



س٨: كرة كتلتها 1 kgتتحرك بسرعة 10 m/s تصطدم بكرة أخرى كتلتها 2 kg، وتتحرك بسرعة 1 m/s في الاتجاه نفسه كما في الشكل، جد:

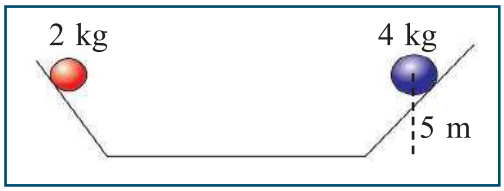
١- الزاوية بين اتجاه حركة الكرتين بعد التصادم مباشرة.

٢- نوع التصادم.

س٩: أطلقت رصاصة كتلتها 30 g بسرعة 500 m/s على قطعة خشبية ساكنة معلقة كبندول كتلته 0.75 kg فاخترقتها، وخرجت منها بسرعة 100 m/s، جدكلاً من:

١- سرعة القطعة الخشبية بعد الاصطدام مباشرة.

٢- مقدار الطاقة الحركية المفقودة.

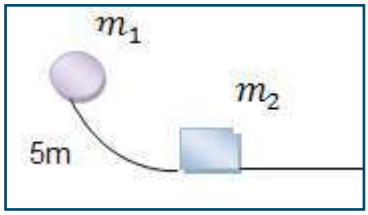


س١٠: في الشكل تنزلق الكتلتان 2 kg، 4 kg من السكون من ارتفاع 5 m على مستوى أملس إذا اصطدمتا تصادماً مرناً، جد:

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.



س١١: 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.

الحركة الدورانية Rotational Motion

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته وأن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الميكانيكا في حل مسائل تتعلق بالزخم الزاوي والحركة الدورانية من خلال تحقيق الآتي:

- المقارنة بين متغيرات الحركة الخطية ومتغيرات الحركة الدورانية والعلاقة بينها (الموضع، والسرعة،والتسارع، والقوة، وعزم القوة).
- تحديد المقصود بالقصور الدوراني لجسم جاسئ.
- المقارنة بين مفهومي كتلة القصور والقصور الدوراني.
- تطبيق القانون الثاني لنيوتن في الحركة الدورانية لحل مسائل عددية.
- تفسير بعض التطبيقات العملية على الحركة الدورانية.
- تحديد المقصود بالزخم الزاوي.
- تحديد المقصود بالطاقة الحركية الدورانية.

لمعرفة القوة التي تسبب الحركة الدائرية، قم بإجراء النشاط الآتي:

نشاط (3-1): القوة المركزية

المواد والأدوات: سيارة أطفال تعمل بالبطارية، وخيط طوله 40 cm ، ومسمار أو برغي، ولوح خشبي 1mx1m، وقلم جاف، وورق مقوى، ودبابيس.

الخطوات:

١. ثبت الورق المقوى على اللوح الخشبي بالدبابيس وثبت مسمار في منتصف اللوح.

٢. ثبت القلم الجاف على نهاية السيارة بحيث يلامس رأسه الورق.

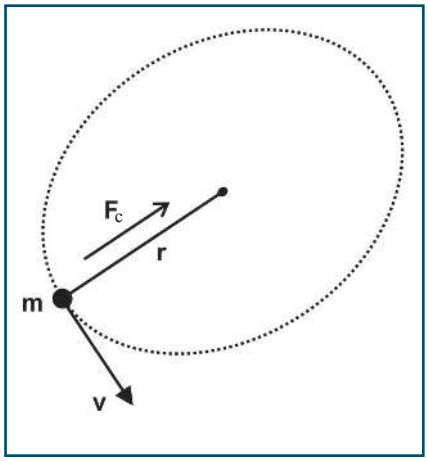
٣. شغل السيارة واتركها تتحرك، ماذا تلاحظ؟

٤. اربط السيارة من منتصفها بطرف الخيط واربط طرفه الآخر بالبرغي.

٥. شغل السيارة وراقب ما يحدث، كيف تتحرك السيارة؟

٦. حرر الخيط ودع السيارة تتحرك، ولاحظ ماذا يحدث.

٧. ما شكل المسار الذي رسمته السيارة في الخطوات 3 و 5 و 6؟



الشكل (3-1)

نفرض أن لدينا كرة كتلتها m مربوطة بخيط تدور في مسار دائري أفقي نصف قطره r بسرعة ثابتة v كما في الشكل (3-1)، وبما أن اتجاه السرعة يتغير باستمرار أثناء الحركة فإن السيارة تتسارع نحو المركز ومقدار تسارعها المركزي هو $a_c = \frac{v^2}{r}$

إن قصور السيارة الذاتي يحافظ على سيرها في خط مستقيم، إلا أن قوة الشد في الخيط تمانع هذا الميل فتخضعها للحركة في مسار دائري، ويمكن إيجاد مقدار القوة في الاتجاه المركزي بتطبيق القانون الثاني لنيوتن: $F_c = ma_c$

وبتعويض $v = \omega r$ في $F_c = m \frac{v^2}{r}$

$F_c = m r \omega^2$ ، حيث ω: السرعة الزاوية.

أفكر

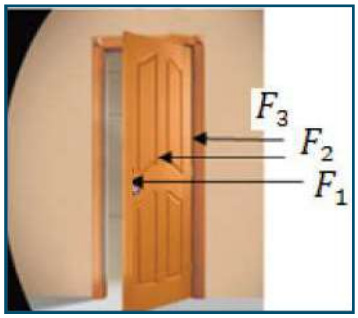
أذكر أمثلة على قوى مركزية في الطبيعة.

1-3 العزم (Torque)

نؤثر في بعض الأحيان بقوة على جسم فتسبب له دوراناً بدلا من تحريكه في خط مستقيم، ولمعرفة سبب دوران الجسم قم بإجراء النشاط الآتي:

نشاط (3-2): فتح الباب وغلقه

المواد والأدوات: باب.



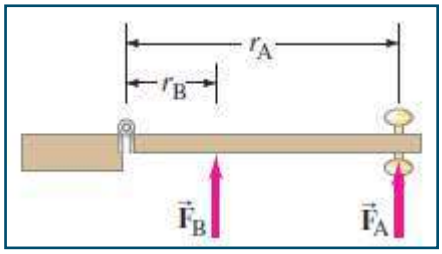
الخطوات:

قم بالتأثير على الباب لفتحه أو غلقه من أماكن مختلفة، كما هو مبين في الشكل، وبين مدى سهولة فتح أو غلق الباب باعتبار أن جميع القوى متساوية.

القوة	أثر القوة على فتح الباب أو غلقه
F_1	
F_2	
F_3	

أكتب بعض النتائج التي يمكن التوصل إليها من هذا النشاط.

تعرفت سابقاً أنه لجعل الجسم يبدأ بالدوران حول محور ما، فإننا نحتاج إلى قوة. ولكن، ما اتجاه هذه القوة، وأين تؤثر. خذ على سبيل المثال المنظر العلوي للباب المبين في الشكل المجاور. إذا أثرت بالقوة F_A في الباب كما في الشكل، فستجد أنه كلّما كان مقدار F_A كبيراً، فتح الباب أسرع.

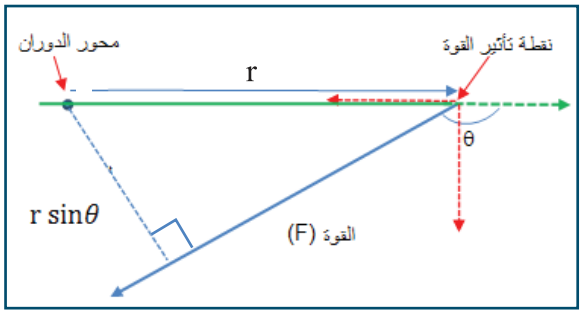


ولكن، لو أثرت بمقدار القوة نفسها عند نقطة أخرى، F_B مثلاً، فإن الباب لا يفتح بهذه السرعة. أي أن أثر القوة يصبح أقل. وبذلك نستنتج أن نقطة تأثير القوة بالإضافة إلى مقدارها واتجاهها تؤثر في سرعة فتح الباب. في الواقع، إذا أثرت هذه القوة في الباب فقط، فإن التسارع الزاوي للباب يتناسب طردياً مع كل من مقدار القوة المؤثرة، والمسافة العمودية من محور الدوران إلى الخط الذي تؤثر القوة في امتداده. هذه المسافة تسمى ذراع الرافعة أو ذراع القوة، ويرمز لها بالرمز r_A ، r_B للقوتين في الشكل.

إذن، فالتسارع الزاوي يتناسب مع حاصل ضرب مركبة القوة العامودية بذراع القوة. ويُدعى الناتج بعزم القوة حول المحور، أو عزم الدوران، ويُمثّل بالرمز (τ) . وهكذا: فالتسارع الزاوي (α) لجسم ما يتناسب طرديا مع عزم الدوران المحصل τ.

نشاط (3-3): عزم القوة (Torque)

نؤثر في بعض الأحيان بقوة على جسم فتسبب له دورانا بدلا من تحريكه في خط مستقيم، ولمعرفة متغيرات عزم القوة تأمل الشكل (3-2) ثم ناقش المفاهيم الآتية.



الشكل (3-2)

1- محور دوران الجسم.

2- نقطة تأثير القوة.

3- بُعد محور الدوران عن نقطة تأثير القوة.

4- الزاوية θ.

5- $r \sin\theta$

6- حدد على الرسم مركبتي القوة (F) ، $r \sin\theta$, $r \cos\theta$

يعطى العزم بالعلاقة: $\boldsymbol{\tau} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$

أو

$$\tau = r F \sin\theta \qquad (3\text{-}1)$$

7 – حدد العوامل التي يعتمد عليها عزم القوة (τ)

8- استنتج وحدة قياس عزم القوة.

9- هناك تشابه بين وحدة قياس عزم القوة ووحدة قياس الشغل كيف تفرق بينهما؟

10- هل عزم القوة كمية قياسية أم كمية متجهة؟

11- كيف نحدد اتجاه عزم القوة؟

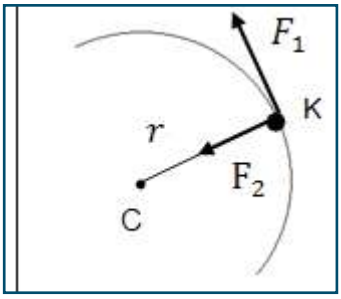
قاعدة اليد اليمنى

يحدد اتجاه عزم القوة بقاعدة اليد اليمنى حيث نجعل اتجاه الأصابع باتجاه متجه الموضع r وتدوير الأصابع باتجاه المتجه الثاني القوة بأصغر زاوية، فيشير الابهام إلى متجه τ .

أو عند إدارة برغي مع عقارب الساعة فإنه يتجه داخل الورقة تجاه عزم القوة وعند إدارة البرغي تجاه عكس عقارب الساعة فإنه يتجه خارج الورقة، فاتجاه العزم ليس اتجاه الدوران.

مثال (1):

ما عزم كل من F_1، F_2 المؤثرتين على جسم نقطي يدور لحظة مروره بالنقطة K حول محور دوران يمر في C في المستوى الأفقي كما في الشكل(3-3)؟



الشكل (3-3)

الحل:

القوة F_1 قوة مماسية

$$\tau_1 = r\ F_1 \sin 90^\circ$$
$$= r\ F_1$$

اتجاه العزم حسب قاعدة اليد اليمنى خارج الورقة

القوة F_2 قوة مركزية

$$\tau_2 = r\ F_2 \sin 180^\circ = 0$$

2-3 القصور الدوراني (Moment of Inertia)

حاول أن تدير عجلة دراجة هوائية حول محورها من السكون، استمر في إدارتها، ثم حاول إيقافها. لا بد أنك تشعر بصعوبة عند بدء إدارتها، كما أنك تشعر بصعوبة عند محاولة إيقافها. إن مقاومة العجلة لتغيير حالتها الدورانية يسمى القصور الدوراني.

القصور الدوراني: مقاومة الجسم لعزم القوة التي تحاول إحداث تغير في حالة حركة الجسم الدورانية، ويرمز له بالرمز I

نفرض أن لدينا جسماً نقطياً كتلته m يتحرك في مسار دائري طول نصف قطره **r**، فإن القصور الدوراني يعين من العلاقة الآتية:

$$I = m\ r^2 \qquad (3\text{-}2)$$

وهو مقدار موجب دائماً

أناقش:

- ما وحدات قياس القصور الدوراني؟
- هل القصور الدوراني كمية فيزيائية قياسية أم متجهة؟
- كيف يتناسب القصور الدوراني لجسم مع كل من كتلة الجسم ونصف قطر الدوران؟

العلاقة السابقة صحيحة لجسم أبعاده صغيرة بالنسبة لبعده عن محور الدوران.

أما لو كان لدينا منظومة مكونة من عدد كبير من الجسيمات، فإن القصور الدوراني يمثل المجموع، أي حاصل جمع الكتل للجسيمات جميعها مضروباً في مربع المسافة للجسيمات من محور الدوران ($\sum mr^2$) . وإذا أشرنا إلى الجسيمات برقم (1,2,3)، فإن:

$$I = \sum m_i r_i^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \ldots\ldots \qquad (3\text{-}3)$$

أما في حالة جسم صلب كبير فيحسب عن طريق التكامل، مثل: كرة، أسطوانة، سلك رفيع، .....

والجدول الآتي يبين القصور الدوراني لبعض الأجسام.

جدول (١): القصور الدوراني لبعض الأجسام للاطلاع والاستفادة منه في حل المسائل

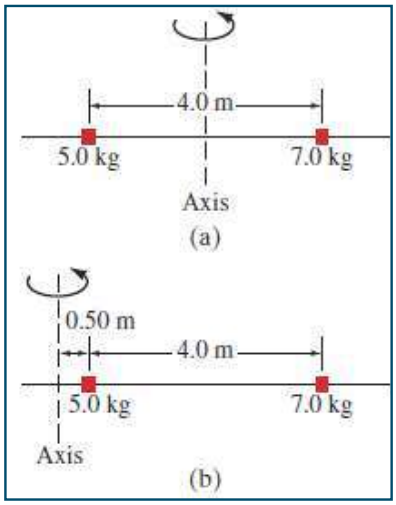
الجسم	محور الدوران	القصور الدوراني
سلك رفيع طوله L	عمودي على السلك عند المركز	$\frac{1}{12}ML^2$
	عمودي على السلك عند الطرف	$\frac{1}{3}ML^2$
طوق نصف قطره R	يمر من المركز في مستواه	$\frac{1}{2}MR^2$
	يمر من المركز عموديا على مستواه	MR^2
قرص رقيق مصمت نصف قطره R	يمر من المركز في مستواه	$\frac{1}{4}MR^2$
	يمر من المركز عموديا على مستواه	$\frac{1}{2}MR^2$
كرة صلبة مصمتة نصف قطرها R	أي قطر فيها	$\frac{2}{5}MR^2$
قشرة كروية رقيقة نصف قطرها R	أي قطر فيها	$\frac{2}{3}MR^2$
أسطوانة مصمتة قائمة نصف قطرها R وطولها L	محورها الطولي	$\frac{1}{2}MR^2$

مثال (2):

وضع جسمان نقطيان كتلتاهما (5 kg)، (7 kg) على بُعد (4 m) على ساق معدني خفيف (مهمل الوزن) كما في الشكل (3-4-a)، احسب القصور الدوراني للنظام:

١. عندما يدور حول محور في منتصف المسافة بينهما.

٢. عندما يدور حول محور على بُعد (0.5 m) إلى يسار الجسم الذي كتلته (5 kg) كما في الشكل (3-4-b).



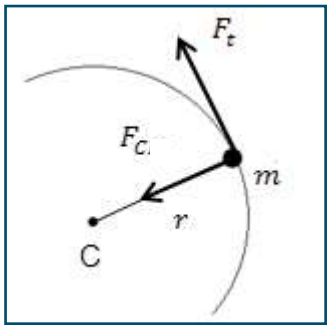
الحل:

1) $I = \sum m r^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2$
$= 5 \times (2)^2 + 7 \times (2)^2$
$= 20 + 28 = 48\ kg.m^2$

2) $I = \sum m r^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2$
$= 5 \times (0.5)^2 + 7 \times (4.5)^2$
$= 1.3 + 142 = 143\ kg.m^2$

مما سبق نستنتج أن القصور الدوراني لنظام معين يختلف باختلاف محاور الدوران.

القانون الثاني لنيوتن في الحركة الدورانية



الشكل (3- 5)

في الشكل (3- 5) جسم كتلته m يدور في مسار دائري نصف قطره r تحت تأثير قوة مماسية F_t، فإن قوة مركزية F_C سوف تتولد أيضا. وحيث إن القوة المماسية F_t تعطى حسب القانون الثاني لنيوتن بالعلاقة $\mathbf{F}_t = m\ \mathbf{a}_t$ حيث $\mathbf{a}_t$ تمثل التسارع المماسي وبذلك فإن العزم الناتج هو

$$\tau = F_t\ r = (\ m\ a_t)\ r$$

$$\tau = (mr\alpha)\ r = (mr^2)\ \alpha$$

ويرتبط التسارع الخطي بالتسارع الزاوي من العلاقة: $a_t = r\ \alpha$

$$\tau = I\ \alpha \qquad (3\text{-}4)$$

حيث: I تشير للقصور الدوراني.

وهذه العلاقة نتيجة للقانون الثاني لنيوتن في الحركة الدورانية الذي ينص على:

يتناسب التسارع الزاوي لجسم يتحرك دورانياً حول محور طرديا مع محصلة العزوم المؤثرة فيه، وعكسياً مع قصوره الدوراني بالنسبة للمحور نفسه.

ونلاحظ هنا التناظر الواضح بين الحركة الانتقالية والحركة الدورانية.

نشاط (3-4): المعنى الفيزيائي لعزم القصور

قارن في الجدول التالي بين الحركة الانتقالية والحركة الدورانية كما هو مطلوب في الجدول:

وجه المقارنة	الحركة الانتقالية	الحركة الدورانية
سبب التحريك		
دليل التحريك		
ممانعة التحريك		
التغير والثبات		

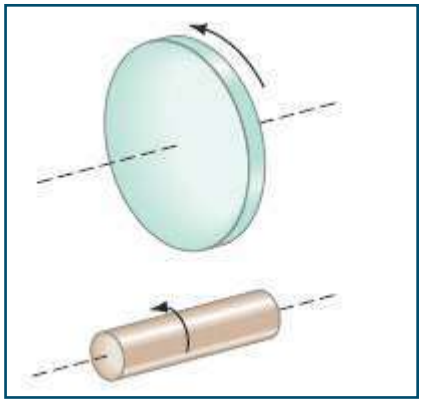
نستنتج من النشاط السابق أن الكتلة هي: ممانعة الجسم لأي تغيير في حالته الحركية الانتقالية، وأن القصور الدوراني: ممانعة الجسم لأي تغيير في حالته الحركية الدورانية، إلا أن هناك فرقاً أساسياً ففي حين تبقى كتلة الجسم ثابتة كيفما تحرك الجسم، إلا أن القصور الدوراني يعتمد على المحور الذي يدور حوله، فقد يدور الجسم حول محور ما تحت تأثير عزم ما بسهولة، إلا أنه لا يدور حول محور آخر تحت تأثير نفس العزم والسبب هو اختلاف القصور الدوراني للجسم بالنسبة لكل واحد منهما.

لنفترض جسماً جاسئاً يدور، مثل دولاب يدور حول محور في منتصفه، ويمكن اعتبار أنه يتكون من عدد كبير من الجسيمات على أبعاد متعددة من محور الدوران. وبذلك، يمكن تطبيق المعادلة (2-3) لكل جسيم، ومن ثم نجد مجموع عزوم الدوران الناتجة عن كل جسيم. أي:

$$\tau_{net} = (\sum mr^2)\,\alpha$$

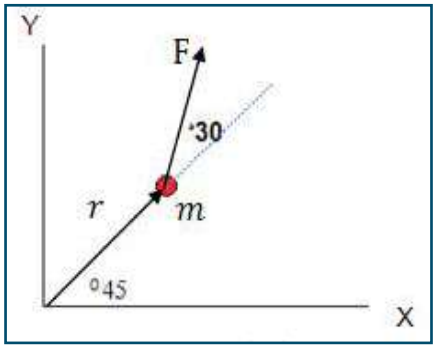
$$\tau_{net} = I\alpha$$

إنه ينطبق على دوران جسم جاسئ حول محور ثابت. نرى أن القصور الدوراني لجسم، يؤدي الدور نفسه في الحركة الدورانية الذي تؤديه الكتلة في الحركة الانتقالية. كما يعتمد القصور الدوراني ليس على الكتلة فحسب، بل على كيفية توزيع هذه الكتلة بالنسبة إلى المحور أيضاً. فمثلاً، أسطوانة ذات قطر كبير سيكون لها قصور أكبر من أخرى مساوية لها في الكتلة، ولكن بقطر أصغر (ومن ثم طول أكبر) كما هو مبين في الشكل المجاور. فالأولى ستكون أصعب في البدء في الدوران، وكذلك أصعب عند الوقوف. عندما تتوزع الكتلة بعيداً عن محور الدوران، فإن القصور الدوراني سيكون أكبر. وبالنسبة للحركة الدورانية، فإنه لا يمكن اعتبار الكتلة كما لو أنها مركزة في مركز الكتلة.



مثال (3):

يتحرك جسيم نقطي كتلته 2 kg في المستوى xy الأفقي بحيث يعطى موضعه



الشكل (3- 6)

والقوة المؤثرة عليه في لحظة معينة بالمتجهين الموضحين بالشكل (3- 6) حيث $r = 2\ m$ و $F = 4\ N$. احسب العزم المؤثر على الجسيم بالنسبة لمحور للعمودي على المستوى xy، وما تسارع الجسيم الزاوي؟

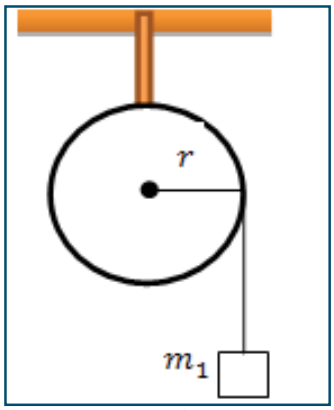
الحل: _____

باستخدام قاعدة اليد اليمنى يكون اتجاه العزم عمودي على مستوى XY خارج الورقة (أي بإتجاه محور Z).

$$\tau = r\,F\sin 30^\circ = 2 \times 4 \times .5 = 4\ N.m$$

$$\tau = I\,\alpha$$

$$4 = mr^2\,\alpha = 2 \times 2^2\,\alpha \rightarrow \alpha = 0.5\ rad/s^2$$



الشكل (3-7)

سؤال: يعلق جسم كتلته m_1 بنهاية خيط يمر حول بكرة قابلة للدوران كتلتها m_2 ونصف قطرها r، مثبتة بحيث يمكنها الدوران حول محور أفقي يمر من مركزها، كما في الشكل (3-7)، بإهمال الإحتكاك.

١) ما عزم القوة المؤثرة على البكرة؟

٢) إذا كان القصور الدوراني للبكرة يساوي $\frac{1}{2} m_2 r^2$، فما التسارع الزاوي للنظام؟

3-3 الطاقة الحركية في الحركة الدورانية Kinetic Energy in Rotation Motion

الطاقة الحركية الدورانية

تعلمت أن طاقة الحركة تعطى من العلاقة $K = \frac{1}{2} mv^2$

ولكن السرعة الخطية $v = r\,\omega$

وبالتعويض عن السرعة v ينتج أن $K = \frac{1}{2} mr^2 \omega^2$

لكن القصور الدوراني للجسم النقطي بالنسبة لمحور الدوران $I = m\,r^2$

بالتعويض عن I

$$K = \frac{1}{2} I \omega^2 \qquad (3\text{-}5)$$

مرة أخرى نلاحظ التناظر بين التحريك الانتقالي والتحريك الدوراني، فالطاقة الحركية هي نصف حاصل ضرب الممانعة في مربع السرعة في كلتا الحالتين.

مثال (4):

احسب الطاقة الحركية الدورانية لدولاب القصور الدوراني له $1.12\ kg.m^2$، يدور بمعدل (6) دورات في الثانية،

الحل:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 6 = 12\ \pi\ rad/s$$

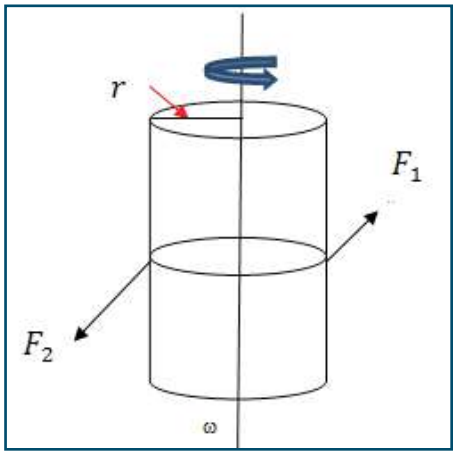
$$K = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} \times 1.12 \times (12\ \pi)^2 = 795\ J$$

مثال (5):

ما الطاقة الحركية الدورانية للأسطوانة الموضحة بالشكل (3-8) بعد ثانيتين من بدء حركتها من السكون تحت تأثير القوتين $F_1 = 5\ N$ و $F_2 = 7\ N$ وكان القصور الدوراني للأسطوانة حول محور الدوران $0.2\ kg.\ m^2$ ونصف قطر قاعدتها $0.3m$؟

الحل:

من الشكل نلاحظ أن عزم كل قوة يتجه للأعلى حسب قاعدة اليد اليمنى



الشكل (3-8)

$$\tau_{net} = r\ F_1 \sin 90^\circ + r\ F_2 \sin 90^\circ$$

$$\tau_{net} = 0.3 \times (5 \times 1 + 7 \times 1) = 3.6\ N.m$$

$$\tau = I\alpha$$

$$\alpha = \frac{\tau}{I} = \frac{3.6}{0.2} = 18\ rad/s^2$$

التسارع الزاوي ثابت

$$\omega_2 = \omega_1 + \alpha\ t$$

$$\omega_2 = 0 + 18 \times 2 = 36\ rad/s$$

$$K = \frac{1}{2} I\omega^2$$

$$K = \frac{1}{2} \times 0.2 \times 36^2 = 0.13\ kJ$$

مثال (6):

القصور الدوراني لحجر رحى يساوي ($1.6 \times 10^{-3}\ kg.m^2$). وعند التأثير بعزم دوران ثابت تصل سرعة دوران الحجر إلى 1200 دورة في الدقيقة خلال 15 s. وعلى فرض أن الحجر كان ساكناً قبل بدء الحركة، احسب كلاً من:

1) التسارع الزاوي.

2) عزم الدوران المؤثر.

3) الزاوية التي يدورها حجر الرحى خلال 15 s.

الحل:

1) $\omega_1 = 0$

$$\omega_2 = 2\pi f = 2\pi \frac{1200}{60} = 40\pi \text{ rad/s}$$

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{40\pi}{15} = 8.38 \text{ rad/s}^2$$

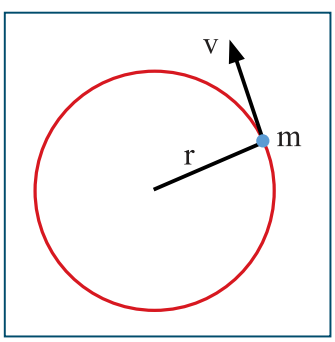
2) $\tau = I\alpha = 1.6 \times 10^{-3} \times 8.38 = 0.0134 \text{ N.m}$

3) $\theta = \omega_1 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 = 0 + \frac{1}{2} \times 8.38 \times 15^2 = 942.75 \text{ rad}$

4-3 الزخم الزاوي (Angular Momentum)

الزخم الزاوي لجسيم نقطي m يتحرك بسرعة v بالنسبة لمحور يبعد عن الجسيم مسافة محددة بالمتجه r (مقاساً من محور الدوران إلى الجسيم) يعطى بالعلاقة:

$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} \qquad (3\text{-}9)$$



حيث: $\mathbf{p} = m\,\mathbf{v}$ (الزخم الخطي للجسيم) والزخم الزاوي $\mathbf{L} = \mathbf{m}\ v\ r$

ولكن $v = r\ \omega$ ، وبالتعويض في : $\mathbf{L} = \mathbf{m}\ v\ r$

نحصل على: $L = m\ r^2\ \omega$

وبالتعويض عن $I = m\ r^2$ نحصل على علاقة الزخم الزاوي

$$\mathbf{L} = I\omega \qquad (3\text{-}10)$$

وهو عبارة عن كمية متجهة تعبر عن حاصل ضرب القصور الدوراني في السرعة الزاوية.

أناقش:

- ما وحدة قياس الزخم الزاوي في النظام الدولي؟
- كيف يمكن تعيين اتجاه الزخم الزاوي؟

ومن التماثل بين الحركتين الدورانية والانتقالية، فإن صيغة القانون الثاني لنيوتن بدلالة التغير في الزخم الخطي.

$$\mathbf{F}_{net} = \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t}$$

$$\tau_{net} = \frac{\Delta \mathbf{L}}{\Delta t} \qquad (3\text{-}11)$$

حيث:

τ_{net} : العزم الكلي الذي يعمل على تدوير الجسم.

$\Delta \mathbf{L}$:التغير في الزخم الزاوي خلال الفترة الزمنية.

أي أن محصلة العزوم المؤثرة في جسم يتحرك دورانياً حول محور تساوي المعدل الزمني للتغير في الزخم الزاوي.

وللزخم الزاوي دور مهم لأنه تحت شروط معينة، يكون كمية محفوظة. كما نستنتج من المعادلة (3-11) أنه إذا كان العزم الكلي يساوي صفراً، فإن:

$$\frac{\Delta \mathbf{L}}{\Delta t} = 0 \longrightarrow \Delta \mathbf{L} = 0 \longrightarrow \mathbf{L}_2 - \mathbf{L}_1 = 0$$

$$\mathbf{L}_2 = \mathbf{L}_1 \longrightarrow I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2 \qquad (3\text{-}12)$$

وينص قانون حفظ الزخم الزاوي على:

(الزخم الزاوي لجسم أو مجموعة من الأجسام ثابت ما لم تؤثر عليها عزوم دوران خارجية)

ومن شروط حفظ الزخم الزاوي:

١- أن تكون محصلة العزوم المؤثرة على الجسم أو المنظومة تساوي صفراً.

٢- أن يبقى محور الدوران ثابتا من دون تغيير.

أناقش:

- يقوم الغطاس عند القفز بثني جسمه، وضم صدره إلى ركبتيه، وعندما يقترب من الماء يقوم بفرد جسمه، لماذا؟
- اذكر تطبيقات أخرى.

سؤال: ما أهمية قانون حفظ الزخم الزاوي في الكون المحيط؟

مثال (7):

تدور الأرض حول محورها مرة واحدة في كل يوم، افترض أن الأرض قد انكمشت بطريقة ما بحيث أصبح قطرها مساويا لنصف قيمته الحالية، ما سرعة الأرض في الحالة الافتراضية؟ حيث $I = \frac{2}{5} mr^2$ من الجدول.

الحل:

بما أنه لا يؤثر أي عزم دوران خارجي على الأرض أثناء الانكماش، ومحور الدوران ثابت، فإن الزخم الزاوي يبقى ثابتاً أي:

$\mathbf{L}$ في الحالة الافتراضية = $\mathbf{L}$ في الحالة العادية.

بالرموز : $I_1 \ \omega_1 = I_2 \omega_2$

$$\frac{2}{5} m_1 r_1^2 \omega_1 = \frac{2}{5} m_2 r_2^2 \omega_2$$

باعتبار أن كثافة الأرض منتظمة وكتلتها لم تتغير.

لكن $r_1 = 2r_2$

$$\frac{2}{5} m_1 r_1^2 \omega_1 = \frac{2}{5} m_2 (\frac{1}{4}) r_1^2 \omega_2$$

أي 4 دورة / يوم (أي أن طول اليوم سوف يصبح 6 ساعات).

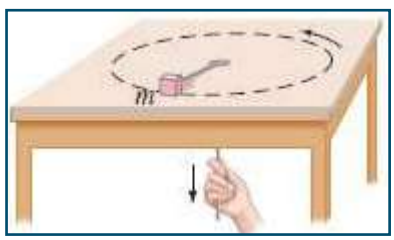
$$\omega_1 = \frac{1}{4} \omega_2$$

$$\omega_2 = 4\omega_1$$

سؤال: منشار على شكل قرص مستدير يستخدم لقطع الأحجار يدور بسرعة منتظمة حول محور يمر من مركزه وعمودي على وجهيه، فإذا كان ينجز 100 دورة في ثلث دقيقة وكان قصوره الدوراني $7\ kg.m^2$ فما مقدار كل من:أ- سرعته الزاوية

ب- الزخم الزاوي

مثال (8):



يدور جسم صغير كتلته m مثبتة في نهاية خيط في مسار دائري على سطح طاولة أفقي أملس، ويمر الطرف الآخر للخيط عبر ثقب في سطح الطاولة كما في الشكل المجاور. إذا كان الجسم يدور بسرعة 2.4 m/s في مسار دائري نصف قطره 0.8 m ، ثم سُحب الخيط ببطء عبر الثقب، بحيث يقل نصف القطر إلى 0.48 m، فكم تصبح سرعة الجسم v_2 ؟

الحل:

بما أن القوة تمر في مركز كتلة الكرة، فإن ذراع القوة يساوي صفراً، وبالتالي عزم الدوران المحصل يساوي صفراً. أي أن الزخم الزاوي محفوظ: $I_1\ \omega_1 = I_2\,\omega_2$

إن القصور الدوراني للكرة حول مركز الدوران هو $I = m\ r^2$ ، ومنها نجد:

$$mr_1^{\,2}\,\omega_1 = mr_2^{\,2}\,\omega_2 \longrightarrow \omega_2 = \omega_1 \frac{r_1^{\,2}}{r_2^{\,2}}$$

$$v_2 = r_2\,\omega_2 = r_2\ \frac{v_1}{r_1}\ \frac{r_1^{\,2}}{r_2^{\,2}} = v_1\ \frac{r_1}{r_2} = 2.4 \times \frac{0.8}{0.48} = 4\ \text{m/s}$$

مثال (9):

تدور متزلجة على الجليد حول نفسها بذراعين مفتوحتين بمعدل (1.9) دورة في الثانية، فيكون القصور الدوراني لها ($1.33\ \text{kg.m}^2$) وإذا ضمت ذراعيها بعد ذلك بهدف زيادة سرعة دورانها حول نفسها، فأصبح القصور الدوراني لها ($0.48\ \text{kg.m}^2$) ما السرعة الزاوية في هذه الحالة؟

الحل:

$I_1\ \omega_1 = I_2\ \omega_2\,,\ \omega_1 = 2\pi \times 1.9 = 12\ \text{rad/s}$

$1.33 \times 12 = 0.48 \times \omega_2 \longrightarrow \omega_2 \cong 33\ \text{rad/s}$

سؤال: يدور قمر صناعي كتلته ($3 \times 10^3\ \text{kg}$) حول الأرض بسرعة مماسية (خطية) مقدارها $8 \times 10^3\ \text{m/s}$ ، وفي مسار دائري نصف قطره ($7 \times 10^6\ \text{m}$). احسب كلاً من:

أ) السرعة الزاوية للقمر الصناعي.

ب) الزخم الزاوي للقمر الصناعي.

أسئلة الفصل

س١: اختر الإجابة الصحيحة فيما يلي:

١. كرتان متجانستان مصمتتان من مادتين مختلفتين لهما الكتلة نفسها، طول نصف قطر الأولى مثلي طول نصف قطر الثانية ($r_1 = 2r_2$)، والقصور الدوراني حول محور مار من مركز كل منهما (I_1 ، I_2) على الترتيب، فإن I_1 يساوي:

أ) $32\ I_2$ ب) $8\ I_2$ جـ) $4\ I_2$ د) $\frac{1}{4}\ I_2$

٢. ما القصور الدوراني لأربع كتل متماثلة قيمة الواحدة منها (3 kg) موضوعة على رؤوس مستطيل بعداه (40 cm – 30 cm) بالنسبة لمحور عمودي عليه يمر في مركزه بوحدة ($kg.m^2$)؟

أ) 0.75 ب) 7.5 جـ) 75 د) 300

٣. ساق مهملة الكتلة طولها (1 m) يوجد على كل طرف من أطرافها كتلة (5 kg) ما القصور الدوراني عند أحد أطرافها بوحدة ($kg.m^2$) ؟

أ) 10 ب) 7.5 جـ) 5 د) 2.5

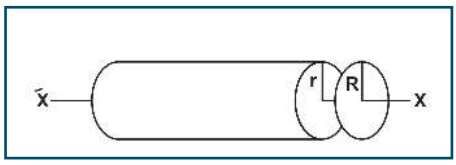
٤. الطاقة الحركية الدورانية لجسم يدور حول محور ثابت تتناسب:

أ) طردياً مع السرعة الزاوية للجسم (ω) ب) عكسياً مع مربع السرعة الزاوية (ω^2)

جـ) طردياً مع مربع السرعة الزاوية (ω^2) د) عكسياً مع القصور الدوراني للجسم I

٥. جسم يتحرك دورانياً بسرعة زاوية (ω_1) وطاقته الحركية (K_1) فإذا تضاعفت سرعته الزاوية، فما العلاقة التي تصف طاقته الحركية الدورانية (K_2)؟

أ) $K_2 = 4\ K_1$ ب) $K_2 = 3\ K_1$ جـ) $K_2 = 2\ K_1$ د) $K_2 = K_1$



٦. أسطوانة وقرص مصمتان لهما الكتلة نفسها (M) ويدوران بالسرعة الزاوية نفسها حول محور الأسطوانة الطولي ($\overline{XX}$) كما هو موضح في الشكل، فإذا كان لهما الطاقة الحركية الدورانية نفسها، فما النسبة بين نصفي قطريهما ($\frac{r}{R}$)

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

٧. مسطرة طولها (1 m) وكتلتها (0.3 kg) ما الفرق بين القصور الدوراني حول محور عمودي عند الطرف والقصور الدوراني حول محور عمودي عند المركز (استعن بالجدول (1))

أ) 0.125 ب) 0.1 جـ) 0.075 د) 0.025

٨. أي الكميات الآتية محفوظة دائما في أية عملية تلاصق لمنظومة أجسام تتحرك دورانيا حول محور ثابت؟

أ) الطاقة الحركية الدورانية ب) الزخم الزاوي جـ) السرعة الزاوية د) العزم الدوراني

س٢: عرف المفاهيم الآتية: العزم الدوراني، والقصور الدوراني، والزخم الزاوي، وحفظ الزخم الزاوي.

س٣: قارن بين الزخم الخطي والزخم الزاوي من حيث التعريف ونوع الكمية والعلاقة الرياضية ووحدة القياس والعوامل المؤثرة في كل منهما.

س٤: فسر ما يأتي:

أ – ازدياد السرعة الزاوية لراقص على الجليد عندما يضم يديه إلى صدره.

ب – يثبت دولاب معدني قطره كبير وكتلته كبيرة نسبيا على جذع بعض الآلات.

س٥: يدور قرص كتلته 50 kg ونصف قطره 0.5 m بسرعة زاوية 300 rev/min إذا توقفت خلال 10 s، جد كلاً من:

أ – طاقته الحركية الدورانية الابتدائية.

ب – العزم اللازم لإيقاف القرص

(إذا علمت أن القصور الدوراني للقرص يساوي $\frac{1}{2}$ mR^2).

س٦: يتناقص الزخم الزاوي لإطار قصوره الدوراني 0.12 $kg.m^2$ من 3 $kg.m^2/s$ إلى 2 $kg.m^2/s$ خلال 1.5 s، احسب كلاً من:

أ- متوسط العزم المؤثر على الإطار.

ب- عدد الدورات التي دارها خلال هذه المدة الزمنية.

س٧: تدور نقطة مادية كتلتها (100 g) على بعد ثابت من محور دوران، بسرعة زاوية ثابتة ($\frac{5}{\pi}$ rev/s) ، فإذا كان قصورها الدوراني حول ذلك المحور ($0.001\ kg.m^2$). احسب كلاً من:

أ - بعد النقطة المادية عن محور الدوران.

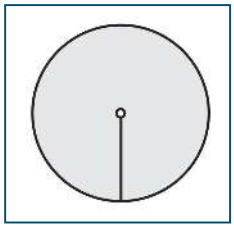
ب - السرعة الخطية للنقطة.

جـ - الزخم الخطي للنقطة أثناء دورانها.

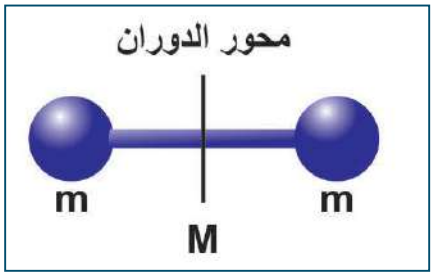
د - الزخم الزاوي لهذه النقطة حول محور الدوران.

هـ - الطاقة الحركية لهذه النقطة أثناء دورانها.

س٨: احسب القصور الدوراني لكل شكل من الأشكال الموضحة بالرسم:



أ – قرص متجانس كتلته (1 kg) ونصف قطره (20 cm) عندما يدور على محور يمر من المركز عمودياً على مستواه، علما بأن ($I = \frac{1}{2} mR^2$)



ب – ساق متجانسة كتلتها (M) وطولها (L) مثبت على كل طرف من أطرافها كتلة نقطية (m) كما هو موضح في الشكل عندما تدور حول محور عمودي يمر من المركز ($I = \frac{1}{12} ML^2$) ، حيث (m = M)

س٩: يدور إطار قصوره الدوراني ($I= 0.1\ kg.m^2$) بسرعة زاوية (900 rev/min) ، عندما يُوصَل بمحور دورانه إطار آخر ساكن قصوره الدوراني (2 I)، احسب:

أ – السرعة الزاوية للإطارين معاً.

ب – مقدار التغير في الطاقة الحركية للنظام.

س١٠: قرص دائري نصف قطره 10 cm، والقصور الدوراني له $0.02\ kg.m^2$ أثرت قوة مماسية مقدارها 15 N على محيطه. ما التسارع الزاوي للقرص؟ وما التسارع المماسي له؟

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

15. كرة مصمتة نصف قطرها (10 cm) وكتلتها (1 kg) والقصور الدوراني لها ($I= \frac{2}{5} mr^2$)، فكم تساوي سرعتها الزاوية بوحدة (rad/s) عندما يبلغ زخمها الزاوي ($L = 5 \times 10^{-2}$ kg.m^2.rad/s) حول محور مار من مركزها؟

أ) 25 ب) 12.5 جـ) 2 د) 2×10^{-2}

16. يدور إطار قصوره الدوراني (I) بسرعة زاوية (ω_1) ، عندما يوصل بمحور دورانه إطار آخر ساكن قصوره الدوراني (3 I). ما العلاقة التي تصف السرعة الزاوية للنظام (ω_2)؟

أ) $\omega_1 = \omega_2$ ب) $\omega_1 = 2\ \omega_2$ جـ) $\omega_1 = 3\ \omega_2$ د) $\omega_1 = 4\ \omega_2$

17. ما القصور الدوراني بوحدة ($kg.m^2$) لأربع كتل متماثلة قيمة الواحدة منها (5 kg) موضوعة على رؤوس مربع طول ضلعه (0.5 m) بالنسبة لمحور عمودي عليه في مركزه؟

أ) 0.125 ب) 1.25 جـ) 2.5 د) 5

18. مسطرة طولها (50 cm) وكتلتها (0.2 kg) ما الزخم الزاوي للمسطرة عندما تدور بسرعة زاوية ($\omega = 3$ rad/s) حول محور عمودي عند الطرف (استعن بالجدول 1)؟

أ) 0.25 ب) 0.05 جـ) 0.75 د) 1

19. جسمان A، B لهما القصور الدوراني نفسه، إذا كان زخم A الزاوي مثلي زخم B الزاوي فإن:

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

20. جسمان (A , B) فإذا كان ($I_B = 2\ I_A$) وكان ($K_B = 8\ K_A$) فكم يساوي الزخم الزاوي (L_B)؟ ؟

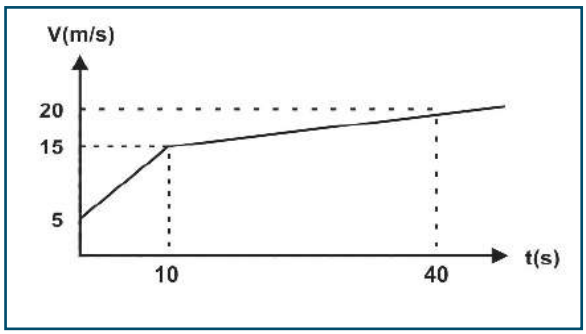
أ) $2\ L_A$ ب) $4\ L_A$ جـ) $8\ L_A$ د) $16\ L_A$

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: جسم كتلته 5 kg يتحرك في خط مستقيم أفقي بسرعة 20 m/s على سطح أملس، فإذا اصطدم به عمودياً جسم آخر كتلته 10 kg بسرعة 30 m/s، والتصق الجسمان وسارا معا بالسرعة نفسها. فما هي سرعة الجسمين الملتصقين بعد التصادم مباشرة.



س4: 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

س5: تطلق رصاصة كتلتها 8 g في اتجاه أفقي وتنغرز في جسم خشبي كتلته 9 kg معلق رأسياً في خيط طوله 50 cm فتحرك الجسمان معاً بسرعة 0.4 m/s ، ما السرعة الابتدائية للرصاصة.

س6: جسم كتلته 2 kg يتحرك بسرعة 4m/s باتجاه المحور السيني الموجب تصادم تصادما مرناً مع جسم آخر ساكن، وبعد التصادم تحرك الجسم الثاني بسرعة 5m/s بالاتجاه السينى الموجب. احسب كلاً من:

1- كتلة الجسم الثاني

2- سرعة الجسم الأول بعد التصادم مباشرة

س7: أرسى الصيادان محمد وأحمد زورق الصيد فإذا تحرك محمد الذي كتلته (80 kg) إلى الأمام بسرعة (4 m/s) عند مغادرة الزورق، فما مقدار واتجاه سرعة الزورق واحمد إذا كانت كتلتاهما معا تساوي (150 kg)؟

س8: إذا تحرك جزيء نيتروجين كتلته (4.7×10^{-26} kg) بسرعة (550 m/s) واصطدم بجدار الإناء الذي يحويه مرتداً إلى الوراء بمقدار السرعة نفسها احسب مايأتي:

أ – ما الدفع الذي أثر به الجزيء في الجدار؟

ب – إذا حدث (1.5×10^{23}) تصادم كل ثانية، فما متوسط القوة المؤثرة في الجدار؟

س9: تتسارع سيارة سباق كتلتها (845 kg) من السكون إلى (72 km/h) خلال (0.9 s).

أ – ما التغير في زخم السيارة؟

ب – ما متوسط القوة المؤثرة في السيارة؟

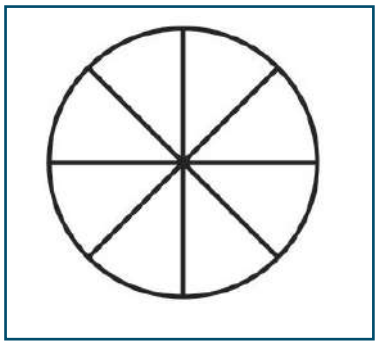
س10: يركب أحمد الذي كتلته (42 kg) لوح تزلج كتلته (2 kg)، ويتحركان بسرعة (1.2 m/s) فإذا قفز أحمد عن اللوح، وتوقف لوح التزلج تماما في مكانه، فما مقدار سرعة قفزه؟ وما اتجاهه؟

س11: يقف متزلجان أحدهما مقابل الآخر، ويتدافعان بالأيدي، فإذا كانت كتلة الأول (90 kg) وكتلة الثاني (60 kg)، أجب عن الأسئلة الآتية:

أ – جد النسبة بين سرعتي المتزلجين في اللحظة التي أفلتا فيها أيديهما.

ب – أي المتزلجين سرعته أكبر؟

ج – أي المتزلجين دفع بقوة أكبر؟



س12: عجلة الدراجة الهوائية الموضحة في الشكل المجاور، طول قطرها (60 cm) وكتلة محيطها (1 kg) وكتلة كل قطر فيها (0.4 kg) وتدور بسرعة زاوية ($\omega = 1$ rev/s). احسب كلاً من:

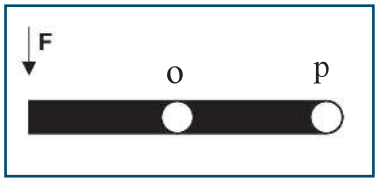
- القصور الدوراني.
- الزخم الزاوي.
- طاقة الحركة الدورانية لها.

إذا كانت تدور حول محور عمودي عليه عند مركزها.

س13: يقف رجل على منصة تدور بسرعة زاوية (1 rev/s) حاملاً في يديه الممدودتين كتلتين متماثلتين، ثم يضم يديه لصدره ليتناقص قصوره الدوراني من ($6\ kg.m^2$) إلى ($2\ kg.m^2$)، احسب ما يأتي:

أ – سرعته الزاوية بعد ضم يديه لصدره.

ب – التغير في طاقته الحركية.



س14: مسطرة طولها (1 m) وكتلتها (0.3 kg) ، تؤثر عليها قوة عمودية (5 N) عند أحد أطرافها، فإذا دارت في مستوى أفقي حول محور عمودي يمر من مركزها(O) مرة وحول محور عمودي يمر بطرفها الآخر(p) مرة ثانية، كما هو موضح في الشكل المجاور. احسب التسارع الزاوي عند كل محور من محاور الدوران.

س15: يدور قرصان مختلفان في نصف القطر (r_1, r_2) منفصلان حول محور واحد بسرعتين زاويتين (ω_1, ω_2) وقصورهما الدوراني (I_1, I_2) على الترتيب، يُدفعان بقوتين (F_1, F_2) حتى يلتصقا فيصبحا جسما واحدا على محور الدوران نفسه. ما السرعة الزاوية التي سيدور بها القرصان معا؟

س16: اقرأ كل عبارة من الآتية ثم أضع إشارة (✓) في المكان المناسب:

الرقم	العبارة	دائماً	أحياناً	نادراً
١	أستطيع تعريف المفاهيم الجديدة التي تعلمتها في هذه الوحدة.			
٢	أستطيع حل المسائل بسهولة في هذه الوحدة.			
٣	أستطيع تفسير الظواهر والتطبيقات في هذه الوحدة.			

الوحدة الثانية: الكهرباء المتحركة

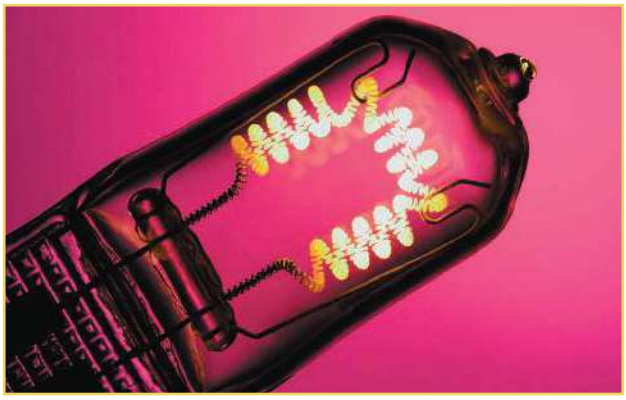
ما علاقة الشمس بأشكال الطاقة المختلفة؟

الكهرباء المتحركة Electricity

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذه الوحدة والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الكهرباء المتحركة و حل مسائل تتعلق بمفهوم التيار الكهربائي والجهد والدارات البسيطة من خلال تحقيق الآتي:

1. اكتساب مهارة التحليل الفيزيائي للمسائل التي لها علاقة بالكهرباء.
2. توظيف معرفتهم بالقوانين والعلاقات الرياضية التي تربط بين مفاهيم الكهرباء في حياتهم اليومية.
3. تفسير العديد من الظواهر الطبيعية المتعلقة بالكهرباء.
4. تصميم مشروع لسيارة تعمل بالكهرباء باستخدام الخلايا الشمسية.

التيار الكهربائي والمقاومة (Electric Current and Resistance)



يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفهوم التيار والجهد الكهربائي والقدرة الكهربائية من خلال تحقيق الآتي:

- التعبير رياضياً عن شدة التيار الكهربائي، وكثافة التيار بدلالة السرعة الانسياقية.
- التمييز بين المقاومة الخطية والمقاومة اللاخطية من المنحنى البياني فرق الجهد – التيار.
- حساب المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة بين نقطتين في دارة كهربائية.
- التطبيق على صيغ قانون أوم والربط بينها.
- حساب الطاقة الحرارية الناشئة عن مرور تيار كهربائي في مقاومة.
- حل مسائل حسابية على القوانين والعلاقات الرياضية.

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.

لتتعرف إلى مفهوم التيار الكهربائي، نفذ النشاط التالي:

نشاط (1-4): إضاءة مصباح كهربائي

المواد والأدوات: بطارية 1.5 فولت، ومصباح صغير، وأسلاك توصيل.

خطوات العمل:

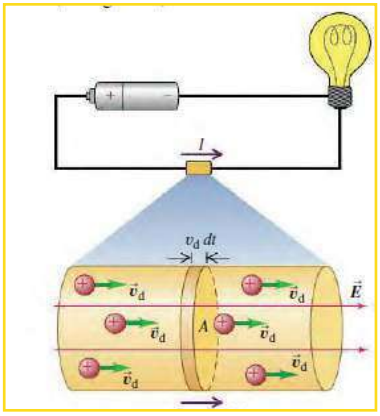
- حاول توصيل المصباح بالبطارية حتى يضيء.
- ارسم على دفترك طريقتي توصيل يضيء فيها المصباح.
- ارسم على دفترك ثلاث حالات لا يضيء فيها المصباح.

أناقش:

- كيف تستدل على وجود تيار كهربائي؟
- ماذا يلزم لإضاءة المصباح؟
- ما الذي يسبب تدفق الكهرباء في المصباح؟

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.

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



الشكل (4-1)

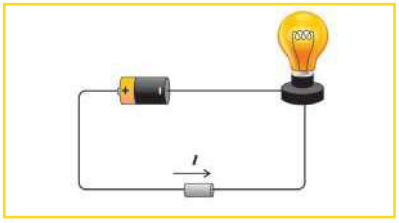
كمية الشحنة الكلية(ΔQ) التي تعبر المقطع في فترة زمنية (Δt)، فإن شدة التيار الكهربائي(I):

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

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)؟

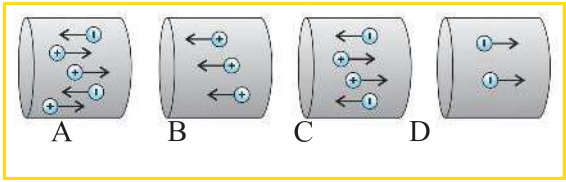
الحل: _____

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

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

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

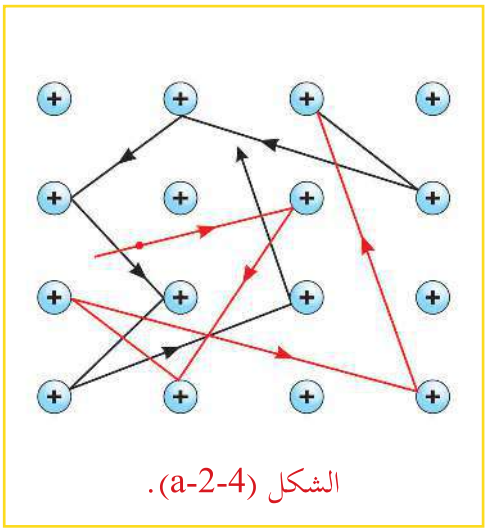
سؤال: يبين الشكل المجاور شحنات كهربائية متساوية المقدار وحرة الحركة تتحرك في مجال كهربائي منتظم:



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

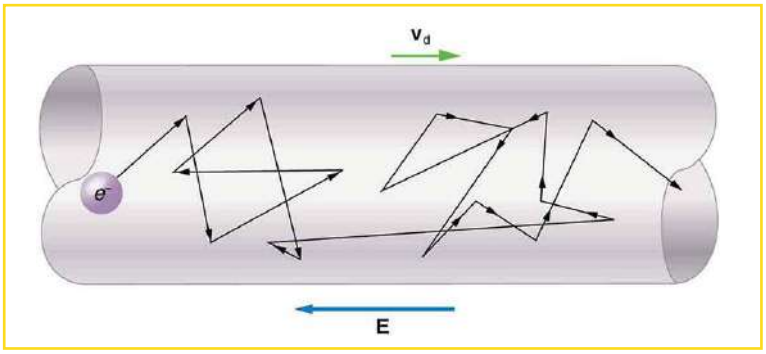
السرعة الانسياقية (Drift Velocity):

لتتعرف إلى مفهوم السرعة الانسياقية، لنفترض وجود موصل فلزي معزولٍ عن المجالات الكهربائية، وتحتوي الموصلات الفلزية على الإلكترونات الحرة، وتتحرك الإلكترونات الحرة كالسائل بين ذرات المادة الفلزية، وحركتها في الموصل تشبة حركة جزيئات الغاز المحصور، تتحرك حركة عشوائية في جميع الاتجاهات بسرعة ($1\times10^6 m/s$)، دون أن يحصل لها إزاحة محددة باتجاه ما، كما في الشكل (a-2-4). ويمكن تحريك الإلكترونات في الموصل عندما تؤثر فيها قوة من مجال كهربائي، كما هو الحال، عندما تدفع بقوة غازا (أو سائلا) في أنبوب، فتتحرك جزيئات الغاز (أو السائل) في الأنبوب بسرعة انسياقية، تتغلب فيها على الحركة العشوائية لجزيئات الغاز بفعل درجة حرارة الغاز، فعند وصل طرفي الموصل بمصدر فرق جهد (مثل البطارية)، ينشأ مجال كهربائي داخل السلك وبموازاته، وهذا بدوره يؤثر بقوة في الإلكترونات الحرة في الموصل باتجاه معاكس لاتجاه المجال، فيتولد عن حركة الإلكترونات بعكس اتجاه المجال تيار كهربائي مستمر يسمى بالتيار الإلكتروني.



الشكل (a-2-4).

في الواقع، لا تتحرك الإلكترونات في اتجاه واحد (خط مستقيم) في الموصل، وانما تتعرض لتصادمات عديدة ومتكررة بذرات مادة الموصل، تكون نتيجتها حركة متعرجة للإلكترونات الحرة بمتوسط سرعة انسياقية صغيرة باتجاه طول الموصل، كما في الشكل (b-2-4). وتعرف السرعة الانسياقية:

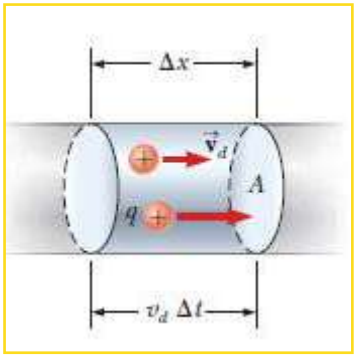


الشكل (b-2-4).

بمتوسط سرعة الشحنات الحرة التي تشكل التيار الكهربائي في موصل.

وينتج عن تصادم الإلكترونات بذرات الفلز على نحو متكرر، أن تفقد جزءاً من طاقتها الحركية أو جميعها، ولكن ما تلبث أن تتسارع ثانية في اتجاه معاكس لاتجاه المجال. أما الطاقة الحركية التي تفقدها الإلكترونات أثناء انسياقها، فتنتقل إلى ذرات الفلز؛ ممّا يؤدي إلى زيادة اتساع اهتزازها وارتفاع درجة حرارة الفلز.

ولمعرفة العلاقة بين شدة التيار المار في موصل والسرعة الانسياقية للإلكترونات الحرة فيه؛ تصور موصلاً فلزياً مساحة مقطعه العرضي (A)، ويتصل طرفاه بقطبي بطارية، فيتولد مجالٌ كهربائيٌ داخل الموصل، يسبب حركة انسياقية للشحنات الحرة فيه بسرعة (V_d). وعلى اعتبار عدد الشحنات الكهربائية الحرة في وحدة الحجم من الموصل تساوي (n_e)، ومقدار الشحنة الحرة (q_e)، فإن حجم جزء من الموصل طوله ((Δx)يساوي ($A\ \Delta x$)، حيث ($\Delta x = V_d\ \Delta t$) وعدد الشحنات الكهربائية الحرة (N) في هذا الحجم يساوي ($n_e\ A\Delta x$)، فإن الشحنة الكلية التي تعبر المساحة بزمن Δt تكون:



ΔQ = عدد الشحنات × مقدار شحنة كل منها.

= الحجم × عدد الشحنات الحرة في وحدة الحجم × مقدار الشحنة.

$$\Delta Q = n_e A \Delta x\, q_e = A\, v_d\, \Delta t\, n_e\, q_e$$

وبذلك فإن مقدار شدة التيار الكهربائي المار في السلك يساوي :

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = A\, v_d\, \Delta t\, n_e \frac{q_e}{\Delta t} = n_e\, A\, v_d\, q_e \qquad (4\text{-}2)$$

والجدير بالذكر أن السرعة V_d صغيرة جدا، إذ تبلغ جزءاً من المليمتر في الثانية. وينبغي هنا ألا يُخلط بين هذه السرعة وسرعة انتقال الأمواج الكهرومغناطيسية عبر الموصل، التي تبلغ (3×10^8 m/s) إذا كان الموصل في الفراغ.

الفلز	كثافة الإلكترونات الحجمية e/m^3
المنيوم	6.0×10^{28}
نحاس	8.5×10^{28}
حديد	8.5×10^{28}
ذهب	5.9×10^{28}
فضة	5.8×10^{28}

مثال (2):

احسب السرعة الانسياقية للإلكترونات الحرة في سلك من النحاس نصف قطره (1cm)، عندما يمر فيه تيارٌ شدته (200 A)، علماً بأن الكثافة الحجمية للإلكترونات الحرة في سلك النحاس تساوي (8.5×10^{28} e/m^3).

الحل:

$$A = \pi r^2 = 3.14 \times 10^{-4}\ m^2$$

$$I = n_e\, A\, v_d\, q_e$$

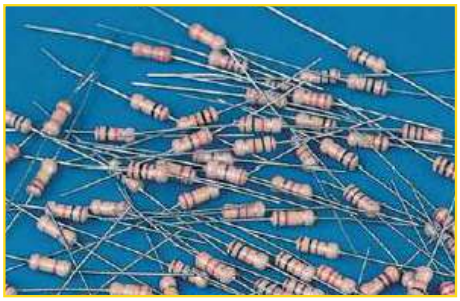
$$200 = 8.5 \times 10^{28} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 3.14 \times 10^{-4}\, v_d$$

$$v_d = 0.46 \times 10^{-4}\ m/s$$

سؤال: كيف تفسر الإضاءة السريعة للمصابيح الكهربائية بينما متوسط السرعة الانسياقية للإلكترونات صغيرة جداً؟

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

نشاط (4-2): المقاومة الكهربائية



للتعرف إلى المقاومة الكهربائية، أجب عن الأسئلة الآتية:

- ما المقصود بالمقاومة الكهربائية؟ وما وحدة قياسها؟
- ما استخدامات المقاومات في الدارات الكهربائية؟
- ما العوامل التي تعتمد عليها مقاومة موصل؟ اكتب الصيغة الرياضية.
- وضح المقصود بالمقاومية، والموصلية، وما العلاقة بينهما؟
- ما العلاقة بين فرق الجهد بين طرفي المقاومة وشدة التيار المار فيها؟
- صمم دارة كهربائية لإيجاد مقاومة سلك فلزي باستخدام مصدر جهد ثابت وفولتميتر وأميتر وأسلاك توصيل.

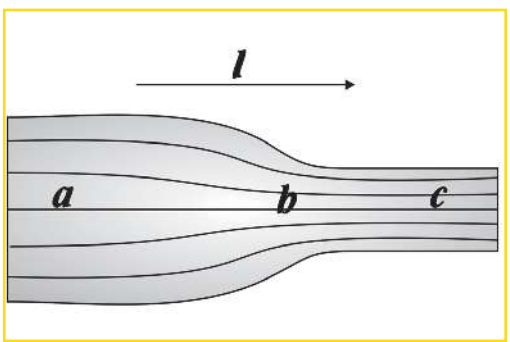
لقد تعرفت سابقاً أن المقاومة هي مقياس لإعاقة الموصل لمرور التيار الكهربائي، ومقدار مقاومة موصل طوله (L)، ومساحة مقطعه (A) ومقاوميته ρ يساوي (ρL/A) ومن هذه العلاقة يمكن تعريف **المقاومية** بأنها: (مقاومة موصل منتظم المقطع، طوله متر واحد، ومساحة مقطعه العرضي 1 متر مربع)، وأن: التيار الكهربائي المار في 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؟

نشاط (4-3): كثافة التيار



تأمل الشكل المجاور، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

- عند أية نقطة تكون شدة التيار الكهربائي أكبر؟
- ما اتجاه المجال الكهربائي عبر الموصل؟
- عند أية نقطة تكون السرعة الانسياقية للشحنات أكبر؟
- عند أية نقطة تكون شدة التيار الكهربائي لوحدة المساحة أكبر؟ فسر إجابتك.

لعلك لاحظت اختلاف السرعة الانسياقية للشحنات الحرة باختلاف مساحة مقطع الموصل، وأن شدة التيار الكهربائي لوحدة المساحة تزداد بنقصان مساحة الموصل. ولوصف حركة الشحنات عند نقاط مختلفة في الموصل، يُستخدم مفهوم كثافة التيار الكهربائي: شدة التيار الكهربائي لكل وحدة مساحة، وهو كمية متجهه **J**، ويُعرف رياضياً بالعلاقة:

$$\mathbf{J} = \frac{I}{A} \qquad (4\text{-}4)$$

حيث:

A: مساحة مقطع الموصل.

I: شدة التيار الكهربائي المار في الموصل.

إن اتجاه كثافة شدة التيار الكهربائي هو نحو المجال الكهربائي (نحو حركة الشحنات الموجبة في الموصل)، ومن العلاقة (4-4) نستنتج أن كثافة التيار تعتمد على مساحة مقطع الموصل، وتكون ثابتة في الموصلات منتظمة المقطع، ومتغيرة في الموصلات غير منتظمة المقطع، ويعود ذلك لاختلاف السرعة الانسياقية للشحنات الحرة في الموصل. وبتعويض قيمة I من المعادلة (4-2) في المعادلة (4-4) نجد أن:

$$J = \frac{I}{A} = n_e\ A\ v_d\ \frac{q_e}{A}$$

$$J = n_e\ v_d\ q_e \qquad (4\text{-}5)$$

وتقاس J بوحدة A/m^2

مثال (3):

تم وصل نهاية سلك من الألمنيوم قطره (2.5 mm) مع نهاية سلك آخر من النحاس قطره (1.8 mm). إذا كان مقدار التيار المستمر المار خلال هذه المجموعة يساوي (1.3 A). ما مقدار كثافة التيار في كل من السلكين؟

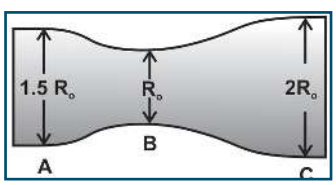
الحل:

المنيوم $A = \pi\ r^2 = 3.14 \times (1.25 \times 10^{-3})^2 = 4.9 \times 10^{-6}\ m^2$

المنيوم $J = \frac{I}{A} = \frac{1.3}{4.9 \times 10^{-6}} = 2.6 \times 10^5\ A/m^2$

نحاس $A = \pi\ r^2 = 3.14 \times (0.9 \times 10^{-3})^2 = 2.54 \times 10^{-6}\ m^2$

نحاس $J = \frac{I}{A} = \frac{1.3}{2.54 \times 10^{-6}} = 5.1 \times 10^5\ A/m^2$



سؤال: يبين الشكل المجاور موصل مساحة مقطعه غير منتظمة. رتب المقاطع (A، B، C) تصاعدياً من حيث:

- شدة التيار المار في كل مقطع.
- كثافة شدة التيار المار في كل مقطع.

والسؤال الآن، هل توجد علاقة بين كثافة التيار في موصل وفرق الجهد بين طرفيه وشدة المجال الكهربائي؟

وبما أن:

$$V = RI = \frac{\rho L}{A}(JA) = \rho LJ \ldots (1)$$

$$V = E\,L \ldots (2)$$

ومن المعادلتين (1) (2) ينتج أن:

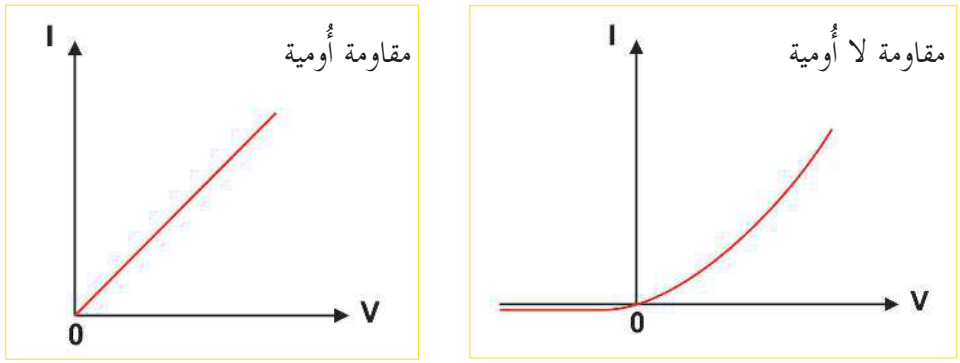
$$J = \sigma E \qquad (4\text{-}6)$$

وهذه العلاقة هي صيغة أخرى لقانون أوم: (كثافة شدة التيار الكهربائي تتناسب تناسباً طردياً مع شدة المجال الكهربائي المؤثر داخل الموصلات الفلزية). وتختلف الفلزات بعضها عن بعض بقيمة كثافة التيار بسبب مجال كهربائي معين. وتدعى النسبة بين كثافة التيار والمجال الكهربائي بثابت الموصلية الكهربائية للفلز، وهي خاصية فيزيائية للفلز تعتمد على نوع مادة الفلز وعلى درجة حرارته، ويُشار إليها بالحرف(σ) حيث: $\sigma = 1/\rho$.

والجدول الآتي يبين قيم المقاومية لبعض العناصر.

المادة	المقاومية $\Omega.m$
المنيوم	2.8×10^{-8}
نحاس	1.7×10^{-8}
ذهب	2.4×10^{-8}
حديد	9.7×10^{-8}
فضة	1.6×10^{-8}
تنجستون	5.6×10^{-8}
نيكروم	1.5×10^{-6}
كربون	3.5×10^{-5}

يطلق على الموصلات التي ينطبق عليها قانون أوم موصلات ذات مقاومة خطية (أومية) تكون فيها النسبة ($\frac{V}{I}$) متساوية (وتساوي ميل الخط المستقيم) لجميع قيم (V)، وهذا يعني أن مقدار المقاومة ثابت لا يعتمد على مقدار أو قطبية فرق الجهد، وهناك مواد لا ينطبق عليها قانون أوم؛ فيطلق عليها موصلات لا خطية (لا أومية) مثل المصابيح الكهربائية والثنائي وبعض الأجهزة التي يوجد فيها مقاومة تتغير بتغير درجة حرارتها (مقاومات حرارية)، أو شدة الضوء الساقط عليها (مقاومة ضوئية)، التي تستخدم مجسات للتغير في درجة الحرارة أو شدة الضوء، وتكون النسبة ($\frac{V}{I}$) غير متساوية لجميع قيم (V)، وهذا يعني أن مقدار المقاومة يتغير بتغير فرق الجهد (V). ويبين الشكل (4-3) منحنى تغير الجهد، وشدة التيار لمقاومة أومية ولمقاومة لا أومية.



شكل (4-3)

مثال (4):

موصل من الفضة مساحة مقطعه ($0.785\ mm^2$)، ويحمل تياراً كهربائياً شدته (1A). إذا كانت كثافة الإلكترونات الحرة للفضة ($5.86 \times 10^{28}\ e/m^3$). احسب:

أ. كثافة شدة التيار في الموصل.

ب. السرعة الانسياقية للإلكترونات الحرة فيه.

الحل:

أ.
$$J = \frac{I}{A} = \frac{1}{0.785 \times 10^{-6}} = 1.274 \times 10^{6}\ A/m^2$$

ب.
$$J = n_e q_e v_d \longrightarrow 1.274 \times 10^{6} = 5.86 \times 10^{28} \times 1.6 \times 10^{-19} v_d$$

$$v_d = 1.359 \times 10^{-4}\ m/s$$

مثال (5):

سلك نحاسي طوله (100 m)، ومساحة مقطعه العرضي ($1mm^2$)، ويحمل تياراً كهربائياً شدته (20 A). إذا كانت مقاومية النحاس ($1.72 \times 10^{-8}\ \Omega.m$)، احسب:

أ. شدة المجال الكهربائي المؤثر في السلك.

ب. فرق الجهد بين طرفي السلك.

ج. مقاومة السلك.

الحل:

أ.
$$E = \rho J = \rho \frac{I}{A} = \frac{1.72 \times 10^{-8} \times 20}{1 \times 10^{-6}} = 0.344\ V/m$$

ب.
$$V = EL = 0.344 \times 100 = 34.4\ V$$

ج.
$$R = \frac{V}{I} = \frac{34.4}{20} = 1.72\ \Omega$$

سؤال:

1. إذا كانت كثافة الإلكترونات الحرة في موصل ($7.5 \times 10^{28}\ e/m^3$)، ومساحة مقطعه ($4 \times 10^{-6}\ m^2$)، وشدة التيار المار فيه ($2.5\ A$). فما مقدار السرعة الإنسياقية للإلكترونات الحرة فيه؟

الأثر الحراري للتيار الكهربائي:

إذا تحركت الشحنات الموجبة في مقاومة تحت تأثير قوة المجال الكهربائي بين نقطتين في دارة كهربائية، فإن طاقة الوضع للشحنات تقل باستمرار، ويكون شغل قوة المجال موجباً، ويتحول هذا النقص في طاقة الوضع الكهربائية (شغل قوة المجال) إلى أشكال أخرى حرارية، أو ضوئية، أو كيميائية، وغيرها.

إن معدل الشغل المبذول يمثل القدرة الكهربائية. أي أن:

القدرة = الشغل/ الزمن

وبما أن الشغل المبذول في نقل شحنة بين نقطتين في مجال كهربائي يساوي (Q V)، فإن القدرة الكهربائية:

$$P = Q\ V/t \qquad (4\text{-}8)$$

باستخدام العلاقة السابقة ومن قانون أوم يمكن التوصل إلى العلاقات الآتية:

$$P = I\ V$$

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

$$P = I^2 R$$

وتقاس القدرة الكهربائية بوحدة (J/s)، وتسمى بالواط (W).

والمعادلة $P = I^2 R$ تمثل الصيغة الرياضية لقانون **جول** الذي ينص على أن(معدل كمية الحرارة المتولدة في مقاومة فلزية ثابتة تتناسب طردياً مع مربع شدة التيار المار فيها).

وأما الطاقة الحرارية المستهلكة (E_{th}) في المقاومة فتكون:

$$E_{th} = P \times t = I\ V\ t$$

وإذا كانت القدرة بالكيلو واط والزمن بالساعة، فإن:

الطاقة بوحدة الكيلو واط ساعة = القدره بالكيلو واط × الزمن بالساعة

مثال (6):

وصلت مقاومة مقدارها (545Ω) بين نقطتين، فرق الجهد بينهما (12V). ما مقدار الطاقة الكهربائية المستنفدة في المقاومة خلال (65s)؟

الحل:

$$p = \frac{V^2}{R} = \frac{12^2}{545} = 0.26\ W$$

$$E_{th} = P \times t = 0.26 \times 65 = 17\ J$$

مثال (7):

وصل مصباح كهربائي قدرته (5W) بين نقطتين فرق الجهد بينهما ثابت، وبعد فترة زمنية استبدل المصباح بآخر قدرته (10W). أجب عما يأتي:

في أي الحالتين تكون شدة التيار أكبر؟ وأي المصباحين مقاومته أكبر؟

الحل:

$$P_1 = I_1\ V = 5$$

$$P_2 = I_2\ V = 10$$

بقسمة الطرفين، فإن: $I_2 = 2\ I_1$. أي أن تيار المصباح الثاني أكبر من تيار المصباح الأول.

$$P_1 = \frac{V^2}{R_1}\ ,\ P_2 = \frac{V^2}{R_2}$$

وبقسمة المعادلتين نحصل على: $R_1 = 2R_2$

سؤال: مصباح مكتوب عليه (220V، 100W). احسب:

أ. شدة التيار المار فيه.

ب. تكاليف تشغيله خلال أسبوع بمعدل (10) ساعات يومياً، علماً بأن سعر الكيلو واط ساعة (5) قروش.

ج. ما قدرته إذا تم تشغيله على جهد 110 V.

طُرق توصيل المقاومات

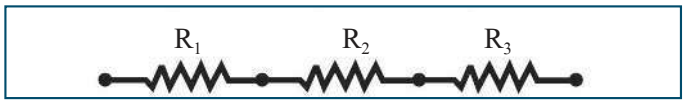
في كثير من الأحيان يتطلب توصيل عدة مقاومات في الدارة الكهربية، لتثبيت مقدار التيار، أو لتجزئة التيار بين عدة مقاومات، أو لتقليل الجهد، أو لتوزيعه. ويتم توصيل المقاومات في الدارات الكهربائية على التوالي أو التوازي أو كليهما معا.

نشاط (4-4) توصيل المقاومات الكهربائية

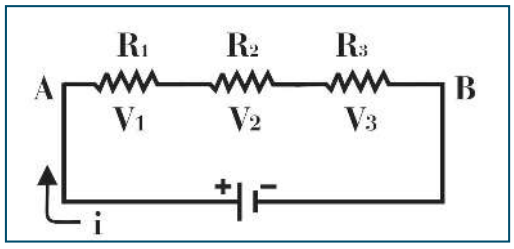
المواد والأدوات: مقاومات كربونية، وبطارية، وأسلاك توصيل، وملتيميتر.

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؟

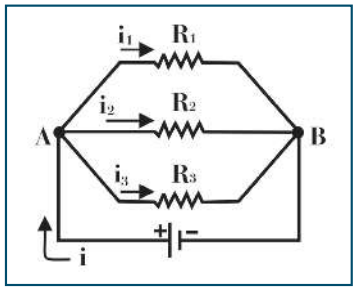


- اربط المقاومات الثلاث مع بطارية كما في الشكل(4-4) واستخدم الملتيميتر لقياس تيار كل منها. ماذا تلاحظ؟
- استخدم الملتيميتر لقياس فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة على حدة وطرفي المقاومات الموصولة.
- ماذا تلاحظ؟
- تحقق أن المقاومة المكافئة $(R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3)$



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.

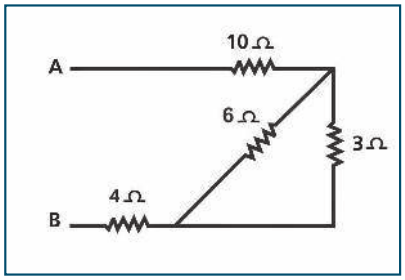
ب - فرق الجهد الكهربائي بين طرفي كل مقاومة.

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 (8):

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

الحل:



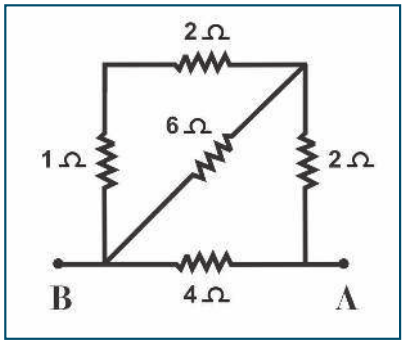
موصولتان على التوازي (3 Ω ، 6 Ω)

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

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:

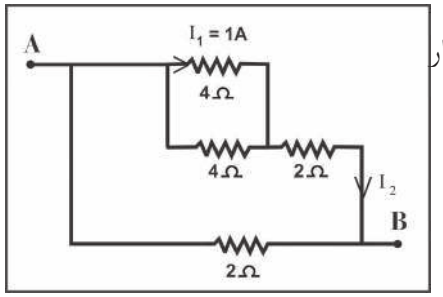
1. تعتمد مقاومية السلك على:

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:

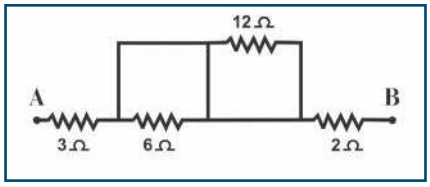
أ- شدة التيار الكهربائي المار فيه تقل ب- مقاومية مادة السلك تزداد

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

5. وصل مصباح كهربائي مكتوب عليه (100 W، 220 V) بمصدر فرق جهد يعطي (175 V). ما القدرة الكهربائية للمصباح بوحدة W؟

أ- 63 ب- 80 جـ- 100 د- 175

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.

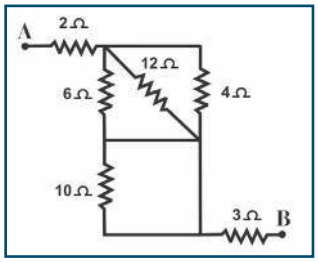
س3: علل ما يأتي:

أ- تكون السرعة الإنسياقية للإلكترونات في الموصلات صغيرة جداً.

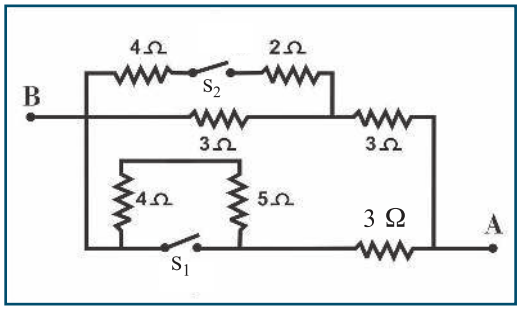
ب- تضيء المصابيح الكهربائية بشكل سريع لحظة غلق الدارة الكهربائية رغم بعدها عن مصدر فرق الجهد.

س4: لديك ثلاث مقاومات متساوية مقدار كل منها (12 Ω)، بين طريقة توصيلها مع الرسم لتصبح المقاومة المكافئة لها: 36 Ω، 18 Ω ، 4 Ω

س5: أوجد مقدار المقاومة المكافئة لمجموعة المقاومات الموصولة بين النقطتين (A ،B) في الشكل المجاور.



س6: في الشكل المجاور، احسب المقاومة المكافئة بين النقطتين (A ،B)، وذلك عندما يكون:



أ. (S_1، S_2) مفتوحين.

ب. S_1 مغلقاً فقط.

جـ. S_2 مغلقاً فقط.

د. (S_1، S_2) مغلقين.

س7: وصلت مقاومتان على التوالي، فكانت مقاومتهما المكافئة (25 Ω)، وعندما وصلتا معاً على التوازي، أصبحت المقاومة المكافئة لهما (4 Ω). احسب مقدار كلتا المقاومتين.

س8: سخان ماء كهربائي قدرته (3000 W)، ويعمل على فرق جهد مقداره (200 V)، احسب:

أ- شدة التيار المار فيه.

ب- مقاومة سلك السخان الكهربائي.

ج- الطاقة المستهلكة إذا تم تشغيله ساعتين يومياً خلال شهر.

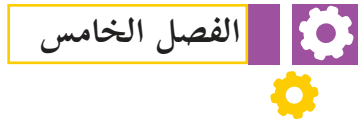
د- تكاليف تشغيله لمدة ساعتين يومياً خلال شهر، علماً بأن ثمن الكيلو واط ساعة (10) قروش.

س9: سلك نحاس طوله (100 m) ومساحته مقطعة العرضي ($1\ mm^2$)، ويحمل تياراً كهربائياً شدته (20 A) إذا كانت مقاومية النحاس ($1.72 \times 10^{-8} \Omega.m$) ، والكثافة الحجمية للإلكترونات الحرة في ($8.4 \times 10^{28}\ e/m^3$)، فإحسب:

أ) كثافة شدة التيار في الموصل.

ب) السرعة الإنسياقية

جـ) شدة المجال الكهربائي



دارات التيار المستمر Direct Current (DC) Circuits

تستخدم البطاريات والمقاومات بتراكيب مختلفة في الدارات الكهربائية اللازمة لتشغيل الأجهزة والتحكم بشدة التيار وفي الطاقة التي تتحول فيها، مثل المصابيح الكهربائية، والفرن الكهربائي، وجهاز الحاسوب والثلاجة وغيرها. ولكن، كيف توصل هذه الأجهزة بمصدر الطاقة الكهربائية؟

واذا كانت الدارة الكهربائية أساسا لتشغيل الأجهزة الكهربائية، وفي أجهزة القياس في الفيزياء والطب والعلوم الأخرى. مم تتكون الدارة الكهربائية البسيطة؟ وكيف يتم التحكم بشدة التيار المار فيها؟ وما القوانين التي تحسب فيها شدة التيار في الدارة الكهربائية أو في جزء منها؟

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم التيار الكهربائي والجهد وتوصيل المقاومات في حل مسائل تتعلق بالدارات الكهربائية البسيطة من خلال تحقيق الآتي:

- حل مسائل على دارات كهربائية بسيطة.
- حساب فرق الجهد بين نقطتين في دارة كهربائية.
- توظيف قنطرة ويتستون في إيجاد مقدار مقاومة مجهولة.
- استخدام قانوني كيرتشوف في حل مسائل على الدارات الكهربائيةً.

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).

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

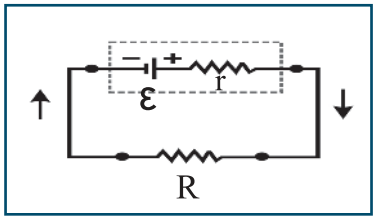
وبافتراض أن الشغل (ΔW) يبذل خلال زمن (Δt)، فبقسمة طرفي المعادلة السابقة على (Δt)، نجد أن:

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

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،

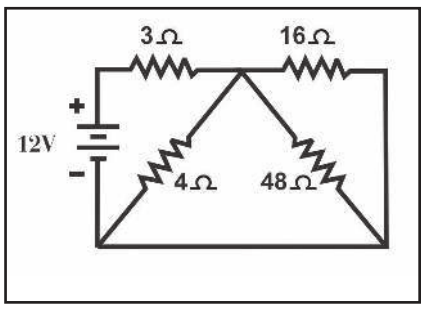
$\sum\varepsilon$: مجموع القوى الدافعة للبطاريات في الدارة.

$\sum R$: 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.

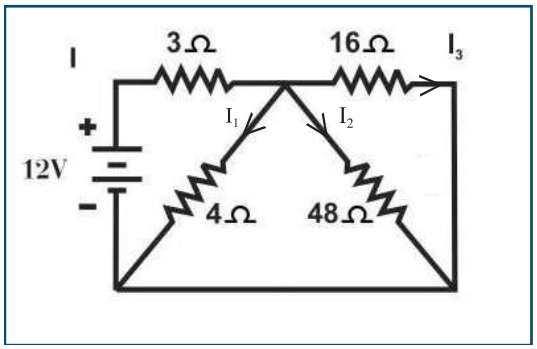
الحل:

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:



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

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

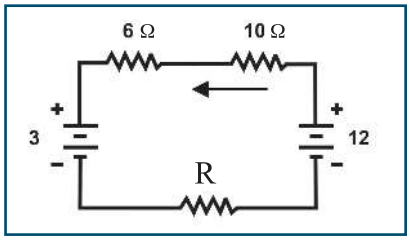
ويساوي تيار المقاومة (3Ω)

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

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

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

مثال (2):



يبين الشكل المجاور دارة كهربائية مغلقة شدة التيار المار فيها (0.5 A). ما القدرة المستنفدة في المقاومة (R)؟

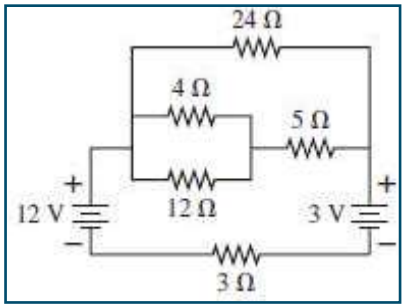
الحل:

القدرة الداخلة = القدرة المستنفدة

$$I \times 12 = I^2 \times 10 + I^2 \times 6 + I \times 3 + P$$

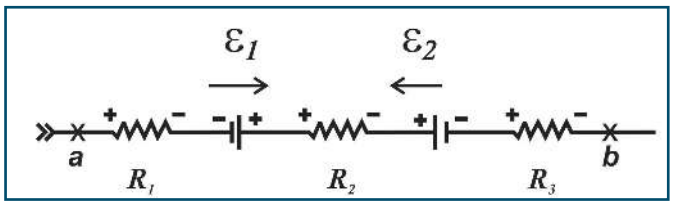
$$0.5 \times 12 = \frac{1}{4} \times 10 + \frac{1}{4} \times 6 + 0.5 \times 3 + P$$

$$6 = 2.5 + 1.5 + 1.5 + P \rightarrow P = 0.5\ W$$



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

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:

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

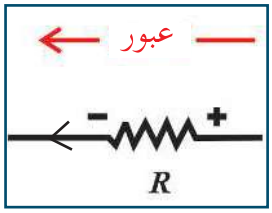
$$V_{ab} + \sum \Delta V_{ab} = 0 \qquad (5\text{-}4)$$

حيث:

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

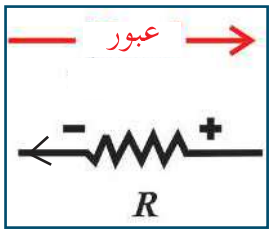
V_a: جهد النقطة (a).

V_b: جهد النقطة (b).

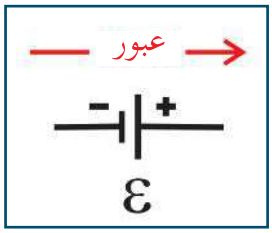


ولحساب التغير في الجهد عبر المقاومات أو البطاريات بين نقطتين في دارة يجب مراعاة إشارة التغير في الجهد مع اتجاه عبورها كما يأتي:

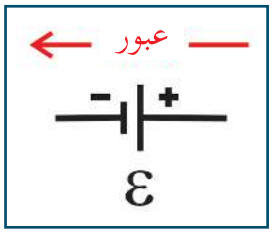
1. إذا كان اتجاه العبور في المقاومة باتجاه التيار، أي من نقطة جهدها عال (+) إلى نقطة أخرى جهدها منخفض (-)، فإن التغير في الجهد يكون سالباً ويساوي (-I R).



1. 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).



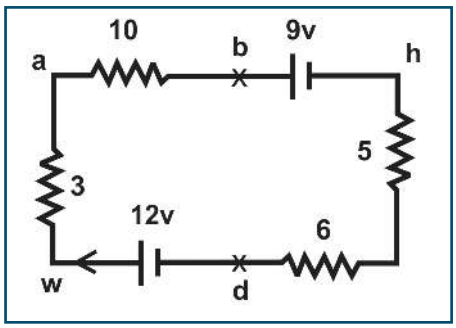
2. إذا كان اتجاه العبور في البطارية من القطب السالب إلى القطب الموجب، أي من نقطة جهدها منخفض (-) إلى نقطة أخرى جهدها عالٍ (+)، فإن التغير في الجهد يكون موجباً، ويساوي (+ε).



3. 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 (3):

معتمداً على القيم المبينة في الشكل المجاور جد:



A- شدة التيار المار في الدارة.

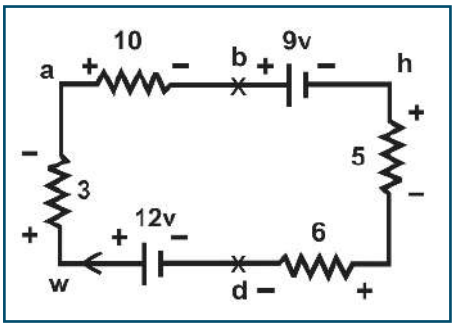
B- التغيرات في الجهد بين النقاط (a,b)، (b,h)، (h,d)، (d,w)، (w,a).

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

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

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

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

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

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

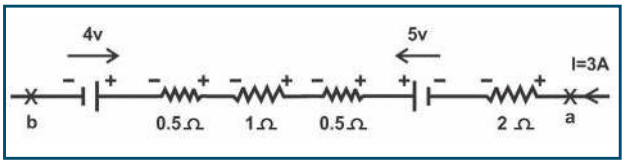
مثال (4):

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

B) القدرة المستنفدة بين النقطتين (a ,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

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

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

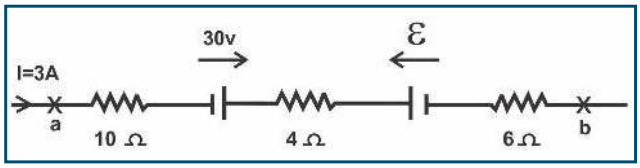
مثال (5):

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).



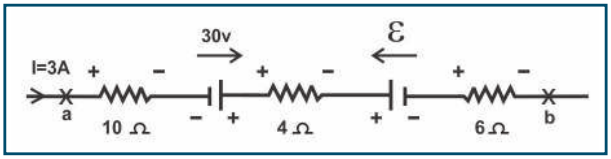
الحل:

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)

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

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

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

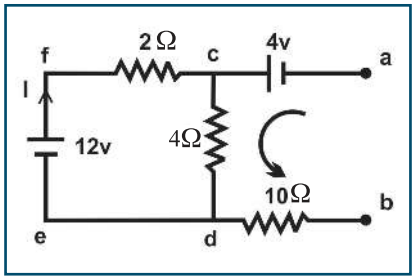
$V_a - V_b = 40 \longrightarrow V_{ab} = 40\ V$

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 (6):



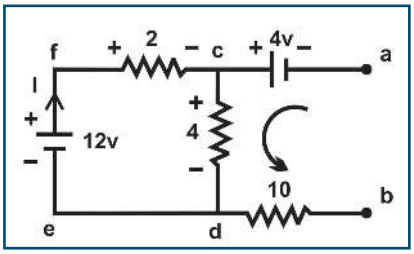
في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل المجاور، احسب فرق الجهد بين النقطتين (a ,b)، ثم بين أيهما أعلى جهداً.

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):



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

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

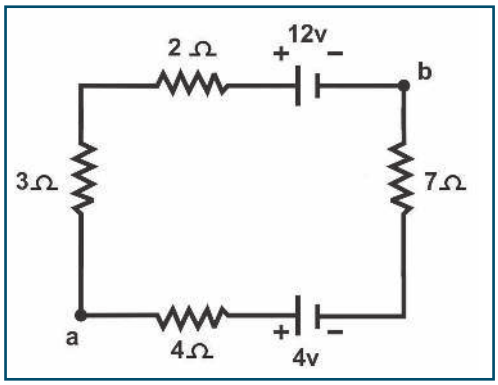
$V_a + 4 - 8 - 0 = V_b \longrightarrow V_a - 4 = V_b$

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

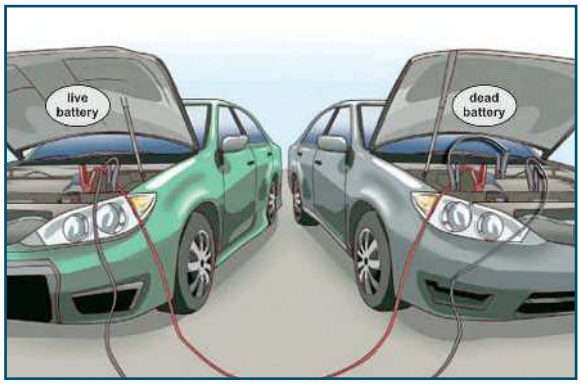
سؤال: احسب فرق الجهد بين النقطتين a ,b من خلال المسار الثاني (a c f e d b).

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

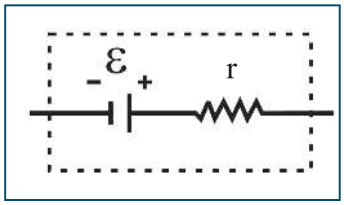
أناقش: يبين الشكل المجاور، دارة شحن بطارية، تتكون من بطاريتين متعاكستين وأربع مقاومات موصولتين على التوالي في دارة بسيطة. أجب عما يأتي:



- 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؟

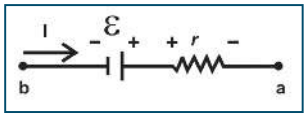


البطارية ليست مصدراً للتيار الكهربائي الثابت في المقدار، بل يتغير مقداره بتغيير المقاومات في الدارة. وتعد البطاريات مصدر جهد ثابت تقريباً، ولكن عند غلق الدارة الكهربائية، يقل فرق الجهد بين طرفي البطارية عنه عندما كانت الدارة مفتوحة، وهذا يسمى بالهبوط في الجهد. ويعزى ذلك إلى أن المقاومة الداخلية للبطارية 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:



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

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

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

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

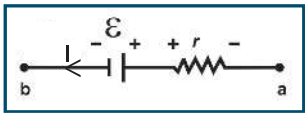
نستنتج من العلاقة السابقة أن فرق الجهد بين النقطتين (a ,b) أقل من القوة الدافعة الكهربائية للمصدر، وذلك لأن جزءاً من القوة الدافعة الكهربائية يُستنفد على شكل حرارة في المقاومة الداخلية للمصدر. ويُسمى المقدار ($I \times r$) الهبوط في الجهد.

- 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:

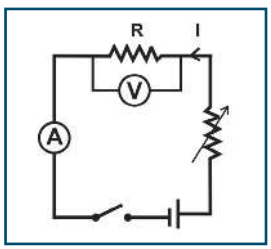
A) $V_{ab} = \varepsilon - I \times r = 25 - 8 \times 0.2 = 25 - 1.6 = 23.4$ V

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

5-5 قياس مقاومة مجهولة:

تعرفت سابقاً إلى طريقة حساب مقدار المقاومات الكربونية من الألوان، ولكن هذه الطريقة تقريبية نسبة الخطأ فيها كبيرة، وكذلك باستخدام جهاز الملتيميتر الإلكتروني عند قياس المقاومات، وهذه تحتاج إلى مهارة في استخدام جهاز الملتيميتر. وهنا يمكن إيجاد مقاومة مجهولة بطريقتين، هما:

أ. باستخدام قانون أوم:



يمكننا إيجاد مقدار مقاومة مجهولة باستخدام قانون أوم، كما في الدارة المبينة في الشكل المجاور. فبقياس فرق الجهد (V) بين طرفي المقاومة (كما يقيسه الفولتميتر)، وبقياس شدة التيار الكهربائي (I) المار في المقاومة (كما يقيسه الأميتر)، وبالتعويض في قانون أوم، ينتج:

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

إلا أن النتيجة التجريبية السابقة لا تُعطي مقدار المقاومة بدقة كبيرة، وذلك يعود إلى أن تيار الدارة كما يقيسه الأميتر لا يساوي فعلاً شدة التيار المار في المقاومة (R)، لأن الفولتميتر يمرر مقداراً قليلاً من تيار الدارة. ويمكن تقليل نسبة الخطأ باستخدام فولتميتر مقاومته كبيرة جداً بالنسبة لمقدار المقاومة المجهولة.

مثال (8):

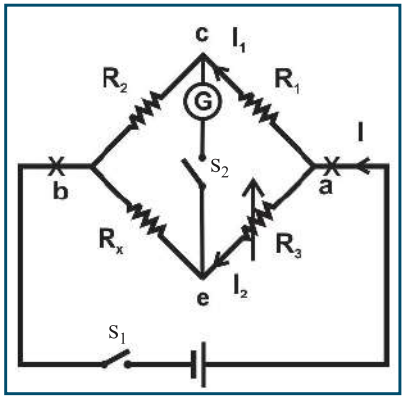
استخدمت دارة أوم لإيجاد مقدار مقاومة مجهولة (R)، فإذا كانت قراءة الأميتر(1.2 A)، وقراءة الفولتميتر (18V) في الدارة، ما مقدار المقاومة المجهولة؟

الحل: _____

$$R = \frac{V}{I} = \frac{18}{1.2} = 15\ \Omega$$

سؤال: هل قيمة R المحسوبة عملياً أكبر من قيمة R الحقيقية أم أقل؟ ولماذا؟

ب. باستخدام قنطرة ويتستون:



يبين الشكل المجاور دارة قنطرة ويتستون، وتتكون الدارة من المقاومات (R_1, R_2, R_3, R_X)، وبطارية، وجلفانوميتر أو ميكروأميتر، ومفتاحين (S_1، S_2). وعادة تكون المقاومات (R_1, R_2) معلومة، والمقاومة (R_3) متغيرة (صندوق مقاومات)، أما المقاومة (R_X) فهي المقاومة المراد قياسها.

وعند استعمال هذه القنطرة يُغلق أولاً المفتاح (S_1)، فيسري تيار شدته (I) في الدارة، وعند إغلاق (S_2)، ينحرف مؤشر الجلفانوميتر. وفي هذه الحالة نغير من قيمة المقاومة المتغيرة حتى تنعدم قراءة الجلفانوميتر، وبذلك نعرف مقدار المقاومة المتغيرة (R_3)، ونقول إن القنطرة متزنة.

عندما تكون قراءة الجلفانوميتر تساوي صفراً، فإن التيار الكهربائي المار في (R_2) هو نفس التيار المار في (R_1) . كذلك التيار الكهربائي المار في R_x هو نفس التيار المار في (R_3). وكذلك فإن جهد النقطة (c) يساوي جهد النقطة (e)، وحيث إن النقطة (a) مشتركة بين المقاومتين (R_1, R_3)، فإن:

$$V_c = V_e \longrightarrow V_{ac} = V_{ae}$$

$$I_1 \times R_1 = I_2 \times R_3$$

كذلك بما أن النقطة (b) مشتركة بين المقاومتين (R_X, R_2)، فإن:

$$V_{cb} = V_{eb}$$

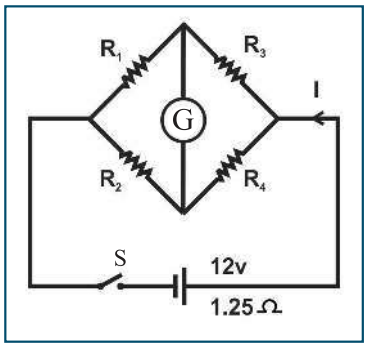
$$I_1 \times R_2 = I_2 \times R_X$$

وبقسمة العلاقة الأولى على العلاقة الثانية، ينتج:

$$\frac{I_1 \times R_1}{I_1 \times R_2} = \frac{I_2 \times R_3}{I_2 \times R_X}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_X}$$

وتُعرف هذه العلاقة بقانون قنطرة ويتستون، ولكون المقاومات (R_1, R_2, R_3) معلومة، فإنه يمكننا إيجاد (R_X).



مثال (9):

يبين الشكل المجاور دارة قنطرة ويتستون، فإذا حصل الاتزان عندما كانت ($R_2 = 15\ \Omega, R_3 = 20\ \Omega, R_4 = 60\ \Omega$). جد:

أ- مقدار المقاومة (R_1).

ب- شدة التيار الكهربائي المار في البطارية.

الحل:

أ-

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \rightarrow \frac{R_1}{15} = \frac{20}{60} \rightarrow 60 \times R_1 = 20 \times 15 \rightarrow R_1 = 5\ \Omega$$

ب- لإيجاد المقاومة المكافئة:

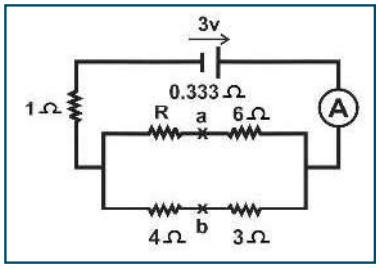
المقاومات (R_1, R_3) موصولة على التوالي: $R`_1 = 5 + 20 = 25\ \Omega$

المقاومات (R_2, R_4) موصولة على التوالي: $R`_2 = 15 + 60 = 75\ \Omega$

المقاومات (R_1, R_2) موصولة على التوازي: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R`_1} + \frac{1}{R`_2} = \frac{1}{25} + \frac{1}{75} = \frac{4}{75} \rightarrow R = \frac{75}{4} = 18.75\ \Omega$

$$\sum R = 1.25 + 18.75 = 20\ \Omega$$

$$I = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R} = \frac{12}{20} = 0.6\ A$$



سؤال: في الدارة المبينة في الشكل المجاور، إذا كان فرق الجهد بين النقطتين (a ,b) يساوي صفراً، فاحسب:

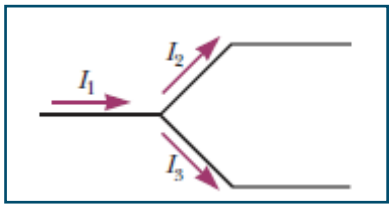
أ. مقدار المقاومة المجهولة (R).

ب. قراءة الأميتر (A).

6-5 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

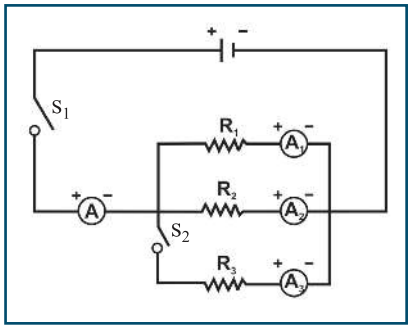
وحدة الزمن. وتُعرف هذه النتيجة بالقانون الأول لكيرتشوف، الذي ينص على أن: **(مجموع التيارات التي تدخل أية نقطة تفرع يساوي مجموع التيارات التي تخرج من نقطة التفرع)**. والصيغة الرياضية لقانون الأول لكيرتشوف هي:

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

نشاط (5-1): القانون الأول لكيرتشوف

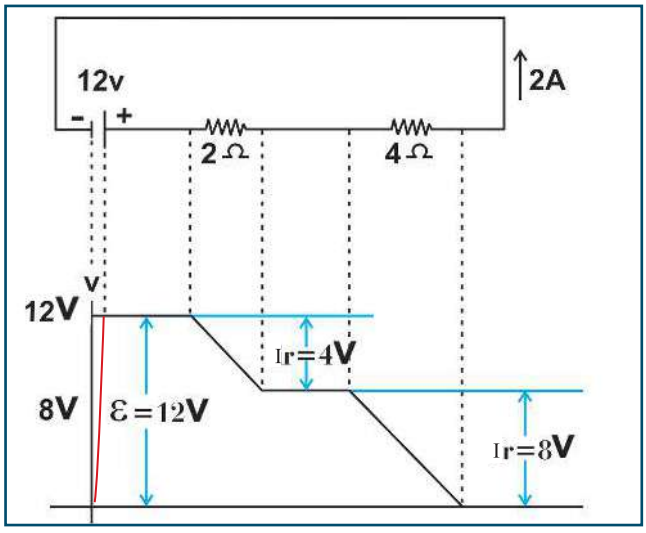
المواد والأدوات: مكونات الدارة في الشكل المجاور.

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:

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

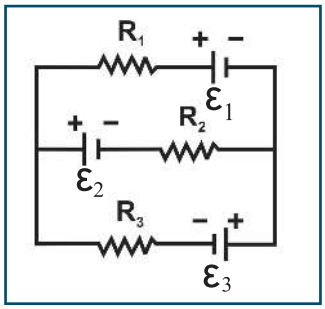
وتُعرف هذه النتيجة بالقانون الثاني لكيرتشوف الذي نصه: «مجموع تغيرات الجهد عبر حلقة مقفلة في الدارة الكهربائية يساوي صفراً». وهو يعبر عن قانون حفظ الطاقة.

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.

نشاط (5-2): القانون الثاني لكيرتشوف

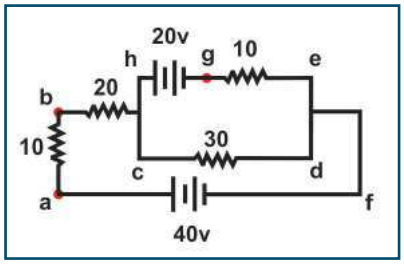
المواد والأدوات: مكونات الدارة في الشكل المجاور.



الخطوات:

- صل الدارة الكهربائية كما في الشكل المجاور.
- قم بقياس التغيرات في الجهد بين طرفي كل عنصر في مسار مغلق مع مراعاة الحركة في ترتيب دوري واحد.
- أوجد مجموع التغيرات في الجهد في مسار مغلق.
- ماذا تستنتج؟
- كرر الخطوات السابقة في مسارات مختلفة.
- ماذا تستنتج؟

مثال (10):

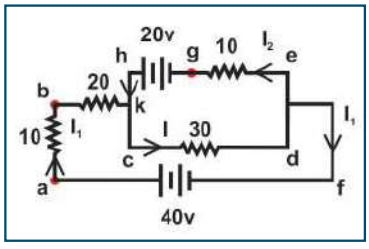


يمثل الشكل المجاور دارة كهربائية مغلقةعلماً بأن المقاومات بوحدة أوما، جد:

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):

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

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

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 b c d f 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):

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

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

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

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

بتعويض قيمة (I) في المعادلة (3)، فإن:

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

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:

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

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

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

مثال (11):

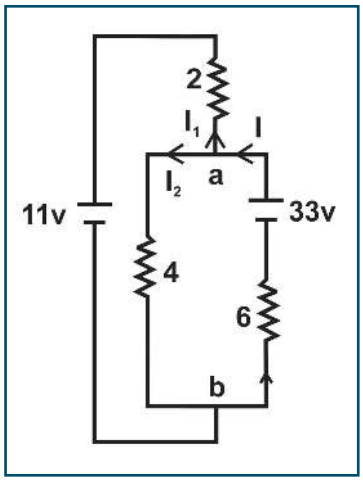
استخدم قانوني كيرتشوف لإثبات قانون حفظ الطاقة في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل الآتي:

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:

$$\sum \Delta V \text{ حلقة} = 0$$

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

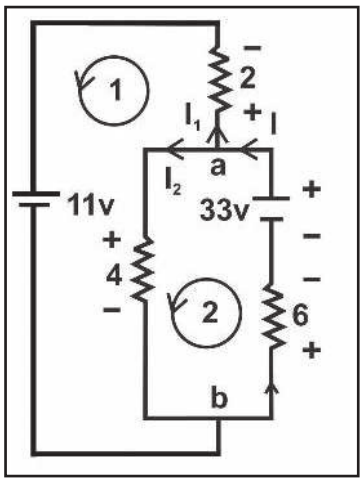
$$4 I_2 _ 2 I_1 = 11 \ldots (2)$$

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:

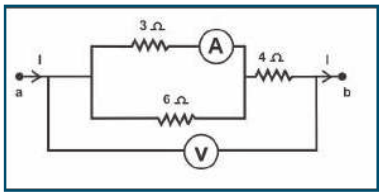
1. عند غلق دارة المصباح الكهربائي في المنزل، فإن الزمن اللازم لإضاءة المصباح يُحدّد:

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

ب- بالسرعة الانسياقية للإلكترونات الحرة في أسلاك التوصيل.

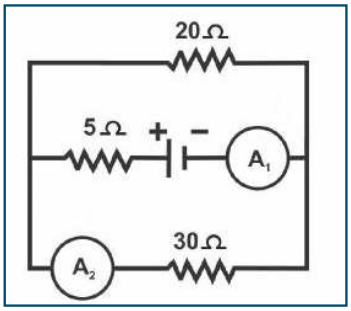
جـ- بسرعة انتشار خطوط المجال الكهربائي في أسلاك التوصيل.

د- بالإضاءة اللحظية للمصباح الكهربائي.



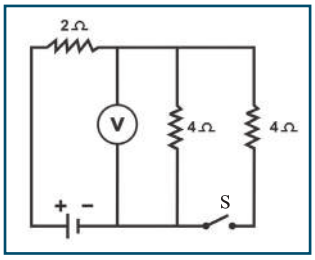
2. يمثل الشكل المجاور جزءاً من دارة كهربائية، إذا كانت قراءة الأميتر 2 A ، فما قراءة الفولتميتر؟

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)؟

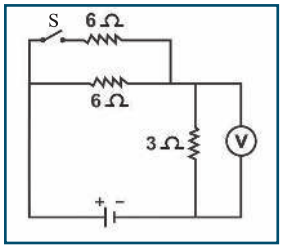
أ- 1.5 A ب- 2 A جـ- 2.5 A د- 3 A



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

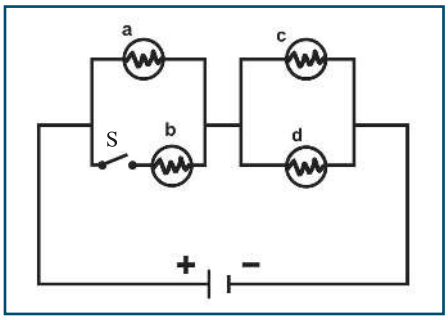
أ- 12 V ب- 14 V جـ- 16 V د- 18 V

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



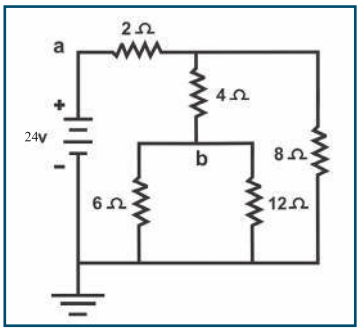
أ- 30 V ب- 35 V جـ- 40 V د- 45 V

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)

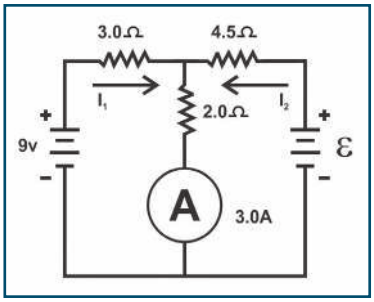
س2: في الدارة الكهربائية المجاورة، جد:



أ- فرق الجهد بين النقطتين (a , b).

ب- جهد النقطة (b).

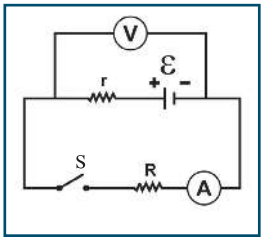
س3: في الدارة الكهربائية المجاورة، إذا كانت قراءة الأميتر (A) تساوي (3 A). جد:



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:

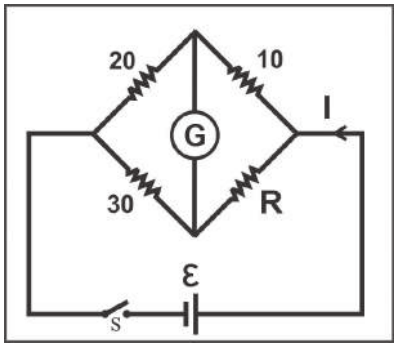


أ- مقدار القوة الدافعة الكهربائية للبطارية (ε).

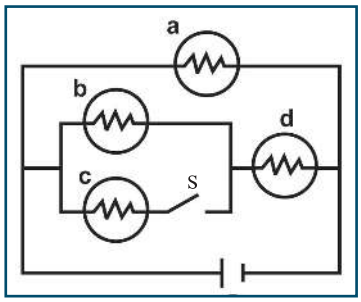
ب- مقدار المقاومة الداخلية للبطارية (r).

ج- مقدار المقاومة الخارجية (R).

س5: وصلت أربع مقاومات (R، 30، 20، 10) بوحدة Ω، كما في الشكل المجاور. احسب قيمة R التي تجعل القنطرة في حالة اتزان. وإذا استبدلت المقاومة (10) بالمقاومة (20) أي كل منهما مكان الأخرى. فما قيمة المقاومة اللازم توصيلها مع المقاومة (R) لكي تعود القنطرة لحالة الاتزان.



س 6: يبين الشكل المجاور دارة كهربائية تحوي مصابيح متماثلة. أجب عما يأتي:

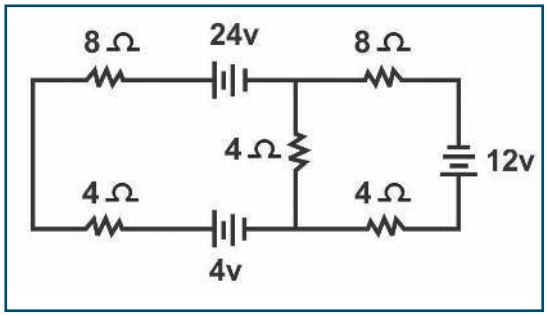


أ- هل يتغير جهد المصباح (a) عند إغلاق المفتاح؟ فسر إجابتك.

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

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

س7: في الدارة الكهربائية المجاورة، جد:

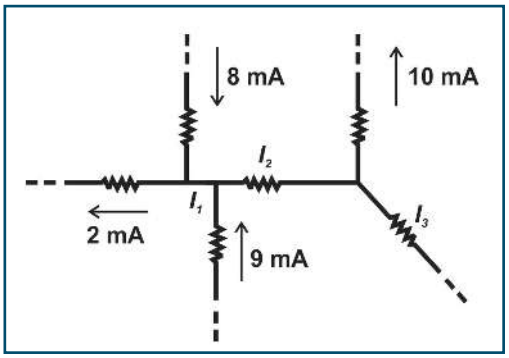


أ- شدة التيار المار في كل بطارية.

ب- القدرة المستنفدة في المقاومات والبطاريات.

ج- القدرة الداخلة في الدارة.

س8: يمثل الشكل المجاور جزءاً من دارة كهربائية، مستعيناً بالبيانات المثبتة على الشكل احسب مقدار شدة التيارات (I_1,I_2,I_3).

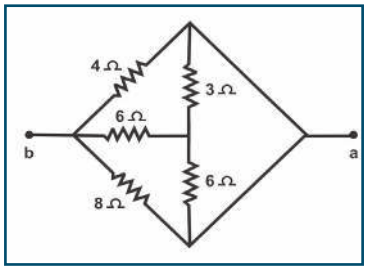


أسئلة الوحدة

س1: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

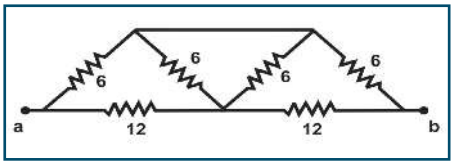
1. سلك فلزي مقاومته (R) ومساحة مقطعه العرضي (A) موصول بين نقطتين، فرق الجهد بينهما (V). إذا أعيد تشكيله ليزداد طوله إلى الضعف، فإن السرعة الانسياقية للإلكترونات الحرة فيه في هذه الحالة:

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



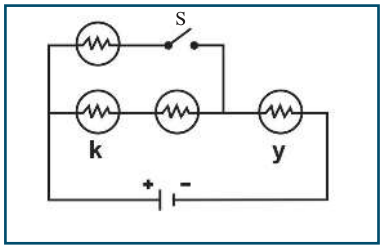
2. في الشكل المجاور، ما مقدار المقاومة المكافئة بين النقطتين (a ,b)؟

أ- 2 Ω ب- 3 Ω جـ- 4 Ω د- 6 Ω



3. الشكل المجاور يمثل جزءاً من دارة كهربائية، ما مقدار المقاومة المكافئة بين النقطتين (a ,b)؟

أ- 4 Ω ب- 4.5 Ω جـ- 7.2 Ω د- 8 Ω



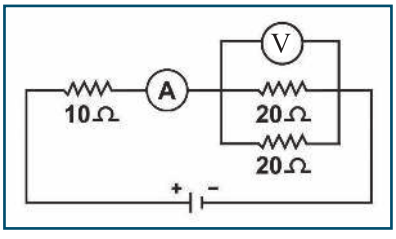
4. في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل المجاور، إذا علمت أن المصابيح متماثلة، فماذا يحصل لشدة إضاءة المصباحين (y ,k) عند غلق المفتاح (s)؟

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).

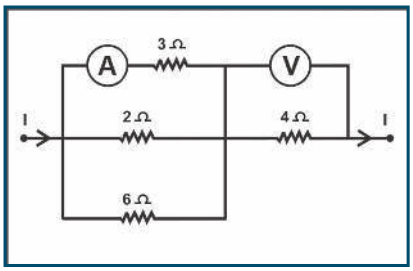
د- تزداد شدة إضاءة المصباح (y)، بينما تقل شدة إضاءة المصباح (k).



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

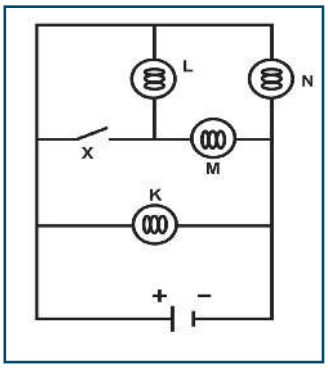
أ- 10 V ب- 20 V جـ- 30 V د- 40 V

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) ؟



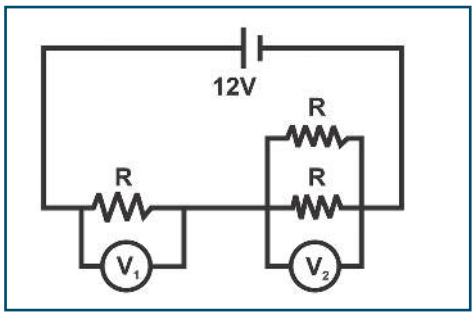
أ- 2A ب- 3 A جـ- 3.5 A د- 4.5 A

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؟



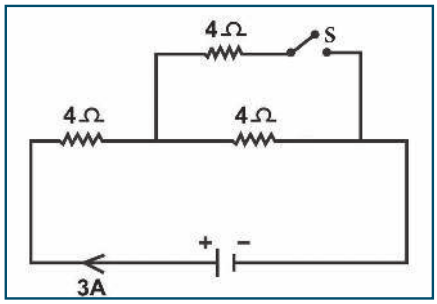
أ- $V_1 = 4\ V$ ، $V_2 = 8\ V$

ب- $V_1 = 6\ V$ ، $V_2 = 6\ V$

جـ- $V_1 = 8\ V$ ، $V_2 = 4\ V$

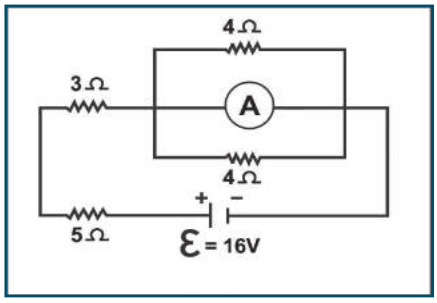
د- $V_1 = 9\ V$ ، $V_2 = 3\ V$

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)؟



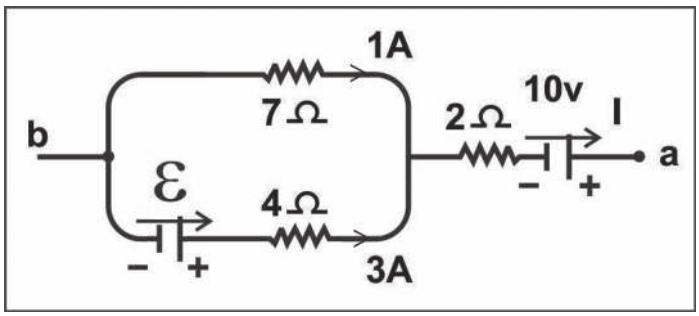
أ- 1 A ب- 1.2 A جـ- 1.6 A د- 2 A

س2: فسر ما يأتي:

أ- توصل الأجهزة في المنازل على التوازي.

ب- ينعدم (يتلاشى) التيار الكهربائي في دارة كهربائية عند فتح الدارة.

س3: يمثل الشكل المجاور جزءاً من دارة كهربائية. معتمداً على البيانات المثبتة على الشكل، جد:



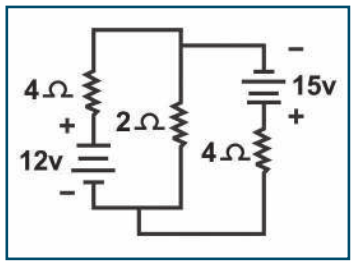
أ- فرق الجهد بين النقطتين (a ,b).

ب- مقدار القوة الدافعة الكهربائية (ε).

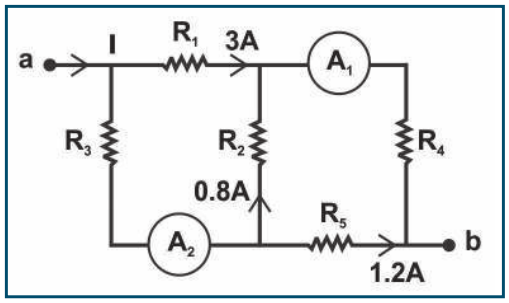
ج- القدرة الداخلة بين النقطتين (a ,b).

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

س4: في الدارة الكهربائية المجاورة، أوجد شدة التيار المار في كل بطارية.



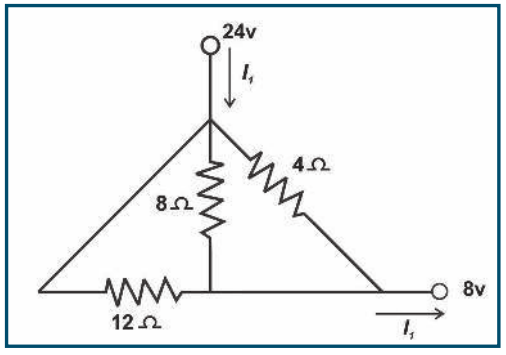
س5: يبين الشكل المجاور جزءاً من دارة كهربائية يسري فيها تيار كهربائي. إذا كان فرق الجهد بين النقطتين (a ,b) يساوي (60 V)، فجد:



أ. قراءة الأميترات (A_1, A_2).

ب. المقاومة المكافئة بين النقطتين (a ,b).

س6: يمثل الشكل المجاور جزءاً من دارة كهربائية، مستعيناً بالبيانات المثبتة على الشكل احسب:



أ- مقدار شدة التيار I_1.

ب- القدرة المستهلكة في المقاومة (4 Ω).

الوحدة الثالثة

الكهرومغناطيسية

كيف تفسر ظاهرة الشفق القطبي؟

الكهرومغناطيسية Electromagnetism

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذه الوحدة والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الكهرومغناطيسية في حل مسائل تتعلق بالمجال المغناطيسي والقوة المغناطيسية على شحنة متحركة في المجال المغناطيسي والحث الكهرومغناطيسي من خلال تحقيق الآتي:

١. حل مسائل في حساب المجال المغناطيسي والقوة المغناطيسية والحث الكهرومغناطيسي.

٢. توضيح بعض التطبيقات الكهرومغناطيسية في الحياة.

٣. تصميم مشروع لبناء نموذج لقطار مغناطيسي.

المجال المغناطيسي Magnetic Field

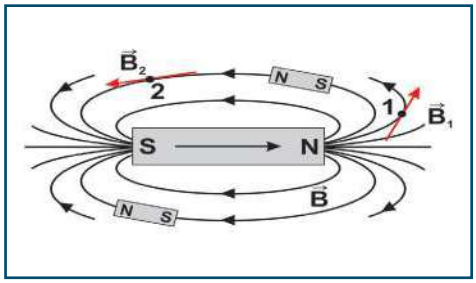
استمرت دراسة المجال المغناطيسي عدة سنوات ،مقتصرة على تأثيرات التجاذب والتنافر بين المغانط الطبيعية، إلى أن حصل اكتشاف العلاقة بين المغانط والكهرباء، على يد العالم أورستد في عام (1820 م)، وذلك حين لاحظ أن مرور التيار الكهربائي في سلك يؤدي إلى انحراف إبرة مغناطيسية موضوعة بالقرب منه. وتبعه علماء كثيرون مثل بيو وسافار وأمبير، أسهموا في تطوير علم المغناطيسية، وبناء القوانين والعلاقات الرياضية التي تحكم العلاقة بين التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي، فما المقصود بالمجال المغناطيسي؟ وكيف تحسب شدة المجال المغناطيسي لسلك مستقيم طويل، ولملف دائري عند نقطة في مركزه، ولملف حلزوني عند نقطة على محوره عندما يمر في كل منها تيار كهربائي؟

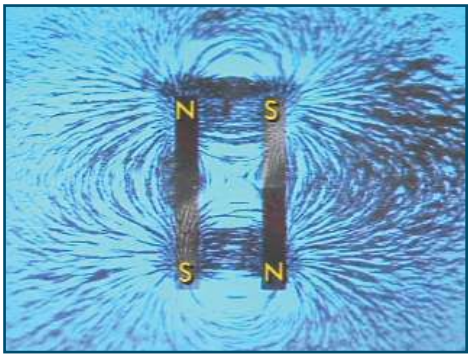
يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الكهرومغناطيسية في حل مسائل تتعلق بالمجال المغناطيسي لسلك مستقيم لانهائي الطول والملف الدائري والملف الحلزوني من خلال تحقيق الآتي:

- توضيح المقصود بالمجال المغناطيسي وخصائصه.
- وصف المجال المغناطيسي الناشئ عن تيار كهربائي في: سلك مستقيم طويل، وملف دائري، وملف حلزوني.
- حل مسائل على المجال المغناطيسي الناشئ عن تيار كهربائي في: سلك مستقيم طويل، وملف دائري، وملف حلزوني.
- تفسير بعض التطبيقات للمجال المغناطيسي.

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)

أناقش: بالاعتماد على الشكل (6- 1):

- أين تكون قوة جذب المغناطيس أكبر ما يمكن؟
- إذا عُلق المغناطيس تعليقاً حراً، إلى أين يتجه؟
- كيف تستدل على اتجاه خطوط قوى المجال المغناطيسي؟
- أين تكون كثافة خطوط المجال المغناطيسي كبيرة؟ وأين تصغر؟
- هل تتقاطع خطوط المجال المغناطيسي؟
- هل خطوط المجال المغناطيسي مقفلة؟

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

ينشأ حول المغانط مجال مغناطيسي، ويؤثر في البوصلة عند وضعها في مجاله، فهل يوجد مصادر أخرى للمجال المغناطيسي؟

نشاط (6-1): تجربة أورستد

المواد والأدوات: سلك سميك، وبوصلة، وبطارية (1.5) فولت.

الشكل (6-2)

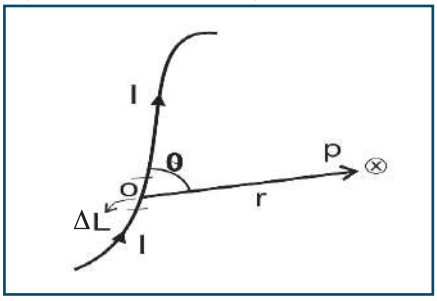
الخطوات:

- ضع البوصلة على سطح طاولة.
- صل طرفي السلك بقطبي البطارية، ثم قرب السلك من البوصلة، بحيث يكون السلك موازياً لاتجاه ابرة البوصلة، كما في الشكل (6-2)،ماذا تلاحظ؟
- اعكس اتجاه التيار في السلك، ثم قرب السلك من البوصلة مرة أخرى، ماذا تلاحظ؟
- كرر الخطوات السابقة بتقريب السلك من الجهة المقابلة، ماذا تلاحظ؟

كان لاكتشاف أورستد الدور البارز في تعرّف أهم مصادر المجال المغناطيسي وهو التيار الكهربائي؛ إذ إن مرور تيار كهربائي في موصل يولد حوله مجالاً مغناطيسياً، وبذلك اكتشفت العلاقة بين المغناطيسية والكهرباء؛ مما أدى إلى ظهور علم الكهرومغناطيسية.

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

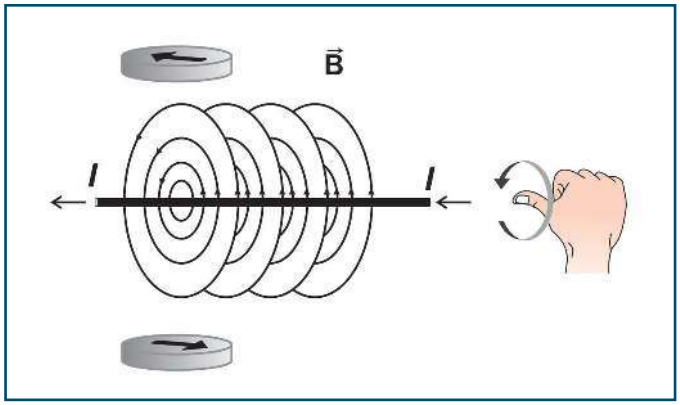
لقد أثبتت التجارب العملية أنه يحيط بالسلك المستقيم الذي يمر فيه تيار كهربائي مجال مغناطيسي، وتكون خطوط المجال حول السلك على شكل دوائر متحدة المركز ومركزها محور السلك ومستواها عمودي على السلك، وأن كل نقطة في السلك يمكن اعتبارها مركزاً لخطوط المجال كما هو مبين في الشكل المجاور (6- 4). ولتحديد اتجاه المجال 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:

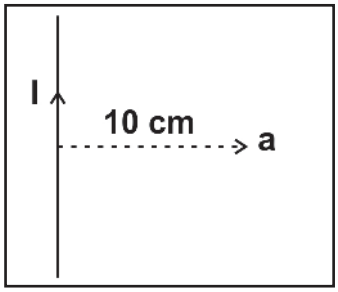
I: شدة التيار الكهربائي المار في السلك وتقاس بوحدة الأمبير.

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):

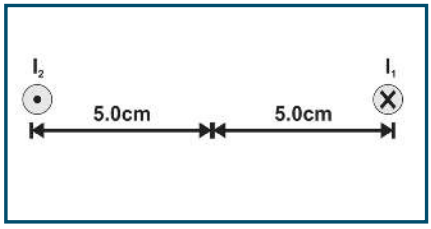


الشكل المجاور يبين سلكاً مستقيماً يسري فيه تيار كهربائي شدته (25 A). أوجد شدة المجال المغناطيسي في النقطة (a) التي تبعد عن السلك (10 cm).

الحل:

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

$$B = \frac{4\pi x10^{-7}\ x25}{2\ \pi x0.1} = 5\ x\ 10^{-5}\ T$$ 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 شدة المجال المغناطيسي الناشئ عنهما عند منتصف المسافة بينهما.

4-6 المجال المغناطيسي لملف دائري يسري فيه تيار كهربائي

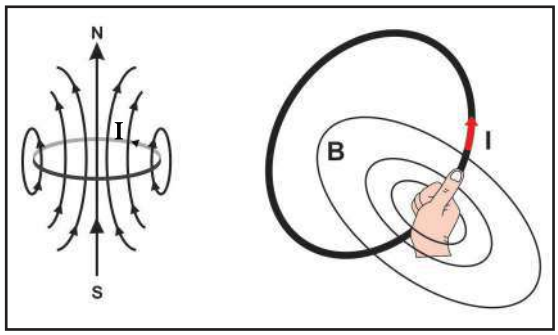
تعرفت في البند السابق المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي في سلك مستقيم طويل جداً، فهل تتغير صفات المجال المغناطيسي بتغير شكل الموصل الذي يمر فيه التيار؟ وهل تتغير قيمة المجال المغناطيسي الناشئة عنه عند أية نقطة بالقرب منه؟ للإجابة عن هذه الأسئلة، قم بثني سلك مستقيم، واصنع منه ملفاً دائرياً،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

نشاط (6-2): 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؟

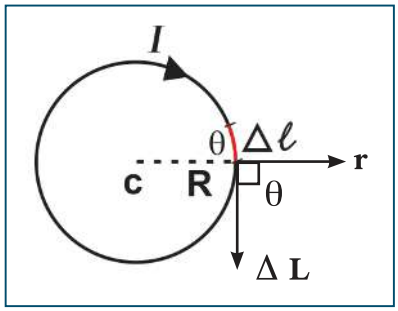
لعلك لاحظت أن انحناء خطوط المجال المغناطيسي يقل بالاقتراب من مركز الملف، حيث تكون مستقيمة بالقرب من مركز الملف. ماذا تستدل؟ ولتحديد اتجاه المجال المغناطيسي في مركز الملف الدائري نتبع قاعدة اليد اليمنى والإبهام وهي:

(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 $\theta = 90°$، 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:

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

$$B = \frac{\mu_0\, IN}{2R} \qquad (6\text{-}3)$$

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:

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

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

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:

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

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

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:

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

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

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

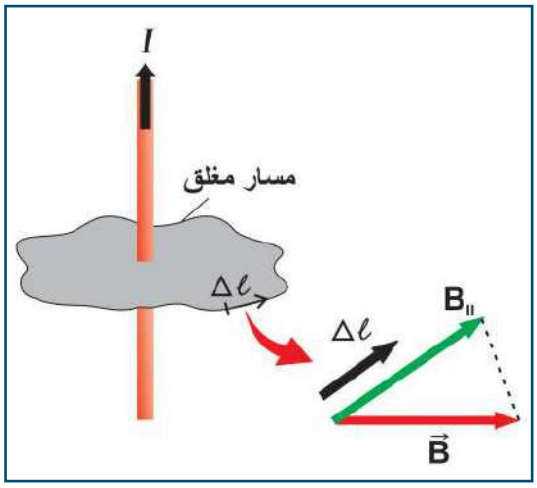
C) بما أن $B = 0$ فإن $B_2 = B_1$ مقداراً ويعاكسه اتجاهاً

$I_2 = 1.43$ 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:

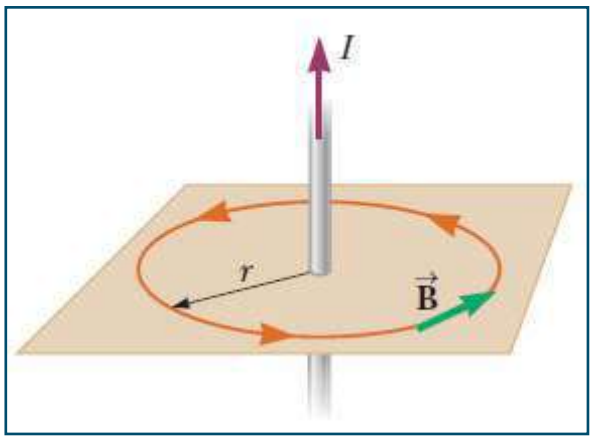
$$\sum \mathbf{B}.\Delta \mathbf{L} = \mu_0 \sum I \qquad (6\text{-}4)$$

حيث:

ΔL: جزء صغير من طول المسار المغلق.

B: شدة المجال المغناطيسي

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

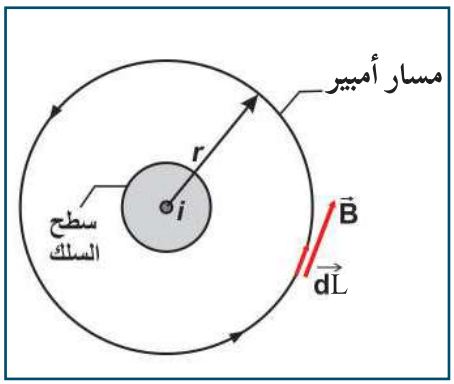


الشكل (6-9)

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.

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(6- 10) فإن θ بينهما تساوي صفراً:

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

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

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

مثال (4):

إذا جُمعت خمسة أسلاك طويلة ومعزولة لتكوين « كيبل» رفيع، وكانت شدة التيارات التي تحملها هي (18 A , -9 A , 12 A , -6 A , 20 A) فما مقدار شدة المجال المغناطيسي عند نقطة تبعد مسافة 10 cm عن مركز الكيبل؟

الحل:

بتطبيق قانون أمبير: حيث أن B و ΔL بنفس الإتجاه في مسار دائري نصف قطره r فإن:

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

$$B \times 2\,\pi r = 4\pi \times 10^{-7}\,(20 + -6 + 12 - 9 + 18)$$

$$B \times 2\,\pi \times 10 \times 10^{-2} = 4\pi \times 10^{-7}\,(35)$$

$$B = 7 \times 10^{-5}\ T$$

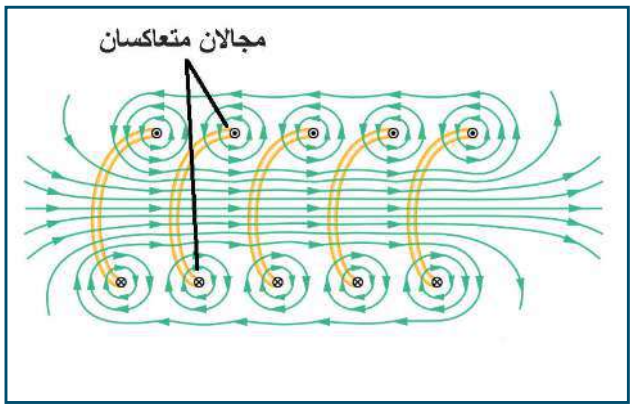
6-6 المجال المغناطيسي لملف حلزوني يسري فيه تيار كهربائي

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.

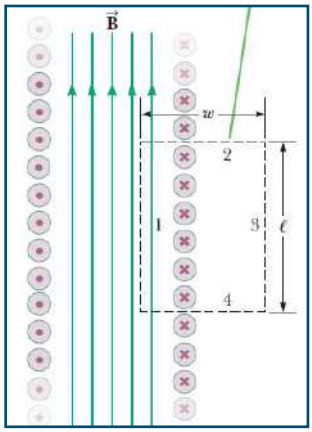


الشكل (6-11)

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؟

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.



الشكل (6-12)

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: $n = N / L$

ابحث في دور التصوير بالرنين المغناطيسي في المجالات الطبية.

مثال (5):

ملف حلزوني عدد لفاته (2000) لفة، وطوله 60 cm، ويحمل تياراً كهربائياً شدته 3 A. احسب شدة المجال المغناطيسي داخل الملف على امتداد محوره.

الحل: _____

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

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 3 \times 2000}{0.6} = 4\pi \times 10^{-3}\ T$$

مثال (6):

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: _____

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

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

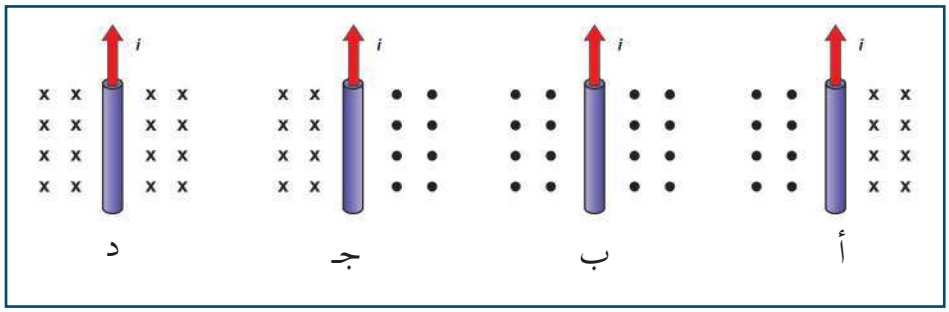
$$N = 10$$

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

أسئلة الفصل:

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة

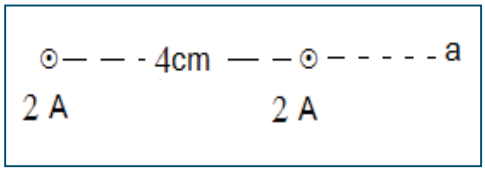
1. أي من الأشكال الآتية يمثل المجال المغناطيسي لسلك مستقيم طويل يسري فيه تيار كهربائي شدته (I)؟



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

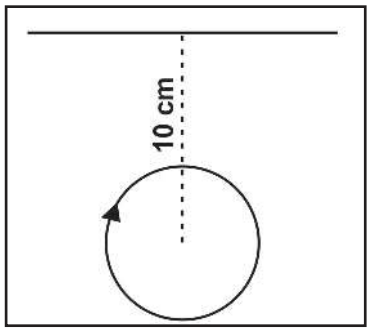
جـ- إنقاص طول الملف د- زيادة شدة التيار المار في الملف

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

6. إن وحدة قياس ثابت النفاذية المغناطيسية μ تكافئ:

أ- $A.T/m$ ب- $T.m.s/C$ جـ- $T.m.A$ د- $T.C.s/m$



7. في الشكل المجاور وضعت حلقة دائرية في مستوى الصفحة نصف قطرها (π cm) ويسري بها تيار شدته (3 A)، فما مقدار واتجاه شدة التيار في السلك اللانهائي الطول الذي يبعد عن مركز الحلقة (10 cm) حتى ينعدم المجال المغناطيسي في مركز الحلقة؟

أ- 15 أمبيراً نحو الناظر ب- 30 أمبيراً نحو الناظر

جـ- 30 أمبيراً نحو (س سالب) د- 15 أمبيراً (س سالب)

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

ب- علل ما يأتي:

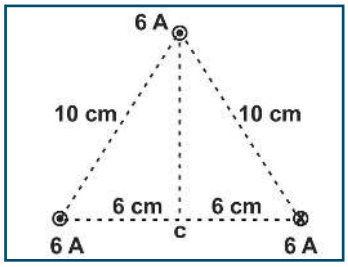
1- خطوط المجال المغناطيسي مقفلة.

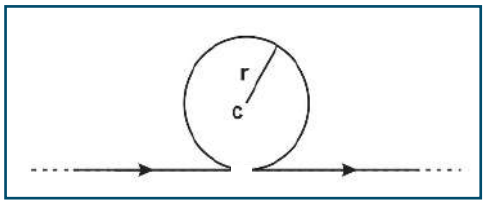
2- خطوط المجال المغناطيسي لا تتقاطع.

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

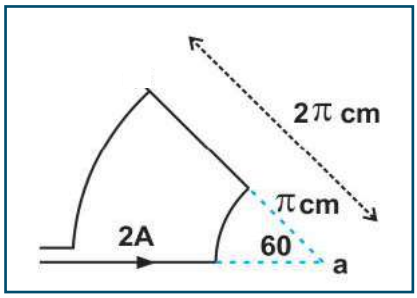
4- شدة المجال المغناطيسي خارج الملف الحلزوني الذي طوله أكبر بكثير من نصف قطره تقترب من الصفر.

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

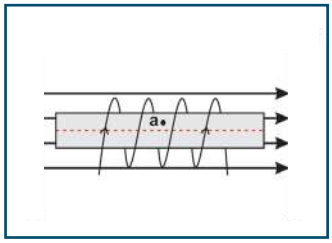




س4: في الشكل المجاور، سلك مستقيم لا نهائي، جُعل جزء منه على شكل عروة دائرية نصف قطرها (5cm)، ومركزها (c)، ويحمل تياراً كهربائياً شدته (10A). أوجد شدة المجال المغناطيسي في مركز العروة (c) مقداراً واتجاهاً.

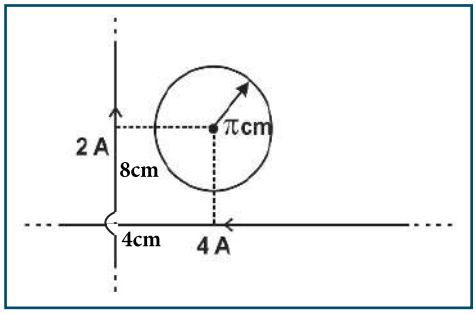


س5: اعتمادا على المعلومات المثبتة على الشكل المجاور. احسب المجال المغناطيسي الكلي عند النقطة a.



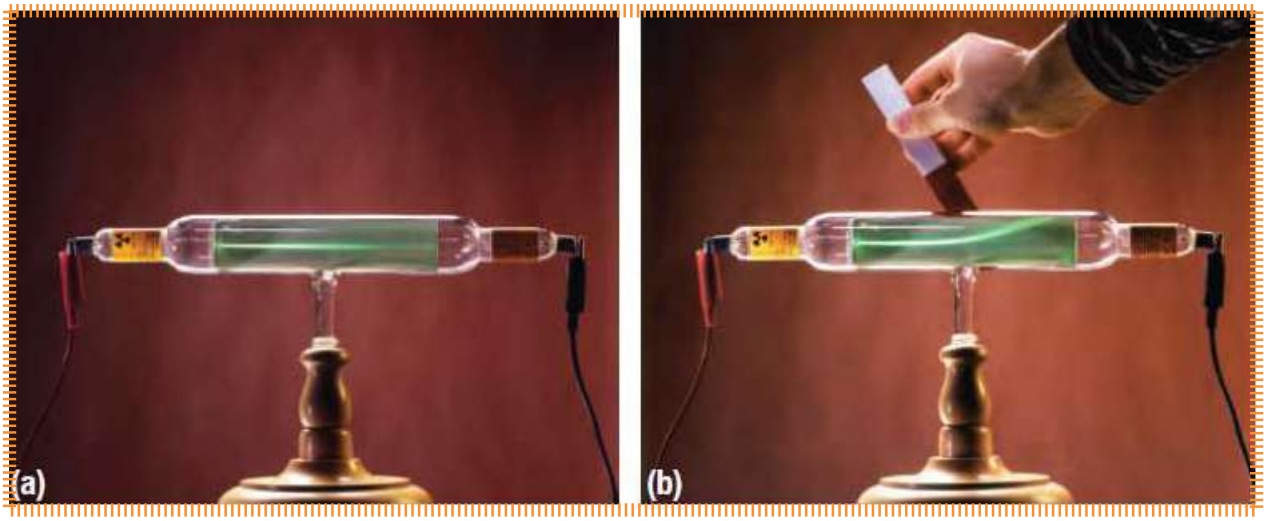
س6: الشكل المجاور يمثل ملفاً حلزونياً عدد لفاته 7 لفات وطوله (3 cm) يمر فيه تيار كهربائي شدته (2 A)، واتجاه التيار فيه مع عقارب الساعة عند النظر إليه من اليمين، غمر في مجال مغناطيسي شدته (3×10^{-4} T) نحو اليمين. احسب محصلة المجال المغناطيسي عند أية نقطة داخل الملف الحلزوني.

س7: 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.



س8: 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



(a) **تسير الإلكترونات في خط مستقيم في قناة المهبط.**

(b) **عند تقريب مغناطيس من الالكترونات في المهبط فإنها تنحرف عن مسارها.**

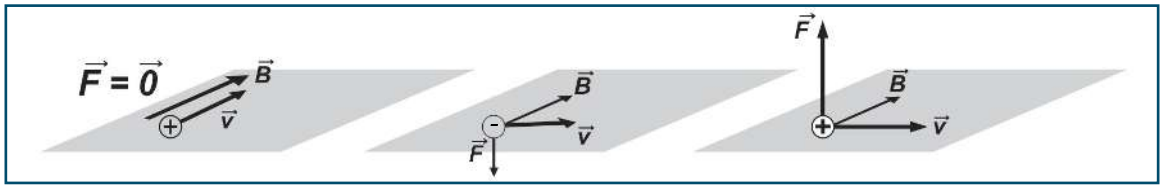
يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الكهرومغناطيسية في حل مسائل تتعلق بالقوة المغناطيسية على شحنة متحركة في المجال المغناطيسي والقوة المتبادلة بين سلكين يحملان تياراً كهربائياً وتفسير بعض التطبيقات على المغناطيسية من خلال تحقيق الآتي:

- التعرف إلى القوة المغناطيسية على كل من: شحنة متحركة وموصل يحمل تياراً كهربائياً.
- حل مسائل على حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم.
- حساب القوة المتبادلة بين سلكين طويلين يحملان تياراً كهربائياً.
- تفسير مبدأ عمل كل من السيكلترون ومنتقي السرعات.

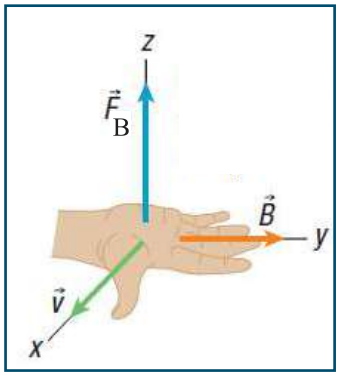
1-7 القوة المغناطيسية المؤثرة في شحنة كهربائية متحركة Mag.Force on Moving Charge

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 sinθ)، 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)



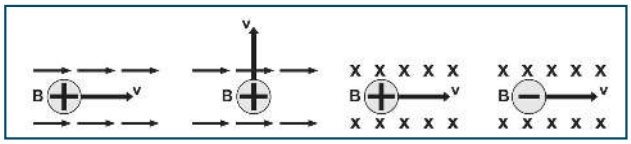
الشكل (7-2)

أما اتجاه القوة فيكون عمودياً دائماً على المستوى الذي يحوي كلاً من (v) و(B) كما في الشكل (7-1). 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:

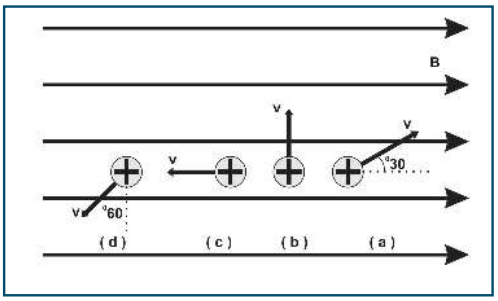


الشكل (7-3)

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

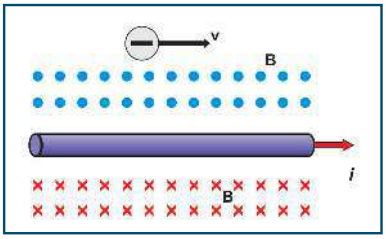
بعيداً عن الناظر $F_b = 8.4 \times 10^{-6} \times 100 \times 0.3 \times \sin 90 = 2.52 \times 10^{-4} N$

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

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.



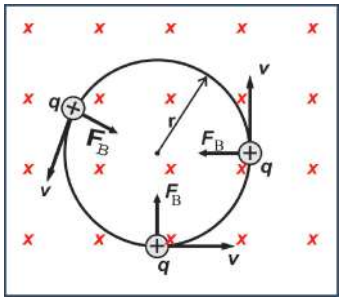
الشكل (7-5)

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

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

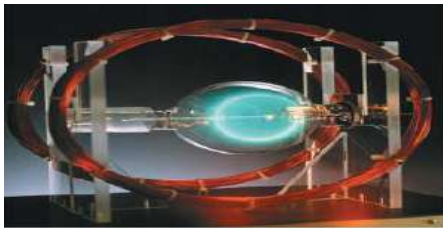
2-7 حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم

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:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi\ qB}{2\pi m}$$

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

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 (3.2×10^{-19} C)، وكتلته (4×10^{-28} kg)، يدور بسرعة ثابتة مقدارها (10^7m/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

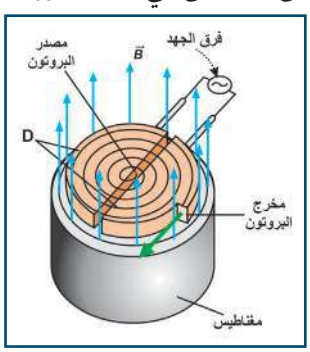
3-7 السيكلترون

يستخدم السيكلترون لتسريع الجسيمات المشحونة لاستخدامها كقذائف توجه نحو نوى الذرات في تجارب النشاط الإشعاعي الصناعي، ولإنتاج النظائر المشعة لغرض التشخيص والعلاج، إذ يحافظ على حركة هذه الجسيمات في مسارات دائرية، وذلك من خلال حركتها في مجال مغناطيسي منتظم.

ويتكون السيكلترون، كما في الشكل (7- 7) من نصفي قرص نحاسي كبير أجوف على شكل حرف (D)، مفرغين من الهواء لتقليل احتكاك الجسيمات المتسارعة مع جزيئات الهواء، تفصل بينهما فجوة، وموضوعين في مجال مغناطيسي منتظم (بين قطبي مغناطيس قوي)، اتجاهه عمودي على نصفي القرص، ويتصلان بمصدر فرق جهد عالي التردد، ويوضع مصدر الأيونات (الجسيمات المشحونة المراد تسريعها) في مركز الفجوة بين النصفين في السيكلترون.

آلية عمله:

1. يخرج الجسيم المشحون بشحنة موجبة من مصدره في الفجوة بين نصفي القرصين، فيتسارع بفعل المجال الكهربائي باتجاه القطب السالب، ويدخل أحد نصفي القرصين بسرعة معينة.
2. عند دخول الجسيم للقرص يتأثر بقوة مغناطيسية qvB تحركه في مسار دائري مكملاً نصف دورة.



الشكل (7-7)

3. وبضبط تردد فرق الجهد المتردد بين نصفي القرص النحاسي ليصبح مساوياً لتردد حركة الجسيم المشحون في المجال المغناطيسي ($\frac{qB}{2\pi m}$) (لماذا؟)، تنعكس القطبية مع وصول الجسيم المشحون للفجوة، فينعكس اتجاه المجال الكهربائي، ويتسارع الجسيم المشحون مرة أخرى، فيدخل القرص الآخر بسرعة أكبر، وبالتالي يزداد نصف قطر دوران الجسيم المشحون تدريجياً كل نصف دورة، إلى أن يصبح مساوياً لنصف قطر الجهاز (r)، وعندها يخرج الجسيم المشحون من السيكلترون بسرعة كبيرة تعطى بالمعادلة:

$$v = \frac{qBr}{m}$$

ابحث في استخدامات البروتونات المتسارعة في علاج الأورام السرطانية.

مثال (4):

يستخدم سيكلترون نصف قطره (3 m) في تسريع جسيم يحمل شحنة موجبة مقدارها (1.6×10^{-19} C)، في مجال مغناطيسي منتظم شدته (0.628 T)، وكان تردد مصدر الجهد المتردد المستخدم في عملية التسريع في السيكلترون هو (4×10^{3} Hz)، أوجد:

A) كتلة الجسيم. B) سرعة الجسيم عند مغادرته السيكلترون.

الحل:

A) $f = \frac{qB}{2\pi m}$

$$4 \times 10^{3} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 0.628}{2 \times 3.14 \times m}$$

$$m = 4 \times 10^{-24} \text{ kg}$$

B) $r = \frac{mv}{qB}$

$$3 = \frac{4 \times 10^{-24} \times v}{1.6 \times 10^{-19} \times 0.628}$$

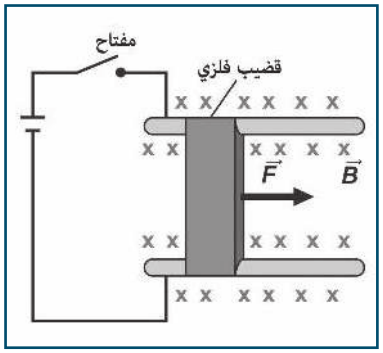
$$v = 7.5 \times 10^{4} \text{ m/s}$$

4-7 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.

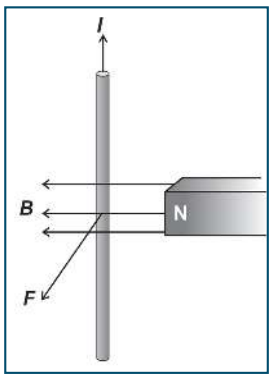
عند وصل طرفي موصل فلزي طوله (L)، ومساحة مقطعه العرضي (A)، والكثافة الحجمية للإلكترونات الحرة فيه (n_e) بمصدر فرق جهد، فإن الشحنات الحرة فيه تتحرك بسرعة ثابتة v (السرعة الانسياقية)، ولما كانت الشحنات المكونة للتيار من نفس النوع (إلكترونات)، فإن:

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

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

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

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



الشكل (7-8)

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 -8)، 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

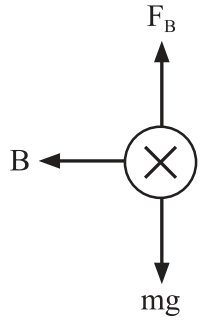
$$F_g = F_B$$

$$mg = ILB \sin 90$$

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

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

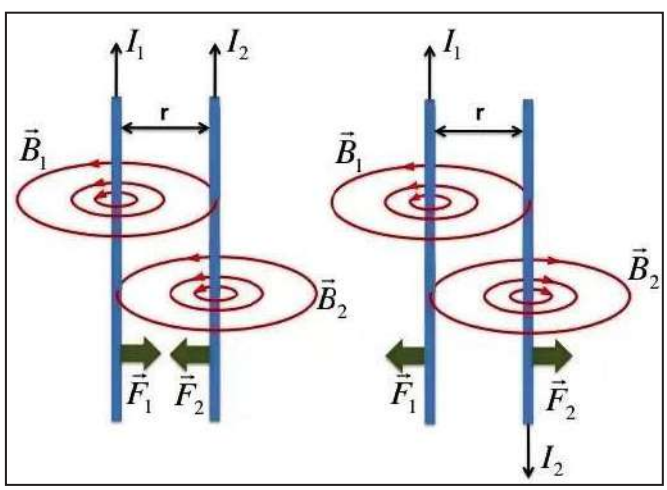
$$B = 0.0932 \text{ T}$$



5-7 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- 9)، 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 (7-9)

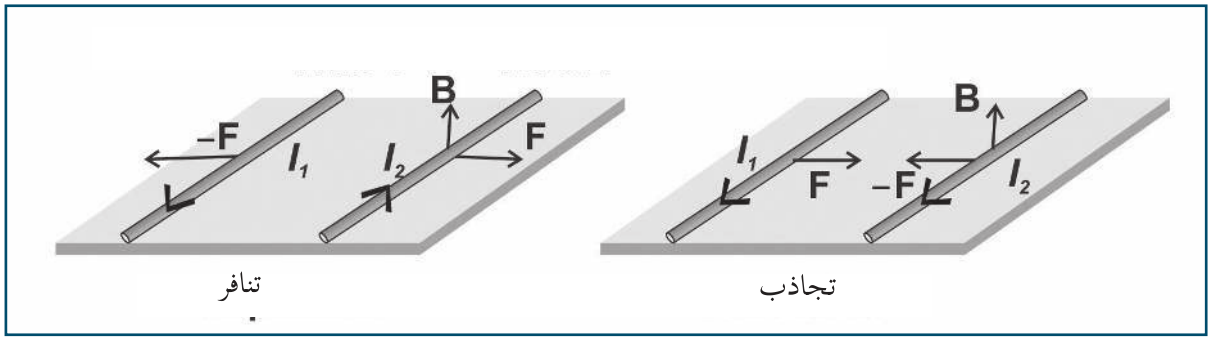
وهذا المجال يؤثر بقوة في السلك الثاني تعطى بالعلاقة:

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

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

وبالمثل يمكن إثبات أن السلك الثاني يؤثر في الأول بقوة مساوية لها في المقدار، ومعاكسة لها في الاتجاه الشكل (7- 10). ونظراً لأن السلكين طويلان جداً، فإن القوة المتبادلة بين السلكين لكل وحدة طول $(\frac{F}{L})$، تعطى بالعلاقة:

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

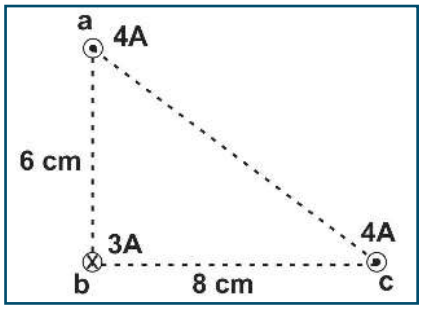


الشكل (7-10): اتجاه القوة المغناطيسية بين سلكين طويلين.

سؤال: عرف الأمبير من العلاقة السابقة.

مثال (6):

يمثل الشكل (7- 11) ثلاثة أسلاك مستقيمة طويلة جداً يسري في كل منها تيار كهربائي. احسب مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في وحدة الطول من السلك (b).



الشكل (7-11)

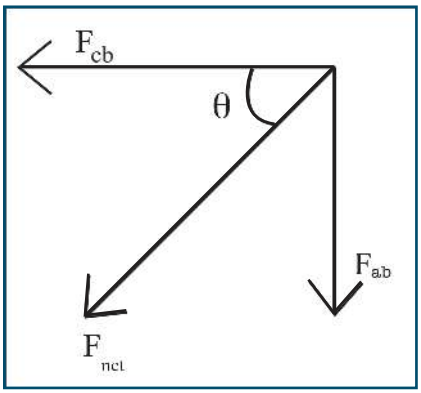
الحل:

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

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

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

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



6-7 قوة لورنتز وحركة الشحنات في المجالين الكهربائي والمغناطيسي

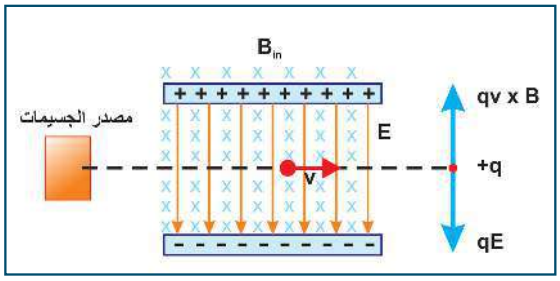
تعتمد كثير من التطبيقات العلمية على التأثير الفيزيائي للمجالين الكهربائي والمغناطيسي على الأجسام المشحونة، حيث إنه عند تعريض جسيم مشحون لكلا المجالين في آن واحد، فإن هذا الجسيم سيقع تحت تأثير القوتين الكهربائية والمغناطيسية، ومحصلة القوتين تعرف باسم قوة لورنتز، أي أن: $\mathbf{F}_{net} = \mathbf{F}_E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

$$\mathbf{F}_{net} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \qquad (7\text{-}8)$$

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.

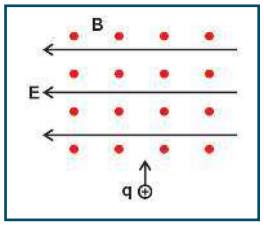
آلية عمله:



الشكل (7- 12)

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 (12-7)، 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: $\mathbf{F}_{net} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \longrightarrow v = \frac{E}{B}$

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:

$F_{net} = 0$

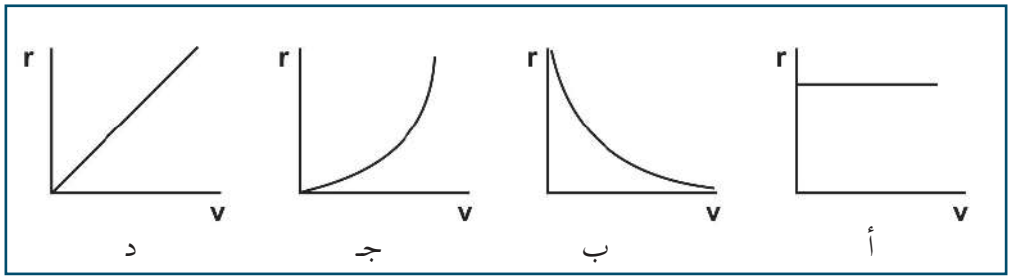
$$v = \frac{E}{B} = \frac{0.1}{4 \times 10^{-4}} = 250 \text{ m/s}$$

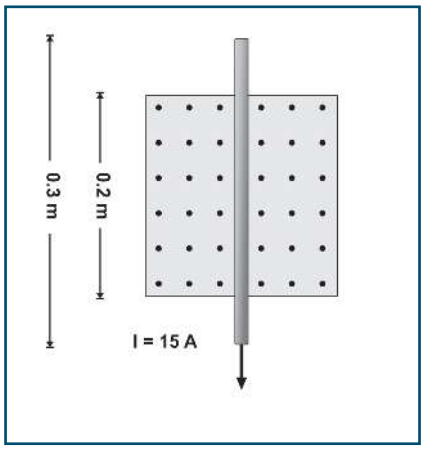
سؤال: ما مقدار شدة المجال الكهربائي اللازمة للحصول على جسيمات مشحونة سرعتها (1.5×10^6 m/s) في جهاز منتقي السرعات، إذا كانت شدة المجال المغناطيسي فيه (2.2×10^{-4} T).

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

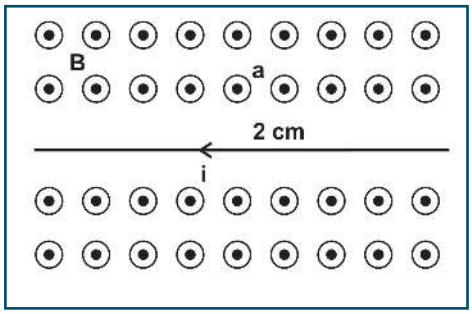
6. إذا كانت القوة المتبادلة بين سلكين لا نهائيين متوازيين يحملان تيارا كهربائيا تساوي 100 N، فكم تصبح القوة المتبادلة بينهما عند مضاعفة البعد بينهما (بوحدة N)؟

أ- 400　　ب- 200　　جـ- 50　　د- 25

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

ب. فسر ما يأتي:

1. تردد حركة الجسيم المشحون يساوي تردد جهد المصدر في السيكلترون.
2. عند قذف إلكترون داخل ملف حلزوني يحمل تياراً كهربائياً باتجاه موازٍ لمحوره فإنه لا ينحرف.

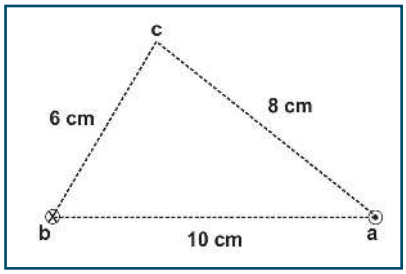


س3: سلك مستقيم طويل جداً يمر فيه تيار كهربائي شدته (4 A) مغمور في مجال مغناطيسي منتظم شدته ($5x10^{-5}$ T) باتجاه الناظر كما في الشكل المجاور. احسب:

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

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

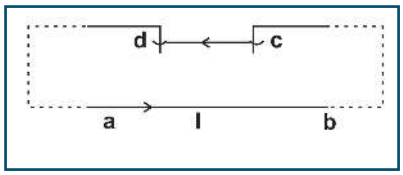
ج- القوة المغناطيسية المؤثرة في إلكترون يتحرك بسرعة (2×10^{5} m/s) لحظة مروره بالنقطة (a) بالاتجاه السيني الموجب.



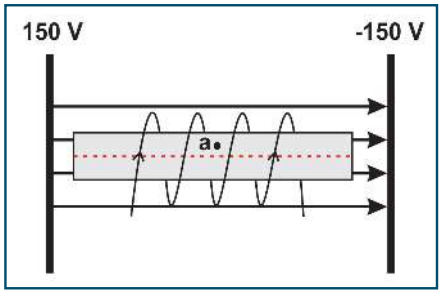
س4: تمثل النقطتان (a، b) في الشكل المجاور مقطعي موصلين مستقيمين طويلين جداً متعامدين مع مستوى الورقة، ويحمل كل منهما تياراً كهربائياً شدته (5 A) باتجاهين متعاكسين. النقطة (c) تقع في مستوى الورقة وتبعد (8 cm) عن النقطة (a)، (6 cm) عن النقطة (b). احسب:

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) موازٍ 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.



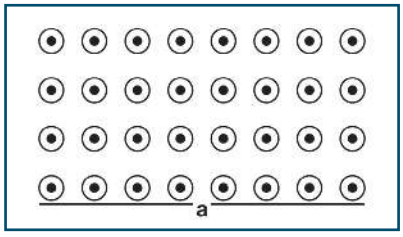
س6: في الشكل المجاور وضع ملف حلزوني طوله 2π cm وعدد لفاته 25 لفة بين لوحين فلزيين متوازيين على بعد 10 cm من بعضهما، عند مرور شحنة -1 ميكروكولوم بالنقطة a بسرعة 2×10^{6} m/s في اتجاه محور الصادات الموجب، كان مقدار قوة لورنتز المؤثرة على الشحنة تساوي 5×10^{-3} N، فما مقدار التيار المار في الملف الحلزوني؟

س7: أدخل جسيمان مشحونان مجالاً مغناطيسياً منتظماً، حيث كتلة الثاني 4 أمثال كتلة الأول، وشحنة الثاني مثلا شحنة الأول، وذلك بتسريعهما بنفس الجهد، فما:

أ- نسبة تردد حركة الجسيم الأول إلى تردد الثاني؟

ب- نصف قطر الأول إلى نصف قطر الثاني؟

س8: 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؟



س9: 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

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الكهرومغناطيسية في حل مسائل تتعلق بالحث المغناطيسي وبعض التطبيقات العملية عليه من خلال تحقيق الآتي:

- تفسير ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي.
- توضيح بعض حالات تولد القوة الدافعة الكهربائية الحثية (التيار الحثي).
- تفسير بعض التطبيقات على الحث الكهرومغناطيسي.
- تصميم مولد كهربائي بسيط.

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؟

نشاط (8-1): التيار الحثي

المواد والأدوات: حلقة من الحديد، وسلك طويل، وجلفانوميتر، ومفتاح، ومصدر جهد كهربائي ثابت.

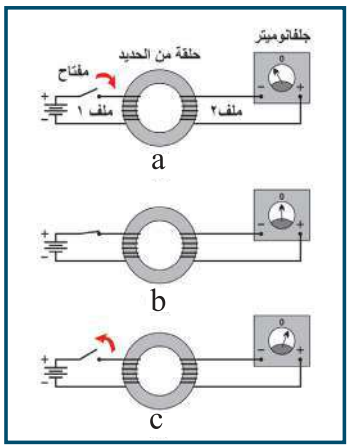
الخطوات:

1- صل الدارة الموضحة في الشكل (8-1/a).

2- أغلق المفتاح وراقب مؤشر الجلفانوميتر. ماذا تلاحظ؟

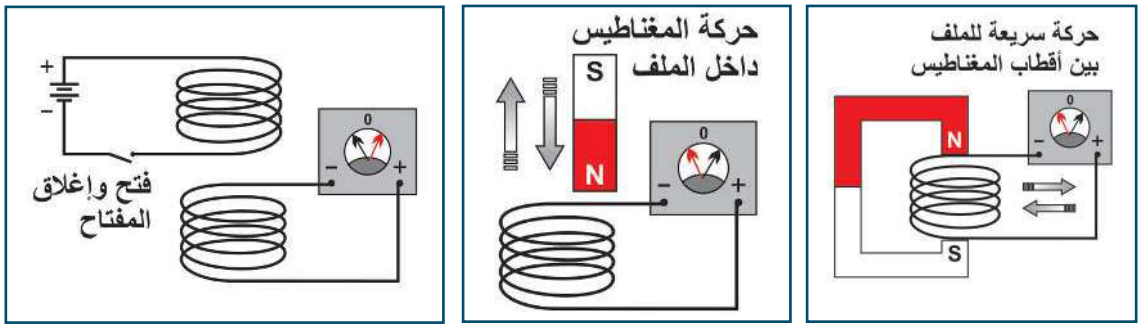
3- اترك المفتاح مغلقاً فترة من الزمن، وراقب مؤشر الجلفانوميتر، كما في الشكل (8-1/b)، ماذا تلاحظ؟

4- افتح المفتاح، وراقب مؤشر الجلفانوميتر، كما في الشكل (8- 1-c)، ماذا تلاحظ؟



الشكل (8- 1)

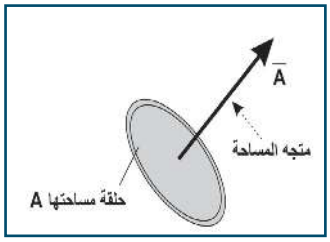
لقد حاول العالم فارادي توليد تيار كهربائي من المجال المغناطيسي، فصمم النشاط المبين في الشكل (8-1)، الذي يحتوي على ملفين: الملف (1) موصول ببطارية ومفتاح كهربائي، والملف (2) موصول بطرفي جلفانوميتر. وتوقع فارادي أن مرور تيارٍ كبيرٍ في الملف (1) يولد مجالاً مغناطيسياً قوياً فيه كافياً لتوليد تيار كهربائي في الملف (2). وكانت النتائج عكس ما توقعه، حيث لم يتولد تيار في الملف (2) عندما وصلت شدة التيار في الملف (1) إلى قيمتها القصوى، ولكنه لاحظ الانحراف الكبير لمؤشر الجلفانوميتر باتجاه ما لحظة إغلاق دارة الملف (1)، وانحراف المؤشر بالاتجاه الآخر عند فتحها. فاستنتج أن تيارا كهربائياً يسري في الجلفانوميتر لحظة غلق الدارة أو فتحها، ومن الملاحظات التي توصل إليها من معرفته لخطوط المجال المغناطيسي، اقتراحه أن التيار يتولد في ملف عندما تتغير شدة المجال المغناطيسي فيه. وهذا يفسر سبب فشل المحاولات السابقة للحصول على تيار كهربائي من المجال المغناطيسي الثابت. وللتحقق من فرضيته قام بتنفيذ الأنشطة المبينة في الشكل (8- 2)

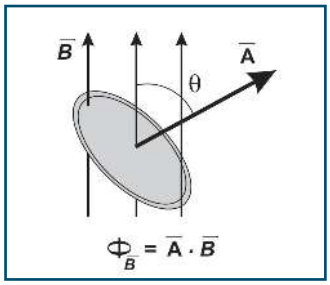


الشكل (8- 2)

ومن النتائج التي توصل إليها 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.

2-8 التدفق المغناطيسي Magnetic Flux





تحقق فارادي 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 فارادي 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 $Wb = T.m^2$

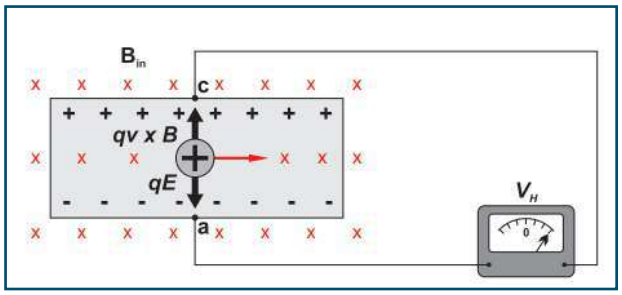
وبناءً على مفهوم التدفق المغناطيسي، يمكن تعميم النتيجة السابقة: يتولد تيار حثي في ملف، إذا حدث تغير في التدفق المغناطيسي خلاله.

سؤال: فسر نتائج التجارب السابقة باستخدام مفهوم التغير في التدفق المغناطيسي.

3-8 القوة الدافعة الكهربائية الحثية وقانون فارادي

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- 3)

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 (8-3). 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 (qE) 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: $F_B = F_E$

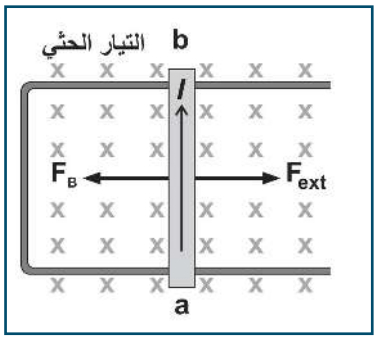
ومنها نجد: $q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B} = qE$

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

وبما أنّ فرق الجهد المتولد بين طرفي الموصل يعطى بالعلاقة: $\mathbf{V = E\,L}$ ، فإنّه بالتعويض عن قيمة **E** في المعادلة (8-2)، 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 (8- 4)

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- 4). 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:

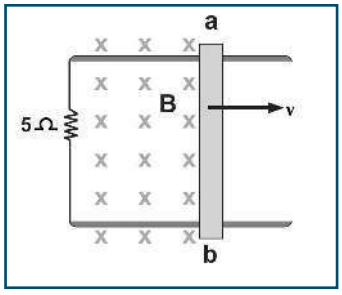
متوسط القوة الدافعة الكهربائية الحثية تتناسب طردياً مع المعدل الزمني للتغير في التدفق المغناطيسي الذي يخترق الدارة الكهربائية.

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

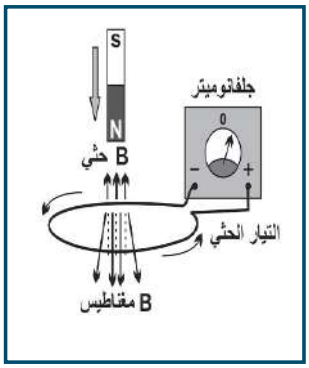
3) $F_{ext} = |F_B| = ILB = 0.072 \times 0.4 \times 0.3 = 0.00864\ N, (+x)$ باتجاه

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(8-5)، 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- 5)

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.

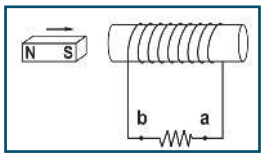
3- حدد اتجاه المجال المغناطيسي الحثي المتولد في الملف الذي يقاوم التغير في التدفق، كما يأتي:

- 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):

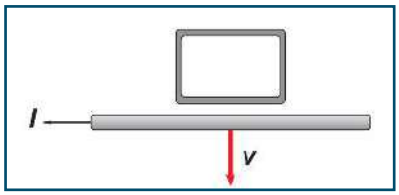
بيّن اتجاه التيار الحثي المتولد في الملف المبين في الشكل (8-6) عند تقريب المغناطيس منه.



الشكل (8-6)

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.



الشكل (8- 7)

سؤال: ما اتجاه التيار الحثي في الحلقة الفلزية المبينة في الشكل (8-7) عند:

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

5-8 الحث الذاتي Self - Induction

تعرفت سابقاً أن المواسع يخزن طاقة وضع كهربائية في المجال الكهربائي بين لوحيه اعتماداً على سعته. وبالمثل، فإن الملف يخزن طاقة وضع كهربائية في المجال المغناطيسي داخله، فما العوامل التي تعتمد عليها مقدرة الملف على تخزين الطاقة داخله؟

تختلف الملفات في مقدرتها على تخزين الطاقة داخلها، ويمكن تمييزها من خلال مفهوم المحاثة، حيث تُعرّف محاثة الملف (أو المحث) **بأنها النسبة بين التدفق المغناطيسي في الملف إلى شدة التيار المار فيه**؛ أي أن:

$$L_{in} = \frac{N\phi}{I} \qquad (8\text{-}6)$$

حيث، N: عدد لفات الملف.

وتعرف ($\mathbf{L_{in}}$) بالمحاثة، أو معامل الحث الذاتي للملف؛ لأن التدفق ناتج عن مرور التيار فيه.

ووحدتها (هنري= ويبر/ أمبير) H =Wb/A ومن أجزائها الملي هنري والميكروهنري. ويُرمز لها في الدارات الكهربائية بالرمز ⌇⌇⌇⌇ ولحساب معامل الحث الذاتي لملف حلزوني:

$$L_{in} = \frac{N\phi}{I} = N\frac{BA}{I} = N\frac{\mu_\circ I\, nA}{I}$$

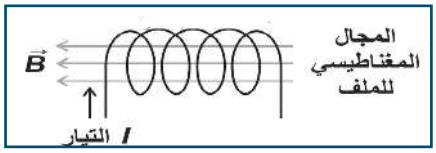
$$L_{in} = \frac{\mu_\circ N^2 A}{L} \qquad (8\text{-}7)$$

أناقش:

أ- بين ما يحدث لمقدار معامل الحث الذاتي لملف حلزوني إذا:

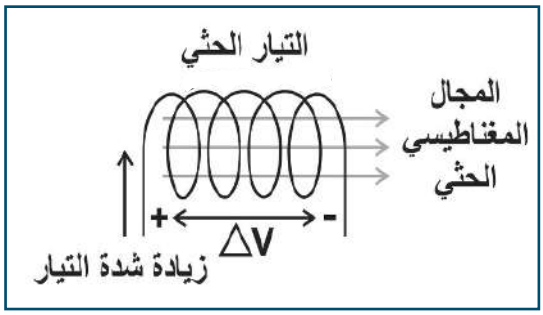
- ضوعف عدد اللفات مع بقاء طوله ثابتاً.
- ضوعف طول الملف إلى مثلي طوله الأصلي مع بقاء عدد اللفات ثابته.
- ضوعفت شدة التيار المار فيه.

ب – فسر: المحاثة كمية فيزيائية موجبة دائما.



الشكل (8-8-a)

يبين الشكل (8-8-a) المجال المغناطيسي الثابت المتولد في ملف حلزوني عندما يمر فيه تيار كهربائي ثابت في المقدار. وعند زيادة شدة التيار في دارة الملف الحلزوني، يزداد التدفق المغناطيسي خلاله باتجاه اليسار نتيجة لزيادة شدة المجال المغناطيسي في الملف، وحسب قانون لنز يتولد في الملف قوة دافعة حثية، وينشأ عنها تيار حثي مجاله المغناطيسي بعكس اتجاه المجال الأصلي (باتجاه اليمين)، ليقاوم الزيادة في التدفق المغناطيسي. وعليه، يكون اتجاه القوة الدافعة الحثية واتجاه التيار الحثي بعكس اتجاه التيار الأصلي في الملف، وهذا يعني أن التيار يزداد تدريجياً مع الزمن حتى يصل إلى قيمته العظمى.



الشكل (8-8-b)

أما عندما تقل شدة التيار الكهربائي في دارة الملف الحلزوني، فيقل التدفق المغناطيسي فيه، فيتولد في الملف الحلزوني قوة دافعة كهربائية حثية ينشأ عنها تيار حثي مجاله المغناطيسي بنفس اتجاه المجال الأصلي ليقاوم النقصان في التدفق. وعليه، يكون اتجاه القوة الدافعة الكهربائية الحثية واتجاه التيار الحثي بنفس اتجاه التيار الأصلي في الملف، وهذا يعني أن التيار يقل تدريجياً مع الزمن؛ حتى يصل إلى قيمته الصغرى. وتُعرف هذه الظاهرة بالحث الذاتي.

إذا تغير التيار بمقدار (ΔI) خلال زمن (Δt)، فإن التدفق (ϕ) يتغير بمقدار ($\Delta\phi$)، لذا فمن المعادلة (8-6) نجد أن:

$$L_{in}\Delta I = N\,\Delta\phi$$

وبقسمة الطرفين على (Δt)، فإن:

$$L_{in}\frac{\Delta I}{\Delta t} = N\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -\varepsilon$$

$$\varepsilon = -L_{in}\frac{\Delta I}{\Delta t} \qquad (8\text{-}8)$$

ويمكن تعريف معامل الحث الذاتي لمحث بأنه: النسبة بين القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في المحث، والمعدل الزمني لتغير التيار فيه.

ويُعرف الهنري بأنه: معامل الحث الذاتي لمحث تتولد فيه قوة دافعة كهربائية حثية مقدارها فولت واحد عندما يتغير فيه التيار بمعدل أمبير واحد في الثانية.

مثال (3):

ملف حلزوني مكون من 300 لفة وطوله 0.25 m ومساحة مقطعه $4\ cm^2$ ، احسب:

1) محاثة الملف.

2) القوة الدافعة الحثية في الملف عندما يتناقص التيار المار في الملف بمعدل 50 A/s .

الحل:

$$n = \frac{N}{L} = \frac{300}{0.25} = 1200\ turn/m$$

$$L_{in} = \mu . n^2\ L\ A$$

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

$$\varepsilon = -L_{in} \frac{\Delta I}{\Delta t} = -1.81 \times 10^{-4} \times -50 = 9.05 \times 10^{-3}\ V$$

سؤال: إذا كانت القوة الدافعة الحثية المتولدة في ملف 0.05V عندما يتزايد تياره بمعدل 0.06 A/s، احسب:

1- محاثة الملف

2- إذا كان الملف حلزونيا ومكوناً من 300 لفة، أوجد التدفق المغناطيسي عبر كل لفة عندما تكون شدة التيار 0.8 A

سؤال: ملف حلزوني طوله 20 cm، ونصف قطره 7 cm، وعدد لفاته 200 لفة يحمل تيار كهربائي 0.01 A إذا علمت أن النفاذية المغناطيسية للفراغ $4\pi \times 10^{-7}\ Wb/A.m$، احسب:

1- التدفق المغناطيسي خلال مقطع الملف.

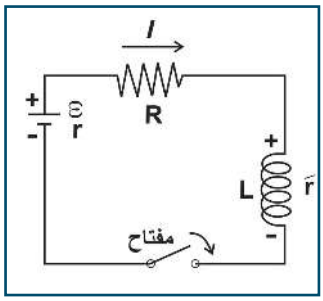
2- محاثة الملف.

3- القوة الدافعة الحثية المتولدة إذا تلاشى التيار خلال ثانيتين.

6-8 دارة كهربائية تحتوي على مقاومة ومحث R L Circuit

يعتبر المحث الذي ينمو فيه التيار مع الزمن، مصدراً لقوة دافعة كهربائية حثية، يكون اتجاهها بحيث تقاوم التيار. أي أن المحث يعمل كمصدر لقوة دافعة كهربائية حثية عكسية، وكنتيجة للقوة العكسية هذه، لا يصل التيار في دارة المحث إلى القيمة النهائية لحظة إغلاق الدارة. ولكنه ينمو بمعدل يعتمد على معامل الحث الذاتي للمحث ومقدار مقاومة الدارة والقوة الدافعة الكهربائية للبطارية.

يبين الشكل (8-9) دارة كهربائية تحتوي على محث معامل حثه الذاتي L ومقاومته ŕ ومقاومة خارجية (R) وبطارية قوتها الدافعة (ε) ومقاومتها الداخلية (r) ومفتاح. وعند إغلاق الدارة الكهربائية يبدأ التيار بالنمو؛ مما يولد قوة دافعة كهربائية حثية عكسية في المحث تعمل على مقاومة نمو التيار. وبتطبيق القانون الثاني لكيرتشوف في هذه الدارة، فإن:



الشكل (8-9)

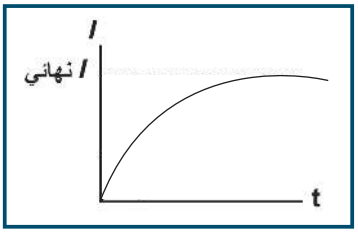
$$\sum \Delta V = 0$$

$$\varepsilon - L_{in} \frac{\Delta I}{\Delta t} - I(R + r + \acute{r}) = 0$$

$$L_{in} \frac{\Delta I}{\Delta t} = \varepsilon - \sum IR$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\varepsilon}{L_{in}} - \frac{\sum IR}{L_{in}} \qquad (8\text{-}9)$$

حيث $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ تمثل المعدل الزمني لنمو التيار في الدارة.

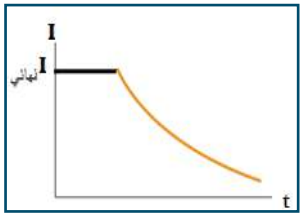


الشكل (8-10)

أناقش:

- ما المعدل الزمني لنمو التيار لحظة إغلاق الدارة؟
- ما القيمة النهائية لشدة التيار الكهربائي المار في الدارة؟
- ما القوة الدافعة الكهربائية الحثية لحظة إغلاق الدارة؟

وبرسم العلاقة البيانية بين شدة التيار والزمن تكون كما في الشكل (8-10)، ويلاحظ منه أن التيار يبدأ نموه من الصفر، ويزداد بسرعة أول الأمر، ثم يأخذ بالنمو ببطء شديد، حتى يصل لقيمته النهائية. كما أن ميل المماس عند أية نقطة على هذا المنحنى يمثل معدل التغير في مقدار التيار ($\frac{\Delta I}{\Delta t}$) عند تلك النقطة.



الشكل (8-11)

أما عند فتح الدارة، فتتولد في المحث قوة دافعة حثية ذاتية تيارها بنفس اتجاه التيار الأصلي ليقاوم النقصان في التيار. وبذلك فإن التيار الأصلي لا يتلاشى فجأة، وإنما يتم ذلك بالتدريج، كما هو مبين في الشكل (8-11)، ومن المعادلة (8- 8) نلاحظ أن:

$$\varepsilon = L_{in} \frac{\Delta I}{\Delta t} + I\,(R + r + \acute{r}\,)$$

وبضرب طرفي المعادلة في (I) نحصل على:

$$I\varepsilon = I\,L_{in} \frac{\Delta I}{\Delta t} + I^2\,(R + r + \acute{r}\,)$$

$$I\varepsilon = I\,L_{in} \frac{\Delta I}{\Delta t} + I^2 \sum R$$

حيث ($I\varepsilon$) القدرة الكهربائية التي تزود بها البطارية أجزاء الدارة، و($I^2 \sum R$) القدرة المستنفدة في المقاومات الكهربائية في الدارة، وأما ($I L_{in} \frac{\Delta I}{\Delta t}$ فيمثل القدرة المختزنة في المحث). أي أن:

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = I L_{in} \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

وبإجراء عملية التكامل للطرفين، فإن الطاقة المختزنة في المحث:

$$E = \frac{1}{2} L_{in} I^2 \qquad (8\text{-}10)$$

ولإيجاد الطاقة العظمى المختزنة في ملف حلزوني عندما يمر فيه تيار كهربائي شدته (I)، فإن:

$$E = \frac{1}{2} L_{in} I^2_{\text{نهائي}}$$

ومن المعادلة (7-8) والمعادلة (5-6) ينتج أن: $E = \frac{B^2 AL}{2\mu_\circ}$

حيث: AL = حجم الملف.

مثال (4):

ملف حلزوني محاثته 53 mH ومقاومته 0.35 Ω وصل ببطارية قوتها الدافعة 12 V احسب الطاقة المختزنة فيه عندما تصل قيمة التيار قيمتها العظمى.

الحل:

$$I_{\text{نهائي}} = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{12}{0.35} = 34.3 \text{ A}$$

$$E = \frac{1}{2} L_{in} I^2_{\text{نهائي}} = \frac{1}{2} \times 53 \times 10^{-3} \times 34.3^2 = 31.16 \text{ J}$$

سؤال: ملف حلزوني طوله 50 cm ونصف قطر مقطعه 4 cm إذا كان بداخله مادة نفاذيتها المغناطيسية مثلا النفاذية المغناطيسية للفراغ، وعدد اللفات في وحدة الأطوال منه 12 turn/cm احسب:

1- محاثة الملف.

2- الطاقة المختزنة في المحث عندما يكون التيار (3 A)

8-7 المولد الكهربائي:

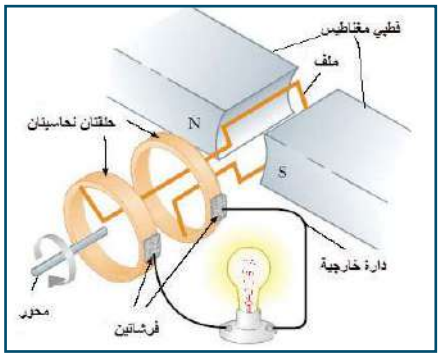
أناقش:

1) ما مصدر إضاءة مصباح دراجتك الهوائية؟

2) ما مصدر الطاقة الكهربائية التي تدير المصانع والأجهزة الكهربائية؟ هل تكفيها الطاقة الكيميائية الموجودة في البطاريات؟

كيف يتولد الجهد المتردد؟

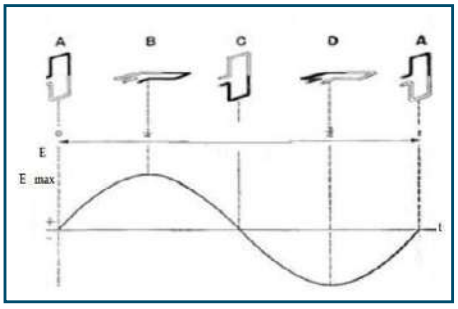
يعدّ المولد الكهربائي من أهم النتائج العملية لقانون فارادي في الحث الكهرومغناطيسي. ويعمل المولد على تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية بوجود المجال المغناطيسي، ويبين الشكل (8-12) الأجزاء الرئيسة لمولد التيار المتردد:



الشكل (8-12)

- ملف فلزي يحتوي على عدد من اللفات، ومستطيل معلق بشكل عمودي بين قطبي المغناطيس، قابل للدوران حول محور مثبت في مركزه.
- حلقتان فلزيتان تتصلان بطرفي الملف، وتدوران معه.
- فرشاتان ثابتتان من الجرافيت أو المعدن تعملان على توصيل ملف المولد بالدارة الخارجية.

آلية عمل المولد الكهربائي:



الشكل (8-13)

عندما يبدأ ملف المولد الدوران يبدأ التدفق المغناطيسي $\Phi = B\ A\ \cos\theta$ الذي يعبر الملف بالتغير تبعا لتغير الزاوية المحصورة بين اتجاه خطوط المجال والعمود على مستوى الملف كما في الشكل (8-13). وهذا التغير في التدفق المغناطيسي يحدث في كل لحظة أثناء دوران الملف، فيعمل على توليد قوة دافعة كهربائية حثية لحظية متغيرة تساوي:

$$\Phi = B\ A\ \cos\theta$$

$$\varepsilon_{ave} = -N\ \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\varepsilon = -N\ \frac{\partial BA\cos\theta}{\partial t} = N\ BA\sin\theta\ \frac{\partial\theta}{\partial t}$$

$$\varepsilon = N\ B\ A\omega\ \sin\theta \qquad (8\text{-}15)$$

حيث إن السرعة الزاوية $\omega = \frac{\partial\theta}{\partial t}$

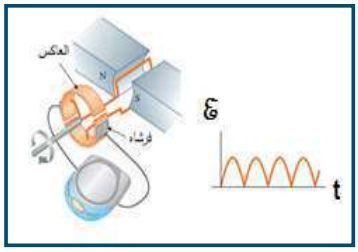
أناقش:

ما القوة الدافعة الكهربائية الحثية العظمى المتولدة في الملف؟
ما الزاوية بين المجال ومستوى الملف عندما تصل القوة الدافعة الكهربائية الحثية إلى قيمتها العظمى؟
ما الزاوية بين المجال ومستوى الملف عندما تصبح القوة الدافعة الكهربائية الحثية صفراً؟
ما الزاوية بين المجال ومستوى الملف عندما تصل القوة الدافعة الكهربائية الحثية إلى نصف قيمتها العظمى؟

وإذا كان طرفا الملف موصولين على التوالي مع عنصر أو جهاز أو مقاومة (R)، فإن التيار الكهربائي المتولد في الدارة يساوي:

$$I = \frac{\varepsilon}{\sum R} \qquad (8\text{-}16)$$

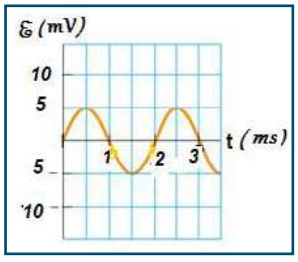
ويلاحظ من المعادلة (15- 8) أن القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف هي اقتران جيبي.
ومما سبق نلاحظ أن القوة الدافعة الكهربائية الحثية (التيار الحثي) المتولدة في الملف تكون متغيرة في القيمة والاتجاه، إذ يتغير الاتجاه كل نصف دورة للملف، ويطلق على هذا التيار اسم التيار المتناوب أو المتردد.



الشكل (8-14)

ولتقويم التيار الكهربائي (توحيد اتجاه التيار في الدارة الخارجية) تستبدل الحلقتان النحاسيتان بنصفي حلقة معزولين، وتسمى العاكس، ويعملان على تغيير اتجاه التيار كل نصف دورة كما في الشكل (8-14). وللحصول على تيار كهربائي شدته ثابتة في المقدار تقريباً، يعدل المولد، بحيث يضم عدة ملفات تحصر بينها زوايا ثابتة صغيرة تدور جميعها.

مثال (5):



الشكل (8-15)

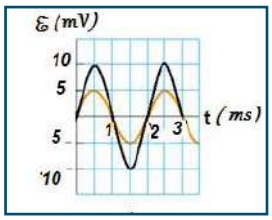
يبين الشكل (8-15) القوة الدافعة الحثية المتولدة في ملف عدد لفاته (N) يدور بسرعة زاوية (ω) حول محور دوران ثابت عمودي على اتجاه المجال. ارسم العلاقة بين القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف والزمن، وذلك عندما:

1) يتضاعف عدد اللفات.
2) تتضاعف السرعة الزاوية (ω).
3) تتضاعف السرعة الزاوية، ويقل عدد اللفات إلى النصف.

الحل:

1) عند مضاعفة عدد اللفات يتضاعف الاتساع، ولا يؤثر في الزمن الدوري كما في الشكل (A).

$$\varepsilon = N\,BA\omega\,\sin\theta$$
$$\varepsilon = (2N)\,BA\omega\,\sin\omega t$$
$$\varepsilon = 2N\,BA\omega\,\sin\omega t = 2\varepsilon_{max}\,\sin\omega t$$



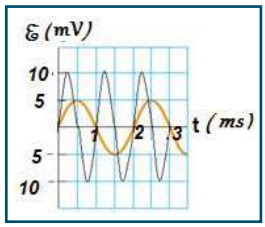
الشكل (A)

2) عند مضاعفة السرعة الزاوية يتضاعف الاتساع، ويقل الزمن الدوري إلى النصف كما في الشكل (B).

$2\omega = 2\pi\ (2f)$ أي أن الزمن الدوري يقل إلى النصف.

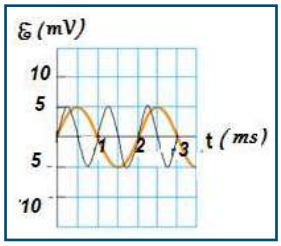
$\varepsilon = N\ BA2\omega \sin \omega t$

$\varepsilon = 2\varepsilon_{max} \sin 2\omega t$



الشكل (B)

3) عند مضاعفة السرعة الزاوية وتقليل عدد اللفات إلى النصف، فإن الاتساع لا يتغير، بينما يقل الزمن الدوري إلى النصف، كما في الشكل (C).



الشكل (C)

$$\varepsilon = \frac{1}{2} N\ BA2\omega \sin 2\omega t$$

أي أن الزمن الدوري يقل إلى النصف (يتضاعف التردد).

$$\varepsilon = N\ BA\omega \sin 2\omega t$$

سؤال: مولد كهربائي ملفه على هيئة مستطيل، أبعاده cm (50، 40)، وعدد لفاته 100 لفة، يدور حول محور متعامد مع مجال مغناطيسي شدته 0.2 T، فإذا كانت القوة الدافعة الكهربائية العظمى المتولدة فيه 200 V، احسب:

1 - السرعة الزاوية للملف.

2 - القوة الدافعة الكهربائية الحثية عندما تكون الزاوية المحصورة بين مستوى الملف والمجال المغناطيسي 60°.

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. أي الآتية يعدّ تطبيقاً على الحث؟

أ- الجلفانوميتر ب- السيكلترون ج- منتقي السرعات د- المولد الكهربائي

3. ملف عدد لفاته 50 لفة، ومقدار التدفق المغناطيسي خلاله 5 mWb، عندما يمر به تيار شدته 2 A، فما محاثة هذا الملف؟

أ- 125 m H ب- 125 H ج- 20 mH د- 20 H

4. ما القدرة الداخلة عبر محث في دارة محث ومقاومة على التوالي، وذلك بعد فترة كافية من إغلاق الدارة؟

أ- صفر ب- أكبر ما يمكن ج- نصف قيمتها العظمى د- ربع قيمتها العظمى

5. عند زيادة معامل الحث الذاتي في دارة محث ومقاومة على التوالي، فأي الآتية صحيحة؟

أ- القيمة النهائية للتيار تقل. ب- القيمة النهائية للتيار تزداد.

ج- معدل نمو التيار يقل. د- معدل نمو التيار يزداد.

6. ما التغير الذي يحدث لكل من القوة الدافعة الكهربائية الحثية والزمن الدوري على الترتيب، عند زيادة سرعة دوران المولد؟

أ- تزداد، يقل ب- تقل، يقل ج- تقل، يزيد د- تزداد، يزداد

س2: وضح المقصود بكل من:

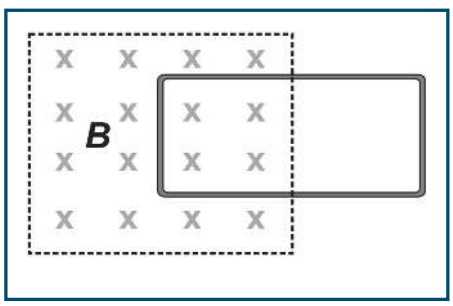
الحث الكهرومغناطيسي، وقاعدة لنز، والهنري.

س3: علل: لا يصل التيار قيمته النهائية لحظة إغلاق دارة محث مقاومة.

س4: في الشكل المجاور حدد اتجاه التيار الحثي في الحلقة:

1- لحظة سحبها لليمين بسرعة ثابته.

2- لحظة ازدياد شدة المجال المغناطيسي.



س5: ملف مستطيل أبعاده 40 cm، 20 cm مكون من 180 لفة، يدور بمعدل 50 rev/s حول محور مواز لطوله في مجال مغناطيسي شدته 0.05 T، إذا بدأ الملف الدوران من موضع كان فيه مستواه عموديا على خطوط المجال أوجد:

أ- السرعة الزاوية للملف.

ب- القوة الدافعة الكهربائية العظمى المتولدة في الملف.

ج- متوسط القوة الدافعة الحثية خلال دوران الملف ربع دورة من الوضع الابتدائي.

س6: ملف معامل الحث الذاتي له 0.1 H، وصل ببطارية قوتها الدافعة 60 V، فإذا كانت مقاومة الدارة 20 Ω، أوجد ما يأتي:

١. القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة لحظة إغلاق الدارة.

٢. معدل نمو التيار لحظة إغلاق الدارة.

٣. القيمة العظمى للتيار في الدارة.

٤. معدل نمو التيار عندما تصبح قيمة التيار ثُلث قيمته العظمى.

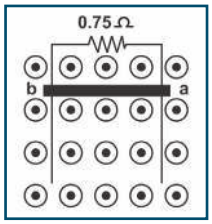
س7: مجال مغناطيسي شدته 0.2 T عمودي على مستوى ملف مكون من 500 لفة مساحة اللفة الواحدة $100\ cm^2$، احسب القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة:

1- عند إخراج الملف من المجال المغناطيسي خلال 0.1s

2- عندما ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي خلال 0.2s

س8: ملف حلزوني به (600) لفة، ومساحة مقطعه ($4 \times 10^{-4}\ m^2$) قلبه من الحديد حيث μ للحديد تساوي $22\pi \times 10^{-4}\ T.m/A$، ومعامل حثه الذاتي (0.50 H)، ويمر به تيار شدته (0.50 A)، أوجد:

- طول الملف.
- متوسط القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف إذا انعدم التيار المار فيه خلال (0.25 s).



س9: 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؟

أسئلة الوحدة

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة

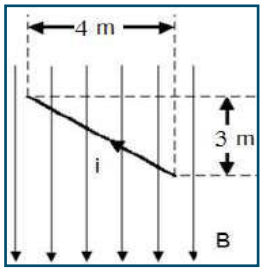
1. إذا تحرك جسيم مشحون عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم فإن جميع ما يلي صحيحاً ما عدا ؟

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) ؟

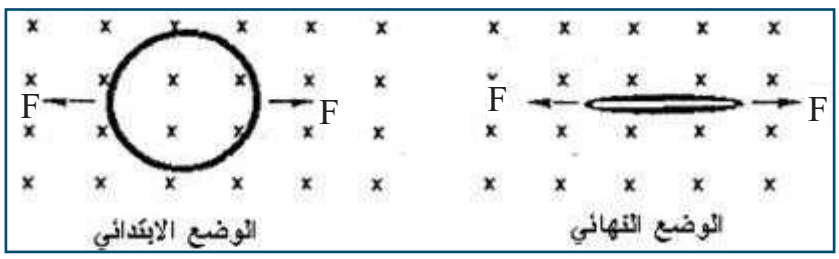
أ- صفر ب- 1.6×10^{4} ج- 4×10^{4} د- 6.3×10^{4}

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. إحدى الكميات الآتية تكون قيمتها العظمى لحظة إغلاق دارة حث ذاتي:

أ- القوة الدافعة الحثية الذاتية ب- التيار الكهربائي

ج- الطاقة المغناطيسية المختزنة في المحث د- التدفق المغناطيسي

10. ما وحدة قياس التدفق المغناطيسي

أ- Wb/m^2 ب- $T.m^2$ ج- $T.m$ د- T/m

11. 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

12. الأثر الذي يحدثه المجال المغناطيسي على الجسيمات المشحونة داخل المسارع النووي:

أ- تسريعها ب- إكسابها طاقة حركية ج- توجيهها د- إبطاؤها

13. 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- ما مبدأ عمل: المولد الكهربائي؟

ب- قارن بين:

- وظيفة المجال الكهربائي في كل من: السيكلترون، ومنتقي السرعات.
- وظيفة المجال المغناطيسي في كل من: السيكلترون، ومنتقي السرعات.

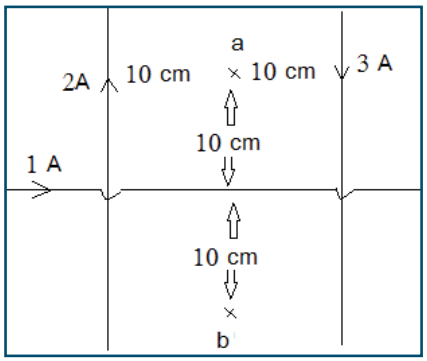
س3: أ- علل ما يأتي:

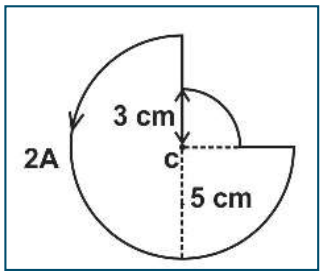
1- لا تنحرف الجسيمات المشحونة عند دخولها منتقي السرعات بسرعة $v = \frac{E}{B}$

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

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

س4: احسب مقدار واتجاه شدة المجال المغناطيسي في النقطتين (a)، (b).



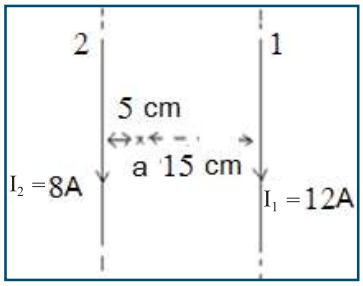


س5: يمثل الشكل المجاور سلكاً يسري فيه تيار كهربائي شدته (2 A) في الاتجاه المبين. ما شدة المجال المغناطيسي عند النقطة (c) المبينة في الشكل؟

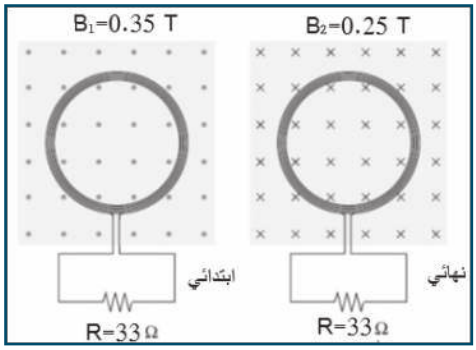
س6: يتسارع بروتون من السكون خلال فرق جهد مقداره (1000 V)، ثم يدخل مجالاً مغناطيسياً شدته 0.04 T بشكل عمودي على خطوط المجال المغناطيسي. إذا علمت أن كتلة البروتون (1.67×10^{-27} kg)، وشحنته 1.6×10^{-19} C أوجد:

أ- نصف قطر مسار البروتون.
ب- الزمن الدوري له.
ج- تردد حركة البروتون.
د- التردد الزاوي لحركة البروتون.

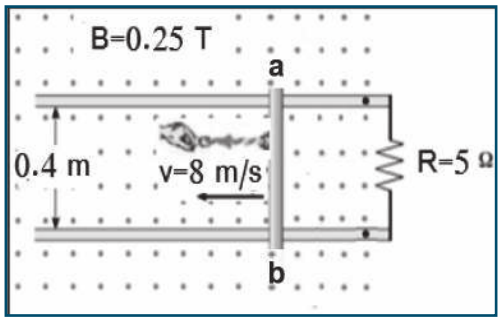
س7: قذف جسيم مشحون عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم، فاتخذ مساراً دائرياً. أجب عما يأتي:
1) فسر اتخاذ الجسيم مساراً دائرياً.
2) هل يبذل المجال المغناطيسي شغلاً على الجسيم المشحون؟ فسر إجابتك.
3) ماذا يحدث لنصف قطر المسار الدائري في الحالتين الآتيتين:
أ- إذا أصبحت سرعة الجسيم المشحون مثلي ما كانت عليه.
ب- إذا أصبحت شدة المجال المغناطيسي مثلي ما كانت عليه.



س8: 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.



س9: 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؟

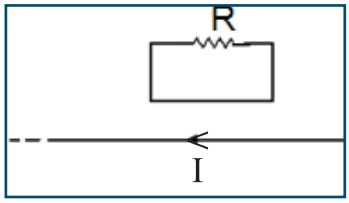


س10: في الشكل المجاور، تسحب قوة خارجية موصلاً a b طوله (0.4 m) بسرعة ثابتة مقدارها (8 m/s) باتجاه محور السينات السالب، عمودياً على خطوط مجال مغناطيسي منتظم شدته (0.25 T) يتجه نحو الناظر. أجب عما يأتي:

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؟



س11: بين اتجاه التيار الحثي المار في المقاومة (R) المبينة في الشكل المجاور عندما:

أ- ينعدم التيار فجأةً في السلك.

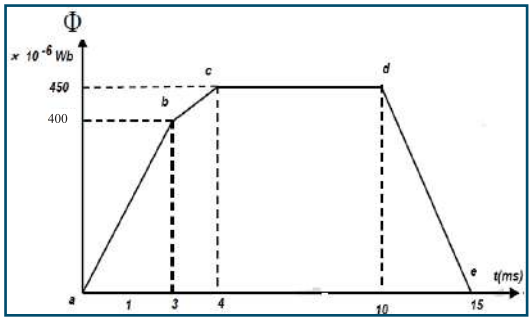
ب- يزداد التيار تدريجياً في السلك.

ج- عندما تبتعد الحلقة عن السلك لأعلى بسرعة ثابتة.

س12: ملف حلزوني معامل حثه الذاتي (0.25 H). ما مقدار معامل حثه الذاتي إذا:

أ- ضغط الملف ليقل طوله إلى ثلث ما كان عليه مع ثبات عدد اللفات.

ب- أنقص عدد لفاته إلى الربع دون تغيير طوله.



س13: يتغير التدفق المغناطيسي خلال ملف مكون من 1000 لفة حسب المنحنى في الشكل المجاور، أوجد:

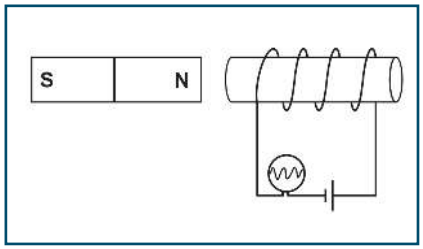
أ. القوة الدافعة الحثية المتوسطة في كل مرحلة من مراحل تغير التدفق.

ب. مثل بيانيا العلاقة ين القوة الدافعة الحثية والزمن.

س14: ملف حلزوني طوله 10 cm مكون من 800 لفة مساحة مقطعه $20\ cm^2$ يحمل تيار 3 A إذا تلاشى تياره خلال 0.4 s، احسب:

أ- محاثة الملف.

ب- متوسط القوة الدافعة الحثية المتولدة.



س15: 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.

س16: ملف عدد لفاته 100 لفة وأكبر تدفق مغناطيسي يخترقه 0.01 Wb، بدأ الدوران في مجال مغناطيسي منتظم من وضع كان فيه المجال المغناطيسي عمودياً على مستوى الملف، إلى وضع أصبح فيه موازياً لمستوى الملف خلال وضعين متتاليين، فكان متوسط القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف 200 V، فما القوة الدافعة الكهربائية الحثية العظمى؟

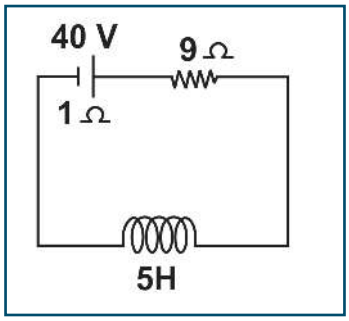
س17: بالاعتماد على البيانات على الشكل، وعندما تكون القوة الدافعة الحثية في الدارة مساوية 25% من قيمتها العظمى، احسب عند تلك اللحظة:

أ- معدل نمو التيار

ب- الطاقة المختزنة في المحث

ج- فرق الجهد بين طرفي المحث

د- القدرة المختزنة في المحث



س18: مولد كهربائي عدد لفات ملفه 50 لفة، ومتوسط مساحة اللفة الواحدة $0.04\ m^2$ يدور حول محور متعامد مع مجال مغناطيسي منتظم، حيث زمن الدورة الواحدة 0.1s فتولد به قوة دافعة حثية عظمى $30\ \pi$ V،

أولاً- احسب:

أ. المجال المغناطيسي المؤثر.

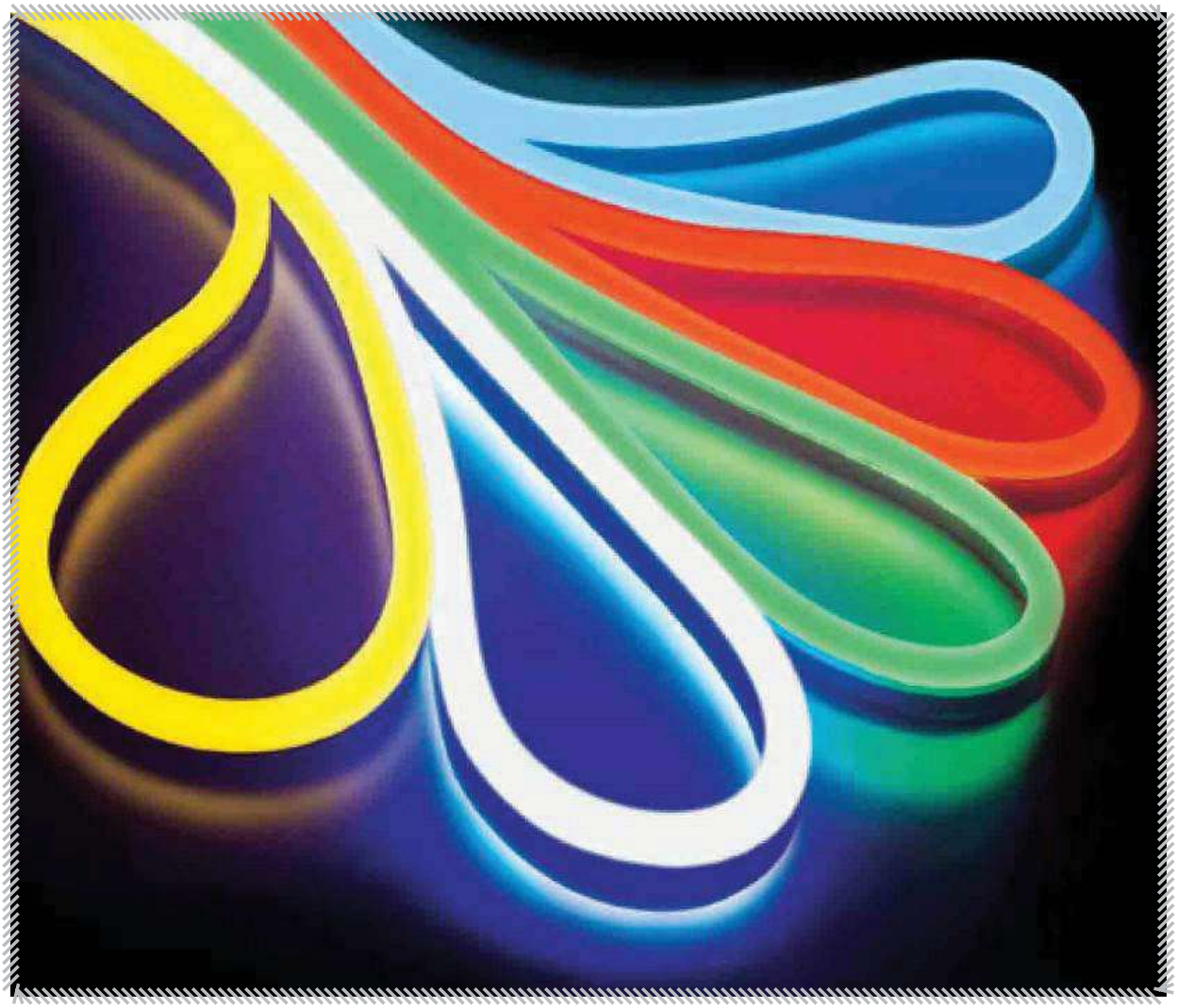
ب. القوة الدافعة المتولدة في الملف بعد 0.0125 s من بدء الحركة حيث كان مستواه معامد للمجال.

ثانياً- ارسم خطاً بيانياً يوضح تغيرات القوة الدافعة المتولدة في الملف مع الزمن خلال دورة واحدة للملف.

س19: اقرأ كل عبارة من الآتية ثم أضع إشارة (✓) في المكان المناسب:

الرقم	العبارة	دائماً	أحياناً	نادراً
١	أستطيع تعريف المفاهيم الجديدة التي تعلمتها في هذه الوحدة.			
٢	أستطيع حل المسائل بسهولة في هذه الوحدة.			
٣	أستطيع تفسير الظواهر والتطبيقات في هذه الوحدة.			

الوحدة الرابعة: الفيزياء الحديثة Modern Physics



نشاهد توهج لوحات الإعلانات بألوان مختلفة على أبواب المحلات التجارية وعلى الطرقات، فما السبب في ذلك؟

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذه الوحدة والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الفيزياء الحديثة في حل مسائل تتعلق بنظرية الكم وبنية النواة والإشعاع النووي من خلال تحقيق الآتي:

- تفسير بعض الظواهر الفيزيائية التي عجزت الفيزياء الكلاسيكية عن تفسيرها.
- تفسير النماذج الذرية وتركيب الذرة.
- دراسة ظاهرة النشاط الإشعاعي وأنواع الإشعاعات.
- تقدير جهود العلماء في اكتشاف القوانين الفيزيائية التي تفسر بعض الظواهر.

نظرية الكم Quantum Theory

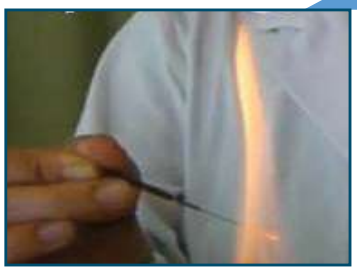
إن الفيزياء الكلاسيكية التي درست حركة الأجسام، ووضعت النظريات والقوانين التي سمحت لها بتفسير كثير من الظواهر الطبيعية من حركة الأجسام المنتظمة والمتسارعة إلى حركة الكواكب وغيرها؛ من الظواهر التي كانت معروفة في ذلك الوقت، ومع بداية القرن العشرين ظهر عجز الفيزياء الكلاسيكية عن تفسير بعض الظواهر مثل: إشعاع الجسم الأسود، والظاهرة الكهروضوئية، وانبعاث خطوط الطيف وغيرها؛ مما دفع العلماء إلى التفكير بطرق جديدة في تفسير هذه الظواهر، التي أسهمت في بناء الفيزياء الحديثة التي تعالج العالم المجهري. فمن هم العلماء الذين وضعوا هذه النظريات؟ وما أهم النظريات في الفيزياء الحديثة؟ وما الأساس الذي تم الاعتماد عليه في هذه النظريات؟

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الفيزياء الحديثة ونظرية الكم في حل مسائل متعلقة في ظاهرة إشعاع الجسم الأسود وظاهرة التأثير الكهروضوئي وبعض التطبيقات العملية عليه من خلال تحقيق الآتي:

- التعرف إلى نظرية الكم.
- تفسير الظاهرة الكهروضوئية.
- دراسة تطور النماذج الذرية.
- تفسير الأطياف الذرية بدلالة نموذج بور لذرة الهيدروجين.
- توضيح المقصود بمبدأ اللايقين.
- حل مسائل متنوعة على القوانين والعلاقات الرياضية.

1-9 إشعاع الجسم الأسود Black Body Radiation

نشاط (9-1): ألوان التوهج



المواد والأدوات: موقد، وإبرة فلزية رفيعة، وملقط خشبي.

الخطوات: قم بتسخين الإبرة على اللهب، ولاحظ التدرج في ألوان التوهج الصادر عنها مع الاستمرار بعملية التسخين.

- وضح تسلسل ألوان التوهج الصادرة عن الإبرة.
- ما سبب اختلاف لون التوهج؟

أناقش:

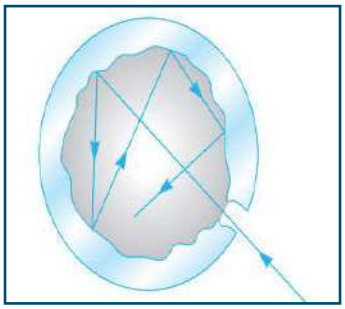
- ما المقصود بالطبيعة المزدوجة للضوء؟
- رتب ألوان الطيف المرئي تنازلياً من حيث طول الموجة؟
- لماذا يظهر الجسم أسود؟

الشكل (9-1)

نشاهد اختلاف التوهج في كثير من التطبيقات الحياتية مثل ماكينة اللحام، كما في الشكل (9-1).

من المعروف أن الجسم الساخن يصدر حرارة، وينبعث منه أشعة كهرومغناطيسية تسمى الإشعاع الحراري، وأن شدة الإشعاع الحراري للجسم الساخن تعتمد على درجة حرارته وعلى خصائص سطحه، كما أن الجسم الساخن يتخذ لوناً معيناً وفقاً لدرجة حرارته، مثل الضوء المنبعث من مصابيح التنجستن.

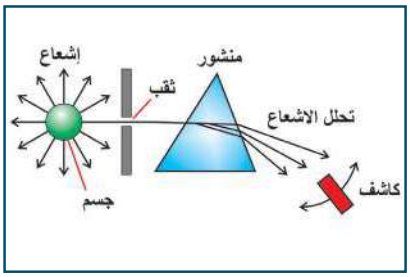
ولتسهيل دراسته قام العالم كيرتشوف بافتراض وجود جسم أسود مثالي يمتص جميع الأشعة الساقطة عليه عندما يكون بارداً، ويشع الضوء عندما يسخن على شكل طيف متصل من الأطوال الموجية أو الترددات المختلفة، ويمكن تمثيل الجسم الأسود المثالي بصندوق مجوف له ثقب صغير، فإذا سقط شعاع إلى داخل الصندوق من خلال الثقب، فإن الشعاع ينعكس عدة انعكاسات داخلية على جدران الصندوق الداخلي؛ حتى يتم امتصاصه بالكامل كما في الشكل (9-2).



الشكل (9-2)

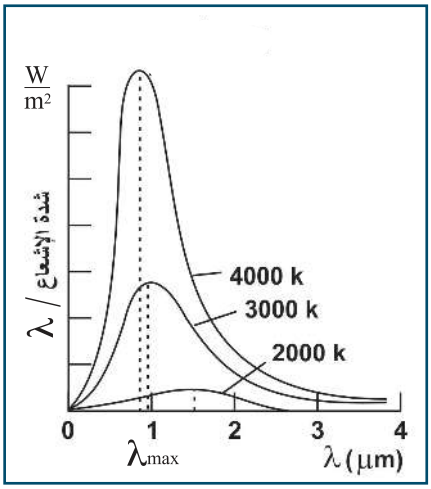
لا شك أن ظاهرة إشعاع الجسم الأسود نلاحظها في حياتنا اليومية، فعند تسخين جسم ما مثل الحديد نلاحظ أن الجسم عندما ترتفع حرارته يبدأ في إشعاع لون قريب من اللون الأحمر، عندها تكون درجة حرارة الجسم تقارب 700 درجة سلسيوس، ثم بزيادة الحرارة يتحول إلى اللون البرتقالي، وهكذا حتى يصل إلى اللون الأبيض، الذي يدل على أن الجسم وصل إلى درجة حرارة 1200 درجة سلسيوس، كما في فتيلة المصباح الكهربائي التي تعطي الضوء الأبيض.

إن طبيعة الإشعاع الصادر عن الجسم الأسود المثالي يعتمد فقط على درجة حرارة الجسم، وليس على المادة المصنوع منها جدران التجويف.
لدراسة الإشعاع المنبعث من الجسم الأسود عند درجة حرارة معينة نستخدم كاشفاً يقيس علاقة شدة الإشعاع بالطول الموجي، كما في الشكل (9-3)،



الشكل (9-3)

ومن ثم نرسم النتائج بيانياً فنحصل على المنحنى الموضح بالشكل (9-4)، الذي يوضح كيفية تغير شدة إشعاع الجسم الأسود مع درجة الحرارة والطول الموجي، وذلك عند ثلاث درجات حرارة مختلفة.
ومن نتائج التجارب العملية وجد أن الإشعاع المنبعث من الجسم الأسود له طيف متصل، واعتماداً على الرسم البياني يلاحظ ما يأتي:
1- أن هناك توزيعاً معيناً لشدة الإشعاع المنبعث من الجسم الأسود كاقتران في الطول الموجي، حيث تؤول شدة الإشعاع الطيفية إلى الصفر في منطقة الأمواج القصيرة والأمواج الطويلة.
2- ينزاح طول موجة الإشعاع القصوى نحو اليسار باتجاه الطول الموجي الأقصر، وذلك بارتفاع درجة الحرارة.



الشكل (9-4)

وقد توصل العالم فين إلى قانون سمي باسمه (قانون فين للإزاحة) الذي ينص على: (يتناسب الطول الموجي لشدة الإشعاع القصوى عكسياً مع درجة الحرارة المطلقة) أي بازدياد درجة الحرارة تنزاح القمة نحو الأطوال الموجية القصيرة، وتفسر هذه العلاقة اختلاف لون الوهج الذي ينبعث من الجسم باختلاف درجة حرارته.

$$\lambda_{max}\, T = 2.898\times10^{-3}\ m.K^{\circ} \qquad (9\text{-}1)$$

حيث : λ_{max}: الطول الموجي الذي تكون عنده شدة الإشعاع أكبر ما يمكن، وتقاس بالمتر.
T: درجة الحرارة المطلقة بوحدة كلفن

سؤال: أي الإشعاعات الشمسية تسبب حرقاً أكثر لجلد الإنسان؟ (الأشعة تحت الحمراء، أم الضوء المرئي، أم الأشعة فوق البنفسجية). ولماذا؟

3- تزداد القيمة القصوى للإشعاع المنبعث بزيادة درجة الحرارة.
وقد تم توضيح هذا التأثير بوساطة **قانون ستيفان- بولتزمان**

$$I = \sigma\, eT^{4} \qquad (9\text{-}2)$$

حيث I: شدة الإشعاع هي الطاقة الكلية المشعة من المتر المربع الواحد من سطح الجسم في الثانية الواحدة.

$$I = \frac{\text{معدل طاقة الإشعاع}}{\text{المساحة}}$$

$$I = \frac{p}{A} \qquad (9\text{-}3)$$

وتقاس شدة الإشعاع بوحدة W/m^2

σ: ثابت ستيفان بولتزمان ويساوي $5.670 \times 10^{-8}\ W/m^2\ K^4$

e: ثابت إشعاعية السطح حيث قيمة e تتغير بين الصفر والواحد الصحيح اعتماداً على خواص سطح الجسم، وتكون للسطوح الخشنة أكبر منها للسطوح الملساء، وقيمة e للجسم الأسود المثالي =1.

مثال (1):

جسم أسود مثالي درجة حرارة سطحه 27°C، فما:

1) طول موجة الإشعاع القصوى؟

2) شدة إشعاع الجسم الأسود؟

3) معدل الطاقة المنبعثة من $2m^2$؟

الحل:

1) $\lambda_{max}\, T = 2.898 \times 10^{-3}$

$\lambda_{max}\,(27 + 273) = 2.898 \times 10^{-3}$

$\lambda_{max} = 9.66 \times 10^{-6} m$

2) $I = \sigma\, eT^4$

$I = 5.670 \times 10^{-8}\,(1)\,300^4$

$I = 459.27\ W/m^2$

3) $I = \frac{p}{A}$

$459.27 = \frac{p}{2}$

معدل طاقة الإشعاع $= 918.54\ W$

ميزان حرارة رقمي يعتمد على قانون ستيفان - بولتزمان في تحديد درجة حرارة الأجسام.

a-1-9 الفيزياء الكلاسيكية وإشعاع الجسم الأسود
Classical Physics and Blackbody Radiation

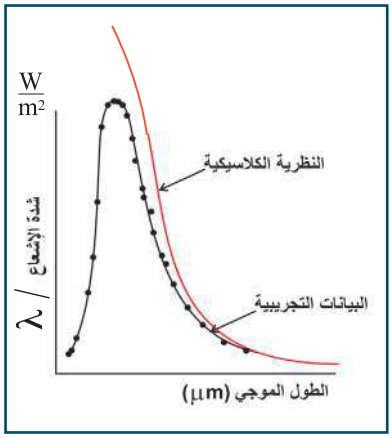
كيف فسرت الفيزياء الكلاسيكية ظاهرة إشعاع الجسم الأسود؟ وهل نجحت في ذلك؟

لقد حاول العلماء تفسير النتائج التجريبية التي نتجت عن دراسة إشعاع الجسم الأسود باستخدام النظرية الموجية الكلاسيكية التي طورها العالم ماكسويل، التي تَعدّ أن الضوء عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية، وأثبتت نجاحها في كثير من الظواهر، وقد قام العالمان رايلي وجينز استناداً إلى نظرية ماكسويل بوضع نظرية لتفسير ظاهرة إشعاع الجسم الأسود، وافترضا أن الجسم الأسود مكون من عدد كبير من المتذبذبات المشحونة (الجزيئات المهتزة) التي تتحرك حركة توافقية بسيطة مطلقة أشعة كهرومغناطيسية أثناء حركتها،

وأن طاقة المتذبذبات المشحونة، التي هي سبب انبعاث الإشعاع من المادة، مسموح لها أن تأخذ أية قيمة، وبذلك يكون الإشعاع المنبعث أو الممتص سيلا مستمرا ومتصلا، وأن التوزيع الطيفي لإشعاع الجسم الأسود يكون على الصورة:

$$I_{\lambda} = \text{constant}\ \frac{T}{\lambda^4}$$

سؤال: ما وحدة الثابت في قانون رايلي وجينز؟



الشكل (9-5)

حيث تربط العلاقة بين شدة الإشعاع والطول الموجي، وتنص على أن: شدة الإشعاع المنبعث لكل وحدة طول موجي تتناسب طردياً مع درجة الحرارة المطلقة، وعكسياً مع القوة الرابعة للطول الموجي.

من خلال الشكل (9-5) يمكن المقارنة بين النتائج العملية لإشعاع الجسم الأسود والنتائج النظرية، فعند الأطوال الموجية الطويلة يكون قانون رايلي وجينز على اتفاق مع النتائج العملية، ولكن عند الأطوال الموجية القصيرة يتضح عدم الاتفاق، فعندما تقترب λ (الطول الموجي) من الصفر فإن شدة الإشعاع ستقترب من اللانهاية، وهذا يناقض النتائج العملية التي تبين أنه عندما تقترب λ (الطول الموجي) من الصفر، فإن شدة الإشعاع تقترب من الصفر أيضا، هذا التناقض بين النتائج النظرية والعملية سمي كارثة الأشعة فوق البنفسجية؛ لأنها تقع في منطقة الأمواج القصيرة.

b-1-9 نظرية الكم Quantum Theory

سؤال: كيف فسر بلانك كارثة الأشعة فوق البنفسجية؟

في عام 1900 م تمكن بلانك من تفسير منحنى إشعاع الجسم الأسود، فقد افترض بلانك أن إشعاع الجسم الأسود ناتج عن متذبذبات كهربائية، وتجويف الجسم الأسود يتكون من عدد كبير من المتذبذبات التي تتذبذب بترددات مختلفة، وهذه المتذبذبات تمتلك قيماً محددة من الطاقة، تعتمد على التردد، وطاقتها تحسب من العلاقة:

$$E = n\ h\ f \qquad (9\text{-}4)$$

حيث E: طاقة الكمة، وتقاس بالجول (J)، وغالبا ما تستخدم وحدة الإلكترون فولت (eV) لحساب طاقة الكمة حيث $1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$

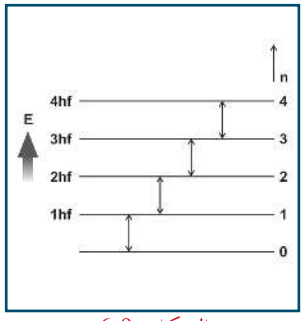
n: عدد صحيح موجب يعرف بالعدد الكمي (Quantum number) $n = 1,2,3,\ldots\ldots$

h: مقدار ثابت، ويعرف بثابت بلانك، وتم التوصل إلى قيمته من خلال التجارب العملية، ويساوي $6.626 \times 10^{-34}\ J.s$

f: تردد الجسم المهتز، ويقاس بوحدة الهيرتز (Hz)

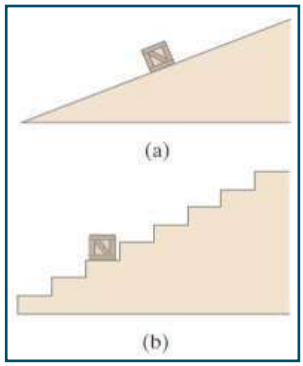
كما افترض أن المتذبذبات تبعث أو تمتص الطاقة فقط، عندما تنتقل من مستوى طاقة مكماة إلى أخرى، ومقدار الطاقة يساوي مقداراً محدداً، وهو الفرق بين طاقة المستويين، فإذا كان الانتقال من أحد المستويات إلى مستوى أدنى (من المستوى n = 3 إلى المستوى n = 2) فإن كمية الطاقة المنبعثة تعطى بالعلاقة:

$$\Delta E = h f \qquad (9\text{-}5)$$



الشكل (9-6)

ويبين الشكل (9-6) مستويات الطاقة المكماة والانتقالات المسموحة المقترحة بوساطة بلانك .



الشكل (9-7)

ولتوضيح هذه الفرضيات، لنفرض أن جسماً موضوعاً على سطح مائل، فإن طاقة وضع هذا الجسم تأخذ أية قيمة بناءً على ارتفاعها عن سطح الأرض. بينما الجسم الموضوع على سطح درج، فإن طاقة وضعه تأخذ قيماً محددة (متقطعة) كما في الشكل (9-7).

استطاع بلانك بناء على تكمية الطاقة تخطي كارثة الأشعة فوق البنفسجية، وقد تطابقت افتراضاته مع النتائج التجريبية لإشعاع الجسم الأسود، حيث ينبعث الإشعاع من الجسم الساخن نتيجة تذبذبات ذراته، على شكل كمات محددة من الطاقة، يعتمد مقدارها على تردد تذبذبات الذرة. وعند درجة الحرارة الواحدة لا تهتز الذرات جميعها بالتردد نفسه، وعليه فلا توجد ذرات كثيرة تتذبذب بترددات عالية أو ترددات منخفضة، وهذا ما يفسر نقصان الطاقة في منطقة الأطوال الموجية القصيرة والطويلة، أما الجزيئات ذات الترددات المتوسطة فتكون كثيرة؛ وهذا ما يفسر ارتفاع شدة الطاقة عند هذه الترددات.

2-9 تكميم الضوء Light Quantization

كان فرض بلانك قائما على أساس تكمية الطاقة للمتذبذبات، وهي أن الذرات تمتص الطاقة (الإشعاع) على شكل حزم، ولم يذكر أن الإشعاع بحد ذاته يوجد على شكل حزم، إنما تمتصه الذرات فقط على شكل حزم، وبعد خمس سنوات من نظرية بلانك أي في عام 1905م استطاع آينشتاين تطبيق مفهوم الطاقة المكماة على أمواج الضوء الكهرومغناطيسية أيضاً، حيث أثبت:

أن الطاقة الضوئية تمتص أو تشع بوحدات منفصلة تسمى كمات نتيجة انتقال الإلكترون من مدار إلى مدار آخر، وتسمى هذه الكمات **بالفوتونات**، ولكل فوتون تردده الخاص، وتحسب طاقته من المعادلة:

$$\Delta E = h f = h \frac{c}{\lambda} \qquad (9\text{-}6)$$

حيث E: طاقة الفوتون

λ: الطول الموجي

c: سرعة الضوء في الفراغ وتساوي (3×10^8 m/s)

وهذا يعني أن الإشعاعات الصادرة من الجسم الأسود ليست إشعاعات مستمرة، وإنما هي عبارة عن مجموعة من الفوتونات، ولكل فوتون طاقة تعتمد على التردد.

وقد استخدم آينشتاين فكرته هذه في تفسير ظاهرة أخرى حيرت الفيزيائيين، وهي ظاهرة التأثير الكهروضوئي التي سنناقشها فيما بعد.

مثال (2):

احسب الطاقة بوحدة الجول والإلكترون فولت لفوتون الضوء الأحمر وطوله الموجي 635 nm

الحل:

$$\Delta E = hf = h\frac{c}{\lambda}$$

$$\Delta E = 6.626 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^{8}}{6.35 \times 10^{-7}} = 3.13 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Delta E = \frac{3.13 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.96 \text{ eV}$$

مثال (3):

في طيف الإشعاع الشمسي فوتون طاقته (2.7 eV)، ما تردد الفوتون؟

الحل:

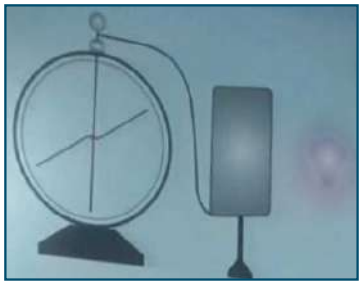
$$\Delta E = hf$$

$$2.7 \times 1.6 \times 10^{-19} = 6.626 \times 10^{-34} \times f$$

$$f = 6.6 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

3-9 ظاهرة التأثير الكهروضوئي Photoelectric Effect

نشاط (9-2): الظاهرة الكهروضوئية



المواد والأدوات: كشاف كهربائي، وساق أبونايت، وقطعة من الصوف، وقطعة مستطيلة الشكل من الخارصين، ومصباح ضوئي، ومصباح فوق بنفسجي.

الخطوات:

1- صل قطعة الخارصين بقرص الكشاف.

2- اشحن ساق الأبونايت عن طريق دلكه بقطعة الصوف، (ما نوع الشحنة المتولدة عليه؟)

3- قرّب الساق من قطعة الخارصين، ولاحظ انفراج ورقتي الكشاف، ما نوع الشحنة على الخارصين؟

4- المس قرص الكشاف لتنطبق ورقتاه، ثم سلط المصباح الضوئي على قطعة الخارصين، ماذا تلاحظ؟

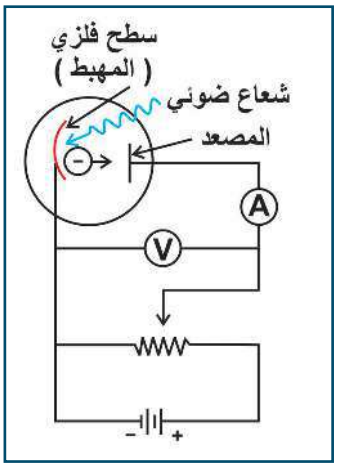
5- سلط أشعة المصباح فوق البنفسجية على قطعة الخارصين، ولاحظ انفراج ورقتي الكشاف.

ماذا حدث عندما تم تسليط الأشعة على لوح الخارصين؟ ماذا تستنتج؟ ماذا تسمى هذه الظاهرة؟

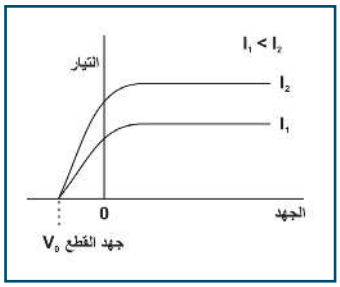
لاحظ العالم هيرتز أثناء إجرائه بعض التجارب للتحقق من نظرية ماكسويل للأمواج الكهرومغناطيسية أنه عند تسليط ضوء فوق بنفسجي على سطح قرص كشاف كهربائي لفلز معين تغير انفراج ورقتي الكشاف، وفسر ذلك بانبعاث إلكترونات من سطح الفلز.

أطلق على هذه الظاهرة ظاهرة التأثير الكهروضوئي: «ظاهرة انبعاث الإلكترونات من أسطح الفلزات عند تعرضها لموجات كهرومغناطيسية بتردد مناسب»، وسميت الإلكترونات المتحررة بالإلكترونات الضوئية.

سؤال: كيف يمكن دراسة هذه الظاهرة عملياً؟ وكيف يمكن تفسيرها؟



الشكل (9-8)



الشكل (9-9)

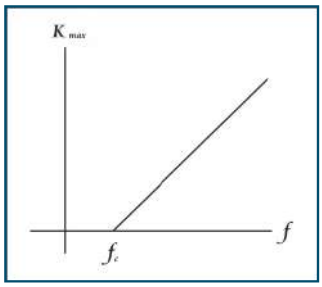
عمليا تستخدم الدارة الكهربائية الموضحة بالشكل (9-8) لدراسة ظاهرة التأثير الكهروضوئي، التي تحتوي على خلية كهروضوئية، تتكون من أنبوب زجاجي مفرغ من الهواء، يحتوي على صفيحة فلزية متصلة بالقطب السالب للبطارية، وتسمى المهبط (الباعث)، وساق فلزي آخر يتصل بالقطب الموجب للبطارية، ويسمى المصعد (الجامع)، فعند وضع الجهاز في غرفة مظلمة يقرأ الأميتر صفراً؛ ليدل على عدم وجود تيار في الدارة، وعند سقوط ضوء طاقته كافية لتحرير الإلكترونات من المهبط، فإنها ستنبعث منه متجهة إلى المصعد نتيجة وجود فرق في الجهد الكهربائي بين المصعد والمهبط؛ مما يؤدي إلى مرور تيار كهروضوئي؛ فينحرف مؤشر الأميتر. ويبين الشكل (9-9) العلاقة بين شدة التيار المار وفرق الجهد الموجب عند ثبوت شدة الضوء الساقط، حيث يزداد التيار ليصل إلى قيمة عظمى يثبت عندها، ويسمى تيار الإشباع (I_1). أما إذا تم عكس الجهد الكهربائي للمصعد عن طريق عكس قطبي البطارية وزيادة الجهد السالب، فإنه ينشأ مجال كهربائي يعاكس حركة الإلكترونات المنبعثة، وبزيادة فرق الجهد تدريجيا، فإن شدة التيار الكهرو ضوئي تتناقص تدريجيا؛ لأن الإلكترونات المنبعثة تتعرض إلى قوة معاكسة لاتجاه حركتها، وبذلك تقل سرعتها، فلا تصل إلى القطب الموجب إلا الإلكترونات التي تمتلك طاقة حركية كافية تمكنها من التغلب على قوة المجال، وعندما يصبح أسرع الإلكترونات غير قادر للوصول للمصعد فإن التيار ينعدم عند قيمة معينة تعرف بجهد الإيقاف أو القطع (V_0)، وهو أقل جهد يلزم لإيقاف أسرع الإلكترونات من الوصول للمصعد. وعند زيادة شدة الضوء الساقط نحصل على المنحنى الثاني، وتكون شدة التيار (I_2)، ويلاحظ أن جهد القطع لا يعتمد على شدة الضوء.

وللتعرف إلى تفسير ظاهرة التأثير الكهروضوئية من وجهة نظر النظرية الموجية للضوء (الكلاسيكية) ونظرية الفوتون (الكمية)، فإن النظرية الموجية تتنبأ (تفترض) ما يأتي:

1. عند زيادة شدة الضوء، تزداد الطاقة الحركية القصوى للإلكترونات المنبعثة؛ وذلك لأن زيادة شدة الضوء تعني زيادة اتساع المجال الكهربائي الذي يسبب انبعاث الإلكترونات بسرعات أعلى.
2. تردد الضوء لا يؤثر في الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة.
3. إذا كانت شدة الضوء ضعيفة جدا، فإن الإلكترون يستغرق وقتاً طويلاً لامتصاص كمية الطاقة اللازمة لانبعاثه.

أما بحسب نظرية الفوتون:

1. إذا كان تردد الضوء الساقط f أقل من تردد ما يسمى تردد العتبة f_0، فلا تتحرر إلكترونات من سطح الفلز مهما كانت شدة الضوء؛ وذلك لأن زيادة شدة الضوء تعني زيادة عدد الفوتونات دون تغير في طاقة أي منها.
2. عند تسليط ضوء تردده أكبر من f_0، تتحرر إلكترونات مهما كانت شدة الضوء، وعند زيادة تردد الضوء الساقط



الشكل (9-10)

(باستبداله بضوء آخر) تزداد الطاقة الحركية القصوى للإلكترونات المنبعثة، والشكل (9-10) يوضح العلاقة بين الطاقة الحركية القصوى للإلكترونات المنبعثة والتردد.

3. إن نظرية الفوتون لا تتوقع تأخيراً في تحرر الإلكترون من سطح الفلز، لأن كل فوتون يحرر إلكتروناً واحداً فقط، خلال فترة زمنية قصيرة جداً لا تتجاوز (10^{-9} s).

وفقا لنظرية آينشتاين، يتم تحرير الإلكترون من الفلز عن طريق الاصطدام بفوتون واحد خلال فترة زمنية صغيرة جدا، وبما أن الإلكترونات تستقر في الفلز بفعل قوى الجذب، فإنه يلزم حد أدنى من الطاقة لتحرير (أو انبعاث) الإلكترون من خلال السطح تسمى اقتران الشغل (ϕ)، وإذا كان تردد الضوء الساقط (f) منخفضاً وطاقته ($h f$) أقل من اقتران الشغل ($\phi = h f_0$) فلا تتحرر الإلكترونات. وأما إذا كانت طاقة الفوتون أكبر من اقتران الشغل تنبعث الإلكترونات من سطح الفلز، وتكون الطاقة محفوظة في هذه العملية. أي أن:

طاقة الفوتون = اقتران الشغل + الطاقة الحركية القصوى

$$h f = \phi + K_{max} \qquad (9\text{-}7)$$

سؤال: ماذا يحدث عند سقوط ضوء تردده يساوي تردد العتبة للفلز؟

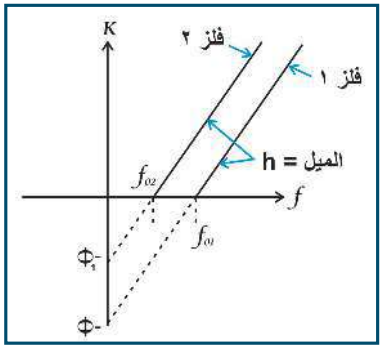
عند سقوط الأشعة على سطح الفلز تخترق هذا السطح إلى عمق بضع ذرات، أي أن الظاهرة الكهروضوئية تحدث عند طبقات من الذرات على أعماق مختلفة من سطح الفلز، والإلكترونات المتحررة من جميع الطبقات تمتلك طاقة حركية واحدة لحظة تحررها، ولكن الإلكترونات التي تتحرر من طبقة داخلية تتصادم مع ذرات تقع قبلها وتعترض طريقها، فتفقد جزءا من طاقتها، وبذلك تقل طاقتها الحركية، بعكس الإلكترونات المتحررة من السطح، التي تكون طاقة حركتها قيمة قصوى. أي أن العلاقة الرياضية المعبرة عن طاقة الحركة:

$$K_{max} = \frac{1}{2} mv^2 = q_e V_0 \qquad (9\text{-}8)$$

حيث q_e: شحنة الإلكترون، V_0: جهد الإيقاف (القطع)

ويبين الجدول المجاور بعض القيم لاقتران الشغل لعدة عناصر.

الفلز	اقتران الشغل ϕ (eV)
Na	2.28
Al	4.08
Cu	4.70
Zn	4.51
Ag	4.73
Pt	6.35
Pb	4.14
Fe	4.50



أناقش:

اعتماداً على الشكل المجاور:

1- ماذا يمثل المقطع السيني؟

2- ماذا يمثل المقطع الصادي؟

3- لماذا يكون المنحنيان متوازيين؟

مثال (4):

سقط ضوء تردده (1×10^{15} Hz) على سطح صوديوم، فانطلقت إلكترونات ضوئية ذات طاقة حركة قصوى تساوي 1.78 eV، احسب تردد العتبة للصوديوم.

الحل:

$$h f = \phi + K_{max}$$

$$6.626 \times 10^{-34} \times 1 \times 10^{15} = \phi + 1.78 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$\phi = 3.778 \times 10^{-19} J$$

$$\phi = h f_0$$

$$3.778 \times 10^{-19} = 6.626 \times 10^{-34} \times f_0$$

$$f_0 = 5.7 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

سؤال: أي الفلزين الآتيين يظهر التأثير الكهروضوئي عندما يسقط عليه ضوء تردده 7×10^{14} Hz الليثيوم ($\phi = 2.3$ eV) أم الفضة ($\phi = 4.7$ eV)؟ ولماذا؟

التطبيقات العملية على الظاهرة الكهروضوئية

هناك كثير من الأجهزة العملية التي تعتمد في تصنيعها على الظاهرة الكهروضوئية، وتُعدّ الوصلة الثنائية أحد مكونات هذه الأجهزة التي تتأثر بالظاهرة الكهروضوئية حيث إن امتصاص الفوتونات يؤدي إلى انبعاث الإلكترونات، وبالتالي تتغير قدرة الوصلة الثنائية على التوصيل، ومن هذه الأجهزة جهاز الإنذار والبوابات الإلكترونية، والمقياس الضوئي المستخدم في الكاميرا، الذي يعمل على قياس مستوى الضوء، وبالتالي التحكم في اتساع فتحة الكاميرا.

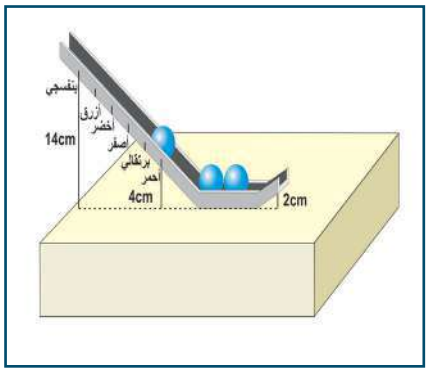
وكذلك يمكن الربط بين الظاهرة الكهروضوئية وما يحدث في عملية البناء الضوئي، فكيف يتم ذلك؟

يسقط الضوء على النبات، حيث تحتاج صبغة الكلوروفيل إلى تسعة فوتونات من ضوء الشمس لتحويل جزيء واحد من ثاني أكسيد الكربون إلى كربوهيدرات نافعة وغاز أكسجين.

هل عدد الفوتونات في 1 J من الضوء الأحمر أكبر من عدد الفوتونات في (1 J) من الضوء الأزرق أم يساويه، أم أصغر منه؟ وضح ذلك.

ما السبب في تحرر إلكترونات من سطح فلز عند سقوط ضوء معين عليها دون آخر، لتجيب عن ذلك إليك النشاط التالي:

نشاط (9-3): محاكاة تحرر الإلكترونات اعتمادا على تردد الضوء.



المواد والأدوات: مسار مقوس كما هو موضح بالشكل، وكرات فلزية أو زجاجية، وورق لاصق بالألوان (أحمر، وبرتقالي، وأصفر، وأخضر، وأزرق، بنفسجي)

الخطوات:

- ضع المسار المقوس على سطح طاولة كما هو موضح بالشكل المجاور.
- قم بتقسيم المسار مبتدئا من قاعدة المسار وعلى ارتفاع
- 4 cm وضع إشارة باللاصق الأحمر، ثم ضع إشارة باللاصق البنفسجي في أعلى المسار وعلى ارتفاع 14 cm من القاعدة.
- قم بوضع إشارات ملونة بين اللونين الأحمر والبنفسجي، ويفصل بينها 2 cm كما بالشكل.
- ضع الكرتين الفلزيتين على الجزء السفلي من المسار، حيث تمثل هذه الكرات إلكترونات المدار الأخير للذرة.
- امسك بكرة أخرى عند الموضع المشار إليه باللون الأحمر على المسار، حيث تمثل هذه الكرة فوتون الضوء الأحمر، الذي يمتلك أقل طاقة مقارنة بالألوان الأخرى.
- اترك الكرة تسقط، ولاحظ ماذا يحدث للكرتين في أسفل المسار، ثم كرر ذلك لكل لون مشار إليه على المسار.

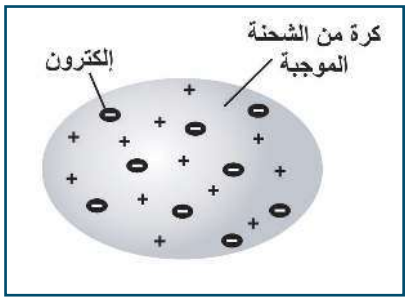
* عند أي لون استطاعت الكرة المنزلقة إخراج الكرات أسفل المسار؟
* هل هناك ارتفاع معين استطاعت عنده الكرة المنزلقة من إخراج الكرتين معا من المسار؟
* فسر ما لاحظته في ضوء نظرية الفوتون لآينشتاين.

4-9 النماذج الذرية Atomic Models

أناقش:

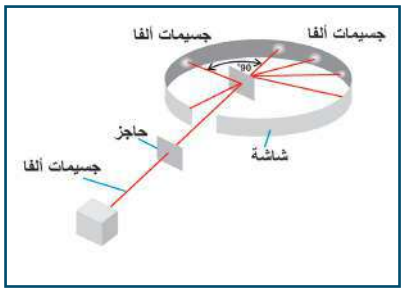
1- ما المقصود بالذرة؟
2- ما مكونات الذرة؟
3- ما شحنة نواة الذرة؟

لقد مر وصف تركيب الذرة بنماذج متنوعة عبر فترات مختلفة، فقد وضع العالم تومسون التصور الأول للنموذج الذري عام 1898م، حيث وصف الذرة بأنها كرة مصمتة موجبة الشحنة، تتوزع داخلها الشحنات السالبة بشكل عشوائي، كما في الشكل (9-11).



الشكل (9-11)

ولكن هذا النموذج فشل في تفسير تصرف أشعة ألفا وتشتتها في تجربة رذرفورد. ففي عام 1911 حصل رذرفورد وزملاؤه على نتائج تجارب تتناقض مع تصور تومسون للذرة، حيث قام بتجربته الشهيرة التي قذف فيها صفيحة رقيقة من الذهب بجسيمات ألفا الموجبة الشحنة (نواة ذرة الهيليوم) $_2^4He$ وحصل على النتائج الآتية:



- بعض جسيمات ألفا انحرفت عن مسارها وكأنها تنافرت مع جسم ثقيل مشابه لها في الشحنة، وكانت هذه الانحرافات غير متوقعة كلياً حسب نموذج تومسون، لماذا؟
- معظم جسيمات ألفا لم تنحرف، مما يدل على أنها تسير في فراغ.
- عدد قليل من جسيمات ألفا ارتدت إلى الخلف، مما يدل على اصطدامها مباشرة بجسيمات موجبة الشحنة.

في ضوء ذلك وضع رذرفورد نموذجه الذري الذي افترض فيه أن معظم حجم الذرة فراغ وتتمركز كتلتها في حيز صغير جداً يسمى النواة وتحمل شحنة موجبة، وتحيط بها الإلكترونات السالبة في مدارات حول النواة. ومع ذلك واجه نموذج رذرفورد لعدة انتقادات منها:

1- أن الإلكترونات أثناء دورانها حول النواة سوف تتسارع، وبالتالي تشع طاقة وفق النظرية الكهرومغناطيسية؛ مما يؤدي إلى فقدانها للطاقة، وسقوطها في النواة، فينهار النموذج الذري لرذرفورد.

2- كما أنه بإشعاع الذرات للطاقة فإنه سوف ينبعث ضوء مستمر، ولكن التجارب العملية بينت فيما بعد أن ذرات العناصر عند إشعاعها للطاقة تطلق خطوط الطيف الخطي.

ولأن نموذج رذرفورد لم يكن كافيا لفهم السلوك الذري وأطياف الذرات؛ فقد قام العالم بور بوضع نموذج جديد استطاع بواسطته تفسير أطياف الذرات.

a-4-9 نموذج بور لذرة الهيدروجين Bohr Model of Hydrogen Atom

تضمن نموذج بور مزيجاً من مبادئ الفيزياء الكلاسيكية، ونظرية الكم لبلانك، ونظرية الفوتونات لآينشتاين، ونموذج رذرفورد للذرة، وقام النموذج على عدة فروض منها:

1- أن الإلكترون يدور حول النواة في مدارات دائرية تحت تأثير قوة الجذب الكهربائية بين البروتون الموجب والإلكترون السالب.

$$m\frac{v^2}{r_n} = k\frac{q^2}{r_n^2} \qquad (9\text{-}9)$$

2- تتواجد الإلكترونات في مستويات محددة من الطاقة ذات أنصاف أقطار ثابتة، ولا تشع أية كمية من الطاقة ما دامت في نفس المستوى.

3- يحدث إشعاع للطاقة عندما ينتقل الإلكترون من مستواه إلى مستوى آخر أقل طاقة، ويكون مقدار الطاقة المنبعثة مساوياً لفرق طاقة الإلكترون في المستويين، ويكون هذا الإشعاع على هيئة كمات (فوتونات) تحسب طاقتها من العلاقة:

$$\Delta E = E_f - E_i = hf \qquad (9\text{-}10)$$

4- الزخم الزاوي للإلكترونات كمية مكماة تساوي مضاعفات صحيحة للمقدار $\frac{h}{2\pi}$

$$L = mvr_n = \frac{nh}{2\pi} \qquad (9\text{-}11)$$

حيث h:ثابت بلانك، L: كمية التحرك الزاوية، r_n: نصف قطر مدار الإلكترون

b-4-9 تطبيقات نموذج بور على ذرة الهيدروجين

1- حساب نصف قطر مدار الإلكترون حول النواة

بتربيع الفرض الرابع لبور: $mvr_n = \frac{nh}{2\pi}$

$$m^2v^2r_n^{\ 2} = \frac{n^2h^2}{4\pi^2}$$

وتعويض السرعة من الفرض الأول لبور في المعادلة السابقة $v^2 = k\frac{q^2}{rm}$

$$r_n = \frac{n^2\,h^2}{4\,\pi^2\,kq^2\,m}$$

وبتعويض الثوابت ينتج $r_1 = \frac{h^2}{4\,\pi^2\,kq^2\,m} = 0.529 \times 10^{-10}m$

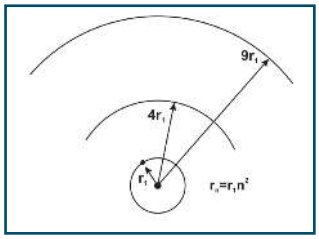
$$r_n = n^2 r_1 \qquad (9\text{-}12)$$

n: رقم المدار المتواجد فيه الإلكترون

r_n: نصف قطر المدار (n) للإلكترون

r_1: نصف قطر بور (نصف قطر المدار الأول) ويساوي 0.529×10^{-10} m

تنبأت نظرية بور بقيمة نصف قطر ذرة الهيدروجين استناداً إلى القياسات العملية، وكانت هذه النتيجة نجاحاً لنظرية بور، حيث توضح هذه المعادلة أن أنصاف أقطار المدارات المسموحة تمتلك قيماً محددة، أي أنها مكماة. ويوضح الشكل (9-12) مدارات بور الثلاثة الأولى.



الشكل (9-12)

2- حساب الطاقة الكلية للإلكترون في مداره

إن كل إلكترون يتحرك في مداره يمتلك طاقة محددة تساوي مجموع طاقتي الوضع والحركة، حيث:

$$E_n = K + U$$

$$E_n = \frac{1}{2}\,m_e v^2 + -\frac{kq^2}{r_n}$$

بتعويض السرعة من الفرض الأول لبور

$$m_e\frac{v^2}{r_n} = k\frac{q^2}{r_n}$$

$$E_n = \frac{1}{2}\,m_e v^2 + -\frac{kq^2}{r_n}$$

$$E_n = \frac{-1}{2}\,\frac{kq^2}{r_n}$$

وبتعويض الثوابت k، q، $r_n = n^2\,r_1$ والقسمة على شحنة الإلكترون q للتحويل من جول إلى إلكترون فولت ينتج

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} \qquad (9\text{-}13)$$

حيث طاقة الإلكترون في المستوى الأول (E_1) تساوي (-13.6 eV) وهذه المعادلة تبين أن مدارات الطاقة مكماة أيضاً.

لاحظ أن $K = |E_n|$ ، $U = 2E_n$

3- حساب الطول الموجي للأطياف المنبعثة من ذرة الهيدروجين

لحساب الطول الموجي للفوتون المنبعث عندما ينتقل إلكترون من مدار لآخر، وبأخذ القيمة الموجبة للفرق في الطاقة بين المدارين:

$$\Delta E = E_i - E_f = hf$$

$$\Delta E = E_i - E_f = h\frac{c}{\lambda}$$

$$\Delta E = \frac{E_1}{n_i^2} - \frac{E_1}{n_f^2} = h\frac{c}{\lambda}$$

$$E_1\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) = h\frac{c}{\lambda}$$

بالضرب في q_e للتحويل من إلكترون فولت إلى جول

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{E_1 q}{hc}\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) = R\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) \qquad (9\text{-}14)$$

حيث n_i: رقم مستوى الطاقة الأدنى، n_f: رقم مستوى الطاقة الأعلى

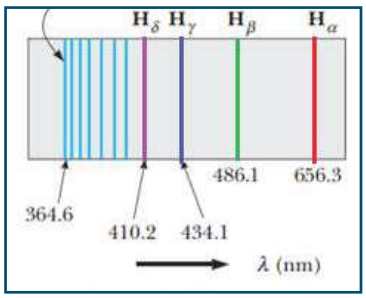
ويسمى الثابت (R) بثابت ريدبيرج ويساوي $1.097\times 10^7\ m^{-1}$

وتسمى هذه المعادلة بمعادلة بور النظرية، ويسمى المقدار $\frac{1}{\lambda}$ الرقم الموجي.

سؤال: ما وحدة قياس الرقم الموجي؟

c-4-9 طيف ذرة الهيدروجين Hydrogen Spectrum

تُعدّ ذرة الهيدروجين أبسط الذرات، حيث تحتوي على إلكترون واحد في مدارها، كما أنه يوجد لها أبسط طيف ذري، ففي عام 1885 توصل العالم بالمر إلى صيغة رياضية لحساب الأطوال الموجية لخطوط الطيف المرئي لذرة الهيدروجين، حيث لاحظ أربعة خطوط مضيئة تفصل بينها مسافات، ويقل التباعد بينها بانتظام، وهي ناتجة عن انتقال إلكترونات من مستويات عليا إلى المستوى ($n = 2$) وتظهر بالألوان: أحمر H_α، وأخضر H_β، وأزرق H_γ، وبنفسجي H_δ.



الشكل (9-13)

ويبين الشكل (9-13) الخطوط الطيفية الأربعة في الطيف المرئي لذرة الهيدروجين، وتقع هذه السلسلة في منطقة الطيف المرئي ويلاحظ أن الخطوط بالقرب من الطول الموجي 364,6 nm تصبح متقاربة من بعضها حيث يمكن اعتبار $n = \infty$ ويمكن تطبيق معادلة بالمر

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (9\text{-}15)$$

$n = 3, 4, 5, \ldots\ldots\ldots$

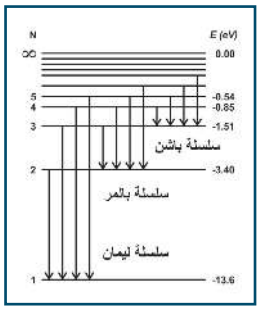
وفي وقت لاحق أظهرت التجارب على ذرة الهيدروجين أن هناك سلاسل أخرى لخطوط طيف ذرة الهيدروجين، تقع

في منطقة الأشعة فوق البنفسجية ومنطقة الأشعة تحت الحمراء، ومن أشهر هذه السلاسل:

سلسلة ليمان: وهي ناتجة عن انتقال الإلكترونات من مستويات عليا إلى المستوى n=1 وتقع في منطقة الأشعة فوق البنفسجية، والصيغة الرياضية لحساب الأطوال الموجية المصاحبة للفوتونات المنطلقة هي

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (9\text{-}16)$$

n = 2, 3 , 4 , ...



الشكل (9- 14)

سلسلة باشن: وهي ناتجة عن انتقال الإلكترونات من مستويات عليا إلى المستوى n=3 وتقع في منطقة الأشعة تحت الحمراء، والصيغة الرياضية لحساب الأطوال الموجية المصاحبة للفوتونات المنطلقة هي:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (9\text{-}17)$$

n = 4, 5 , 6 , ...

والشكل (9- 14) يوضح سلاسل الطيف لذرة الهيدروجين

مثال (5):

انتقل إلكترون في ذرة هيدروجين من مستوى الطاقة الرابع إلى مستوى الطاقة الثاني، ما تردد الفوتون المنبعث؟ وأي الخطوط في الطيف الانبعاثي يطابق هذه الحالة؟

الحل: لحساب طاقة الفوتون

$$\Delta E = E_2 - E_4 = \frac{13.6}{4} - \frac{13.6}{16}$$

$$= (3.40) - (0.850) = 2.55 \text{ eV}$$

$$= 2.55 \text{ eV} \times (1.6 \times 10^{-19}) = 6.63 \times 10^{-34} \times f$$

$$f = 6.15 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

وهو يتوافق مع الخط الثاني في سلسلة الطيف الخطي المرئي ويظهر بلون أخضر.

5-9 الطبيعة الموجية للأجسام

سبق أن عرفنا أن للضوء طبيعة مزدوجة، ففي بعض الظواهر مثل الحيود يسلك سلوك الأمواج، وفي ظواهر أخرى مثل ظاهرة التأثير الكهروضوئي فإنه يسلك سلوك الجسيمات، كما أنه لا يمكن أن يجمع بين النموذجين في نفس الظاهرة.

فهل يمكن للجسيمات المادية أن يكون لها طبيعة مزدوجة وتسلك سلوك الأمواج إضافة إلى اعتبارها جسيمات؟

الإجابة على هذا السؤال منحت العالم دي برولي درجة الدكتوراة في الفيزياء، ونال بعدها جائزة نوبل.

ففي عام 1923م اقترح العالم الفرنسي لويس دي برولي أن الأجسام المادية والجسيمات الذرية مثل الإلكترونات تمتلك كلاً من الخاصيتين: الموجية والجسيمية، وكانت هذه الفكرة مجردة دون أي تأكيد علمي في البداية.

افترض دي برولي أن الجسيمات المادية مثل الإلكترونات تمتلك خصائص موجية تصاحب حركتها، حيث يتناسب الطول الموجي لها عكسياً مع الزخم. ويمكن حساب الطول الموجي من العلاقة:

$$\lambda = \frac{h}{P} \qquad (9\text{-}18)$$

حيث λ: طول موجة دي برولي المصاحبة للجسيمات.

p: الزخم = mv ويقاس بوحدة kg.m/s

مثال (6):

احسب طول موجة دي برولي لكرة كتلتها 0.2 kg وتتحرك بسرعة 15 m/s

الحل:

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv}$$

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{0.2 \times 15} = 2.2 \times 10^{-34} \text{ m}$$

لاحظ قصر طول الموجة.

مثال (7):

احسب الطول الموجي المصاحب لإلكترون تم تسريعه تحت فرق جهد 100 V

الحل:

$$\frac{1}{2} m_e v^2 = q_e V$$

$$\frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} v^2 = 1.6 \times 10^{-19} \times 100$$

$$v = 5.9 \times 10^{6} \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 5.9 \times 10^{6}} = 1.23 \times 10^{-10} \text{ m}$$

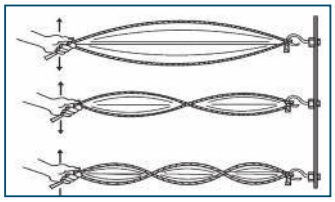
سؤال: إذا اكتسب كل من الإلكترون والبروتون تسارعاً من السكون عند نفس فرق الجهد، أيهما يملك طولاً موجياً أكبر، ولماذا؟

وفي الواقع فإن الطول الموجي للأجسام المادية يكون صغيراً جدا، بحيث لا يمكن قياسها أو ملاحظتها، وبالتالي فإن سلوكها الموجي مثل التداخل والحيود لا يمكن ملاحظته؛ لأن كتلتها كبيرة جداً؛ مما جعل الخصائص الموجية للأجسام الكبيرة مهملة، ولكن يمكن دراسة الخصائص الموجية للجسيمات الذرية مثل الإلكترونات، إذ إن كتلتها الصغيرة جدا تكسبها طولا موجياً كبيراً.

وقد كان صعباً على العلماء تبني نظرية دي برولي إذ اعتبروها مجرد فرضية نظرية غير قابلة للتطبيق العملي، إلى أن قام العالمان دافيسون (1881 -1958) وجيرمر (1896-1971) بإجراء تجربة حاسمة لإثبات صحة فرضية دي برولي، توصلا من خلالها إلى أن حزمة من الإلكترونات يمكنها أن تحدث ظاهرة حيود على بلورة من النيكل، وقاما بحساب الطول الموجي للإلكترونات، وفي العام نفسه قام العالم تومسون بتجربة اكتشف من خلالها السلوك الموجي للإلكترونات من خلال مرور الإلكترونات خلال رقائق من الذهب الرقيقة، وبذلك أثبتت الطبيعة الموجية للمادة بطرق متعددة.

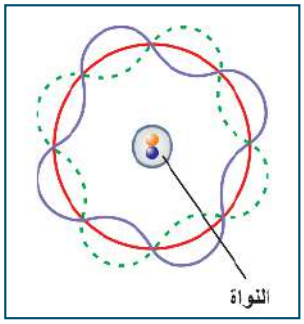
من التطبيقات- العملية والتكنولوجية على الطبيعة الموجية للإلكترونات هو جهاز المجهر الإلكتروني الذي يستخدم الإلكترونات، الذي يعتبر تطويراً للمجهر الضوئي الذي يستخدم الضوء؛ وذلك نظرا لأن الطول الموجي للإلكترون أصغر بكثير من الطول الموجي للضوء العادي، فتكون الصورة فيه أكثر دقة وأكثر كشفاً للتفاصيل الدقيقة منها في المجهر الضوئي.

6-9 موجات الإلكترون



سؤال: يوضح الشكل المقابل نوع الأمواج المتولدة في حبل مشدود.
ماذا تسمى الأمواج الموضحة في الشكل المقابل؟ ممّ تتكون هذه الأمواج؟

عجز بور عن تفسير سبب شغل الإلكترونات مستويات محددة في الذرة وسبب استقرارها في هذه المدارات، ولكن ما توصل إليه دي برولي من الطبيعة الموجية للإلكترون جعلنا نفكر بالإلكترون بطريقة مختلفة؛ مما أدى إلى وضع نموذج الموجات المادية في الذرة، ووفقا لنظرية دي برولي للموجات المادية يعتبر الإلكترون موجة وليس جسيماً، ويدور حول النواة مشكلاً حركة موجة موقوفة وفق ما تصور العالم شرودنجر، وحتى يكون مستقراً يجب أن يكون طول المدار الذي يتحرك به الإلكترون مساوياً عدداً صحيحاً من طول موجة دي برولي للإلكترون في هذا المدار، أي أن:



طول محيط المدار = عدد صحيح × الطول الموجي المصاحب للإلكترون

$$n\,\lambda_n = 2\pi r_n \qquad (9\text{-}19)$$

حيث: r_n: نصف قطر المدار، n عدد صحيح، ويساوي رقم المدار، وتشير إلى عدد الموجات الموقوفة المصاحبة لحركة الإلكترون.

وقد تم التوصل إلى أن موجات الإلكترونات لا تتحرك حول النواة فقط، وانما تتحرك نحو الداخل والخارج، تقترب من النواة وتبتعد عنها في الأبعاد الثلاثة .

من هذه المعادلة نستنتج أن أنصاف أقطار المدارات التي تتواجد فيها الإلكترونات هي التي تتفق مع الطبيعة الموجية لها، وبما أن طول محيط المدارات محدد، فهذا يعني أن أنصاف أقطار هذه المدارات وكذلك طاقة المستويات أيضا محددة، وقد سبق أن ذكر بور في نموذجه شرط تواجد الإلكترونات في مدارات محددة من خلال فرض بور $(mvr = \frac{nh}{2\pi})$،

سؤال: أثبت رياضياً أنه لا تعارض بين الشرطين.

9-7 مبدأ اللا يقين

إذا كانت الفيزياء الكلاسيكية تتميز بعدم وجود حدود للدقة في قياسات التجارب، إذ يمكننا إجراء قياسات أكثر دقة باستخدام أدوات أكثر ضبطاً، وبالتالي الحصول على نتائج أكثر دقة من السابقة، فهل هذا ينطبق على الفيزياء الحديثة (نظرية الكم)، وتحديد كل من موقع الجسيم المرتبط بالخاصية الجسيمية، وكذلك سرعته، التي تقيس الخاصية الموجية؟

إن مبدأ اللا يقين هو السمة الأساسية لفيزياء الكم. إن مبدأ اللا يقين ليس نتيجة مشكلة في النظام أثناء القياس أو عدم دقة الأدوات المستخدمة، بل هو ناتج عن الطبيعة المزدوجة للجسيمات.

فحسب العالم هيزنبرغ « من المستحيل قياس موقع الجسم وزخمه في اللحظة نفسها وبدقة عالية، فكلما كانت دقة القياس لزخمه عالية، قلت الدقة في تحديد الموقع، والعكس صحيح.

ويعبر عنه رياضيا «حاصل ضرب اللا يقين في الموقع (Δx) والزخم (ΔP) يكون دائما أكبر من قيمة صغرى تساوي $\frac{h}{2\pi}$

$$\Delta p \Delta x \geq \frac{h}{2\pi} \qquad (9\text{-}20)$$

مثال (8):

تم قياس سرعة انطلاق إلكترون فكانت $5 \times 10^3\ m/s$،حيث اللايقين في سرعة الإلكترون 0.003%، احسب أقل لا يقين في موضع هذا الإلكترون.

الحل:

$$P = mv = 9.11 \times 10^{-31} \times 5 \times 10^3 = 4.56 \times 10^{-27}\ kg.m/s$$

$$\Delta p = p \times 0.00003$$

$$\Delta p = 4.56 \times 10^{-27} \times 0.00003 = 1.37 \times 10^{-31}\ kg.m/s$$

$$\Delta p \Delta x = \frac{h}{2\pi}$$

$$1.37 \times 10^{-31}\ \Delta x = \frac{6.626 \times 10^{-34}}{2\pi}$$

$$\Delta x = 0.77\ mm$$

أسئلة الفصل:

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة

1. جسم أسود مثالي درجة حرارته (T)، إذا أصبحت درجة حرارته مثلي قيمتها فإن شدة إشعاعه:

أ- تبقى ثابتة　　ب- تصبح ضعفي ما هي عليه

ج- تصبح أربعة أضعاف ما هي عليه　　د- تتضاعف (16 مرة) مما هي عليه

2. فشل النموذج النظري لـ (رايلي وجينز) المستند إلى الفيزياء الكلاسيكية في تفسير شدة إشعاع الجسم الأسود في منطقة:

أ- الأطوال الموجية الطويلة　　ب- الأطوال الموجية القصيرة

ج- الضوء المرئي　　د- الأمواج تحت الحمراء

3. سقط فوتون طول موجته (λ) على سطح فلز فكان تيار الإشباع (20 μA) وجهد القطع (2 V)، فإذا تضاعفت شدة الضوء الساقط يصبح:

أ- طول موجة الفوتون الساقط (2λ) وجهد القطع (4V)

ب- طول موجة الفوتون الساقط (λ) وجهد القطع (2V)، وتيار الإشباع (20 μA)

ج- طول موجة الفوتون الساقط (λ) وجهد القطع (2V)، وتيار الإشباع (40 μA)

د- طول موجة الفوتون الساقط ($\lambda/2$) وجهد القطع (2V)، وتيار الإشباع (40 μA)

4. مقدار الزخم الزاوي لإلكترون ذرة الهيدروجين في المدار الأول هو:

أ- $\frac{h}{2\pi}$　　ب) $\frac{2h}{\pi}$　　ج) $\frac{h}{2\pi r_1}$　　د- $\frac{h}{r_1}$

5. فشلت الفيزياء الكلاسيكية في تفسير الظاهرة الكهروضوئية لأنها تُعدّ أن طاقة الموجة الضوئية تعتمد على:

أ- طولها　　ب- ترددها　　ج- إتساعها　　د- زمنها الدوري

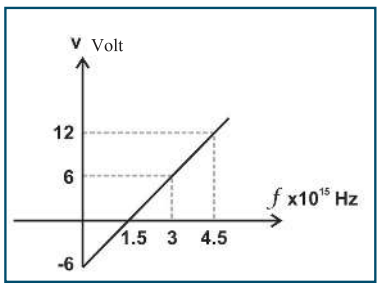
6. وفقاً لنظرية الكم، فإن طاقة الموجة الضوئية تزداد بزيادة:

أ- زمنها الدوري　　ب- طولها الموجي　　ج- إتساعها　　د- ترددها

س2: ما المقصود بكل من:

- الجسم الأسود المثالي　- مبدأ اللا يقين　- نص قانون فين للإزاحة

س3: في الشكل الآتي العلاقة البيانية بين تردد الضوء الساقط وجهد القطع في خلية كهروضوئية، اعتماداً على الشكل، أجب عما يأتي:



أ- ما ثابت بلانك؟

ب- ما اقتران الشغل للفلز؟

ج- ما تردد العتبة للفلز؟

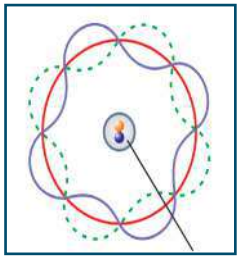
د- إذا قمنا بزيادة شدة الضوء الساقط على مهبط الخلية. ماذا يتغير في الرسم البياني؟

س4: سقط شعاع ضوئي طول موجته (3×10^{-7} m) على فلز مهبط خلية كهروضوئية فانبعثت إلكترونات طاقتها الحركية (2 eV)، احسب:

أ- اقتران الشغل للفلز.

ب- فرق جهد القطع في الخلية.

ج- تردد العتبة للفلز.



س5: الشكل المجاور يمثل الموجات المصاحبة لإلكترون ذرة الهيدروجين في مستوى ما، احسب:

أ- كميّة التحرك الخطيّة لذلك الإلكترون.

ب- نصف قطر المدار الذي يتواجد فيه الإلكترون.

ج- طول الموجة المصاحبة.

د- إذا انتقل الإلكترون إلى مستوى الاستقرار احسب طاقة الفوتون المنبعث مبيناً نوع الطيف الذي يتنمي إليه الإشعاع.

س6: إلكترون ذرة الهيدروجين يتواجد في مستوى الطاقة الثاني (n =2)، جد ما يأتي:

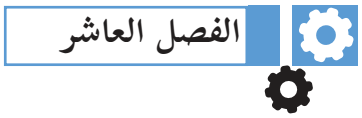
أ- طول الموجة المرافقة للإلكترون في مستواه.

ب- اللا يقين في تحديد كمية تحركه إذا كان الخطأ في تحديد موقعه يساوي طول موجة الفوتون المنبعث عند انتقال ذلك الإلكترون إلى مستوى الاستقرار.

س7:استخدمت الطاقة الناتجة من عودة الإلكترون من المدار الثالث في ذرة الهيدروجين إلى وضع الاستقرار في تشغيل خلية كهروضوئية فانبعثت الإلكترونات. فإذا كان جهد الإيقاف 1.2 فولت، احسب:

1- طول الموجة المصاحبة لأسرع الإلكترونات المتحررة.

2- أكبر طول موجة يحرر الإلكترونات من سطح الخلية الكهروضوئية.



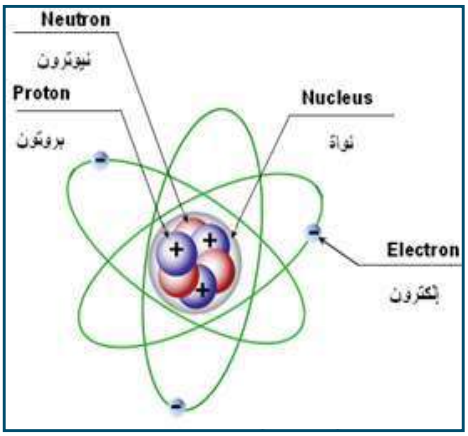
بنية النواة والإشعاع النووي

بعد أن اكتشف العالم النيوزلندي رذرفورد الذرة عام 1910، وبينت التجارب أن الذرة تتكون من نواة موجبة تتركز فيها كتلة الذرة، وتدور حولها إلكترونات سالبة الشحنة في مستويات طاقة محددة، وجه العلماء أنظارهم لدراسة نواة الذرة، فاكتشف العالم رذرفورد البروتون عام 1919 م، ثم تبعه جيمس شادويك باكتشاف النيوترون عام 1932م، وفي هذا الفصل ستتعرف إلى نواة الذرة وخصائصها من حيث الشكل والحجم والكتلة والمكونات وطاقة ربطها.

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم متعلقة ببنية النواة والإشعاع النووي من خلال تحقيق الآتي:

- حساب طاقة الربط النووية لنواة عنصر أو لنيوكليون.
- تفسير استقرار بعض أنوية العناصر.
- المقارنة بين أشعة ألفا وبيتا وغاما من حيث خصائصها.
- حساب عمر النصف لبعض العناصر.

1-10 مكونات النواة



الشكل (10 -1)

أناقش:

- ما الذرة الأبسط تركيباً بين العناصر؟
- يرمز للعنصر بالرمز ${}^{A}_{Z}X$، فماذا تمثل كل من Z، A، X؟
- اكتب رمز عنصر الصوديوم إذا علمت أن عدد البروتونات 11 وعدد النيوترونات 12.
- ضع تعريفاً لكل من العدد الذري، والعدد الكتلي.

مر معك أن ذرات العناصر تتكون من نواة وإلكترونات تدور حولها كما في الشكل (10 -1)، ويطلق على كل مكون من مكونات النواة سواء أكان بروتوناً أم نيوتروناً اسم نيوكليون.

نشاط (10-1): مكونات النواة

تأمل العناصر الآتية، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها:

${}^{235}_{92}U$	${}^{16}_{8}O$	${}^{56}_{26}Fe$	${}^{35}_{17}CI$	${}^{2}_{1}H$	${}^{1}_{1}H$

1- أي منها لا يوجد فيه نيوترونات؟

2- كم نيوكليون في كل من: ذرة الكلور، وذرة الأكسجين؟

3- احسب عدد النيوترونات في كل من ذرة الحديد ${}^{56}_{26}Fe$ وذرة اليورانيوم ${}^{235}_{92}U$ ؟

نظراً لصغر كتلة الذرات فإنه يصعب تقديرها بوحدة الغرام أو الكيلوغرام؛ لذلك اتفق العلماء على استخدام وحدة أخرى مناسبة لتقدير كتل الذرات والجسيمات الصغيرة تعرف باسم (وحدة الكتل الذرية) Atomic Mass Unit (u)، وقد اتُخذت كتلة ذرة الكربون ${}^{12}_{6}C$ أساساً تنسب إليه كتل ذرات العناصر الأخرى (لماذا؟) واعتبرت أنها تساوي 12 وحدة كتلة ذرية أي أن (u) = $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون .

كتلة ذرة الكربون الواحدة بالغرام = $\frac{12}{6.022 \times 10^{23}}$ = 1.993×10^{-23}

كتلة (u) = $\frac{1}{12} \times 1.993 \times 10^{-23}$ = 1.66×10^{-24} gm = 1.66×10^{-27} kg

ويمكن التعبير عن الكتلة بما يكافئها من الطاقة حسب معادلة آينشتاين

$$E = m c^2 \qquad (10\text{-}1)$$

طاقة وحدة الكتل الذرية = $1.66 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^{8})^2$ = 1.494×10^{-10} J

طاقة وحدة الكتل الذرية = $\frac{1.494 \times 10^{-10}}{1.6038 \times 10^{-19} \times 10^{6}}$

= 931.5 مليون إلكترون فولت (MeV)

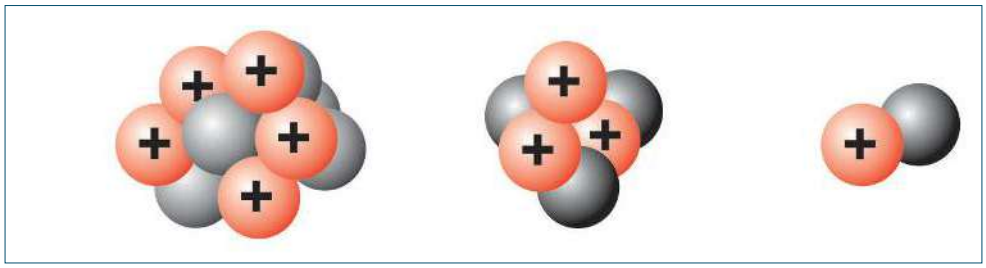
ويبين الجدول الآتي نوع الشحنة والكتل السكونية لمكونات الذرة بالكيلو غرام وبوحدة الكتل الذرية

الجسيم	الشحنة	الكتلة (Kg)	الكتلة (u)
النيوترون	متعادل	1.6749×10^{-27}	1.008665
البروتون	موجبة	1.6726×10^{-27}	1.007276
الإلكترون	سالب	0.00091×10^{-27}	0.0005486

سؤال: 1. احسب النسبة بين كتلة كل من النيوترون والإلكترون، والنسبة بين كتلة البروتون والإلكترون.
2. احسب كتلة كل من الجسيمات السابقة بالجدول بوحدة مليون إلكترون فولت/ c^2

2-10 خواص النواة: (الكتلة، الحجم، الكثافة)

تُحدد كتل أنوية العناصر بمطياف الكتلة، ويمكن تقدير كتلة النواة من العلاقة $M = m_0 A$ حيث m_0 تمثل متوسط كتلة النيوكليون باعتبار كتلة البروتون مساوية لكتلة النيوترون، وA هي العدد الكتلي، مع أن التجارب العملية أثبتت ان كتلة النواة أقل قليلاً من كتلة مكوناتها، وسنتعرف إلى ذلك لاحقاً.



الشكل (10 – 2)

بتأمل الشكل (10 - 2) نلاحظ أنه لا يوجد جدار يحيط بمكونات النواة، ويمكن اعتبارها مجموعة من النيوكليونات الكروية المشدودة بعضها إلى بعض بإحكام في حيز صغير، وأن الشكل العام للنواة يمكن اعتباره كرة منتظمة تقريباً نصف قطرها r، نفرض أن حجم النواة V وأن حجم النيوكليون V_0

$$V = V_0 A$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 = A\frac{4}{3}\pi r_0^3$$

$$r = a_0 A^{1/3} \qquad (10\text{-}2)$$

حيث a_0: ثابت (نصف قطر نواة الهيدروجين) ويساوي (1.2×10^{-15}m)

أناقش:

1. ما العلاقة بين نصف قطر النواة والعدد الكتلي.
2. ما العلاقة بين حجم النواة والعدد الكتلي.
3. عنصران الأول عدده الكتلي 64 والثاني 16 فما نسبة:
   - نصف قطر نواة الأول إلى نصف قطر نواة الثاني.
   - حجم نواة الأول إلى حجم نواة الثاني.

مثال (1):

احسب نصف قطر نواة الحديد ($^{56}_{26}Fe$) وحجمها.

الحل:

$$r = a_0 A^{1/3} = 1.2 \times 10^{-15} (56)^{1/3} = 4.6 \times 10^{-15} \text{ m}$$

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \times 3.14 \times (4.6 \times 10^{-15})^3 = 4.1 \times 10^{-43} \text{ m}^3$$

سؤال: احسب النسبة بين حجم ذرة الهيدروجين إلى حجم نواتها إذا علمت أن ذرة الهيدروجين العادي تتكون من بروتون واحد في نواتها يدور حوله إلكترون في المدار الأول، علماً بأن $r_1 = 0.529 \times 10^{-10}$ m وأن نصف قطر نواة الهيدروجين 1.2 فيرمي.

ولحساب كثافة النواة فإن:

$$\text{كثافة النواة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}} = \frac{A \times m_0}{A \times V_0} = \frac{m_0}{V_0}$$

حيث m_0 كتلة النيوكليون وV_0 حجم النيوكليون

ومن هنا نستنتج أن كثافة أية نواة لا تعتمد على العدد الكتلي A، بل هي مقدار ثابت لكل الأنوية، وهي تساوي كثافة النيوكليون.

مثال (2):

احسب مقدار كثافة النواة إذا علمت أن متوسط كتلة النيوكليون 1.6606×10^{-27} kg ونصف قطره يساوي 1.2 فيرمي، ثم قارن هذه الكثافة بمتوسط كثافة الأرض 5500 kg / m^3

الحل:

$$\text{كثافة النواة} = \frac{m_0 A}{V_0 A} = \frac{m_0}{V_0} = \frac{1.6606 \times 10^{-27}}{\frac{4}{3} \times 3.14 \times (1.2 \times 10^{-15})^3} = 2.3 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

وبقسمة كثافة النواة على كثافة الأرض نجد أن $\frac{2.3 \times 10^{17}}{5500} = 4.2 \times 10^{13}$

ومما سبق يتضح أن كثافة النواة تعادل متوسط كثافة الأرض 4.2×10^{13} مرة

3-10 القوة النووية وطاقة الربط النووية (Nuclear Force and Binding Energy)

تحتوي النواة على عدد من النيوكليونات (البروتونات والنيوترونات) المتماسكة بعضها مع بعض، بالرغم من عدم وجود جدار للنواة، وبالرغم من وجود قوة تنافر كهربائية بين الشحنات الموجبة، التي أكبر بكثير من قوى التجاذب المادي (الكتلي)، إذن لا بد من وجود قوة تتغلب على قوة التنافر الكهربائي، وتعمل على تماسك النواة، فما هذه القوة؟ وما خصائصها؟

يطلق على هذه القوة اسم القوة النووية ومن خصائصها:

1. قوة تجاذب تنشأ بين أي نيوكليونين داخل النواة، وبالتالي فهي لا تعتمد على شحنة النيوكليون.
2. القوة النووية أكبر من قوة التنافر الكهربائي بـ 140 مرة.
3. قصيرة المدى، مدى تأثيرها بين (1 – 10 فيرمي)، فهي تعمل داخل النواة، وتتلاشى خارجها، وعندها تظهر القوة الكهربائية التي تحافظ على ارتباط الإلكترونات بالنواة.

أناقش:

1. ما أنواع القوى في النواة؟
2. قارن بين القوة النووية وقوة كولوم وقوة التجاذب الكتلي من حيث: المدى الذي تعمل فيه، ومقدار القوة، ونوع الجسيمات المتأثرة فيها.

وجد من خلال التجارب أن كتلة نواة الذرة أقل من مجموع كتل مكوناتها منفردة وأن الفرق في الكتلة (Δm) يكافئ طاقة مسؤولة عن ترابط مكونات النواة تسمى طاقة الربط النووية (E_{bin}) ولفصل مكونات النواة فإنه يجب أن نعطي النواة طاقة مساوية لها. ولكل نواة:

عدد البروتونات (Z) × كتلة البروتون (m_p) + عدد النيوترونات (N) × كتلة النيوترون (m_n) > كتلة النواة (M_n).

وبالرموز $M_p < (m_n \times N + m_p \times Z)$

$$\Delta m = (Z \times m_p + N \times m_n) - M_p \qquad (10\text{-}3)$$

$$E_{bin} = \Delta m\, c^2 \qquad (10\text{-}4)$$

حيث إن (Δm) الفرق في الكتلة وهو مقياس لمقدار طاقة الربط النووية التي تبقي النواة متماسكة ومستقرة.

ويمكن حساب طاقة الربط النووية لكل نيوكليون، أو بمعنى آخر معدل الطاقة اللازمة؛ حتى يفلت نيوكليون واحد من النواة:

$$E_n = \frac{E_{bin}}{A} \qquad (10\text{-}5)$$

مثال (3):

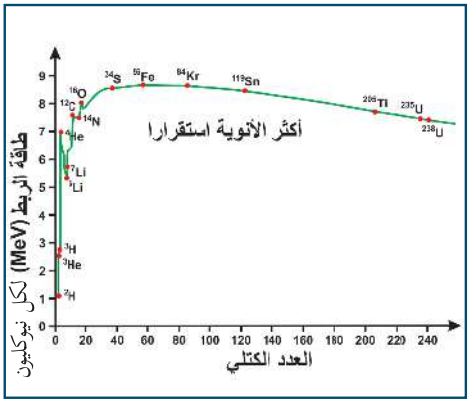
احسب طاقة الربط النووية لكل نيوكليون في نواة ذرة الأكسجين $^{16}_{8}O$ بوحدة إلكترون فولت علماً بأن كتلة نواة ذرة الأكسجين تساوي 15.9949 u ؟

$$\Delta m = (Z \times m_p + N \times m_n) - M_p$$

$$= (8 \times 1.007276 + 8 \times 1.008665) - 15.9949 = 0.132628\ u$$

$$E_{bin} = 0.1322628u \times 931.5\ \frac{MeV}{u} = 123.54\ MeV$$

$$E_n = \frac{E_{bin}}{A} = \frac{123.54}{16} = 7.72\ MeV/\text{نيوكليون}$$



الشكل (10-3)

سؤال: احسب طاقة الربط النووية (E_{bin}) وطاقة الربط النووية لكل نيوكليون (E_n) بوحدة الإلكترون فولت لنواة البيريليوم ($^{9}_{4}Be$) إذا علمت أن كتلة هذه النواة (9.01219 u).

يبين الشكل (3-10) العلاقة بين (طاقة الربط لكل نيوكليون) و(العدد الكتلي A)، ويلاحظ من الشكل:

_ تصل (E_n) إلى قيمتها العظمى 8.8 MeV تقريباً عند العدد الكتلي A = 62، كما في ($^{62}_{28}Ni$) ومجموعة نظائر الحديد.

_ النوى الثقيلة (عددها الكتلي كبير) ليست مستقرة وتتناقص (E_n) لها ببطء بزيادة العدد الكتلي، ولديها قابلية إلى الانشطار بتوافر الظروف المناسبة، وينتج عن الانشطار نواتان متوسطتان، لهما طاقة ربط لكل نيوكليون أعلى من طاقة ربط لكل نيوكليون في النواة الأصلية.

_ النوى الخفيفة (عددها الكتلي قليل) ليست مستقرة وتزداد (E_n) لها بسرعة بزيادة العدد الكتلي، ولديها قابلية إلى الاندماج بتوافر الظروف المناسبة، وينتج نواة ذات طاقة ربط أعلى من النوى الأصلية، كما يحدث في باطن النجوم مثل الشمس.

_ جميع الأنوية تميل بطبيعتها إلى التواجد في المنطقة الأكثر استقرارا في قمة المنحنى الموضح في الشكل، وفيها النوى متوسطة العدد الكتلي، ويلزم طاقة كبيرة لتفكيكها.

سؤال: بين ما يحدث لنواة: $^{235}_{92}U$ ، $^{2}_{1}H$ للوصول إلى حالة الإستقرار.

النظائر:

نشاط (2-10)

تأمل مجموعات العناصر الآتية (النظائر)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها:

اليورانيوم U: $^{234}_{92}U$, $^{235}_{92}U$, $^{238}_{92}U$

الأكسجين O: $^{16}_{8}O$, $^{17}_{8}O$, $^{18}_{8}O$

الكربون C: $^{12}_{6}C$ ، $^{13}_{6}C$ ، $^{14}_{6}C$

الهيدروجين H: $^{1}_{1}H$ ، $^{2}_{1}H$ ، $^{3}_{1}H$

أناقش:

1. المجموعة الواحدة من نظائر العناصر تتفق في أعداد، وتختلف في أعداد أخرى، وضح ذلك.
2. هل تختلف هذه العناصر في خصائصها الكيميائية؟ ولماذا؟
3. ما نوع الجسيمات التي تختلف عناصر كل مجموعة في عددها؟
4. ضع تعريفاً مناسباً لمفهوم النظائر.

أسئلة الفصل:

ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. أي من الآتية يمثل العدد الكتلي في النواة؟

أ- عدد البروتونات ب- عدد النيوكليونات. ج- عدد الإلكترونات د- عدد النيوترونات

2. أي مما يأتي لا يتأثر بالمجالين الكهربائي و المغناطيسي؟

أ- جاما ب- ألفا ج- بيتا د- بوزيترون

3. بم تمتاز القوة النووية التي تربط النيوكليونات في النواة؟

أ- طويلة المدى وكبيرة المقدار ب- طويلة المدى وصغيرة المقدار

ج) قصيرة المدى وصغيرة المقدار د- قصيرة المدى وكبيرة المقدار

4. عنصر عدد بروتوناته 13 وعدد نيوتروناته 14، ما نصف قطر نواته بوحدة فيرمي؟

أ- 1.2 ب- 2.8 ج- 2.9 د- 3.6

5. إذا كانت الصيغة العامة لانشطار اليورانيوم $^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{236}_{92}U* \rightarrow X + Y + 2^{1}_{0}n + energy$

أي من الأزواج الآتية يمكن أن تكون X ، Y

أ- $^{93}_{38}Sr$ و $^{141}_{54}Xe$ ب- $^{96}_{37}Rb$ و $^{139}_{55}Cs$ ج- $^{79}_{32}Ge$ و $^{156}_{60}Nd$ د- $^{113}_{44}Ru$ و $^{121}_{49}In$

6. إذا كانت طاقة الربط النووية للنوى ($^{2}_{1}H$، $^{4}_{2}He$، $^{56}_{26}Fe$، $^{235}_{92}U$)، تساوي (2.22)، (28.3)، (492)، (1786) مليون إلكترون فولت على الترتيب، فإن النواة الأكثر استقرارا هي:

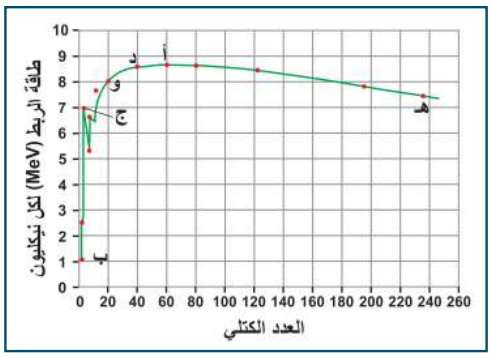
أ- Fe ب- H ج- U د- He

س2: عرف المفاهيم الآتية: النظائر، وطاقة الربط النووية.

س3: ما أنواع القوى الموجودة في النواة؟ وما خصائص القوة النووية؟

س4: احسب النسبة بين كل من نصفي قطر وحجمي نواتي الهيليوم $^{4}_{2}He$ والكالسيوم $^{40}_{20}Ca$.

س5: المنحنى البياني في الشكل المجاور يمثل العلاقة بين العدد الكتلي (A) ومعدل طاقة الربط النووية لعدد من العناصر تأمل الشكل، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:



1 – ما العنصر الأكثر استقرارا؟ وما العنصر الأقل استقرارا؟

2- ما طاقة الربط النووية لنيوكليون العنصر ج؟

3 – ما العدد الكتلي للعنصر الذي طاقة الربط النووية لكل نيوكليون 8 مليون إلكترون فولت؟

4 – احسب طاقة الربط النووية للعنصر د بوحدة الجول.

5 – أي العناصر أكثر قابلية للانشطار؟ وأيها أكثر قابلية للاندماج؟

أسئلة الوحدة

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة

1. يتفق نموذج (رايلي وجينز) النظري المستند إلى الفيزياء الكلاسيكية مع الواقع التجريبي لطيف إشعاع الجسم الأسود للأطوال الموجية:

أ- الطويلة ب- المتوسطة ج- القصيرة د- القصيرة جداً

2. إذا علمت أن شدّة الإشعاع القصوى المنبعثة من جسم أسود درجة حرارته (5800 K°) تكون عند الطول الموجي (500 nm)، إذا أصبحت درجة حرارة هذا الجسم (4000 K°)، فإن الطول الموجي (λmax) الذي يحدث عند شدّة الإشعاع القصوى سيكون:

أ- $500\ nm > \lambda max$ ب- $500\ nm < \lambda max$

ج- $500\ nm = \lambda max$ د- لاعلاقة بين درجة الحرارة و λmax

3. ترتيب القوى الأساسية داخل النواة من حيث مقدارها كما يأتي:

أ- قوة كولوم > قوة الجذب الكتلي > القوة النووية

ب- القوة النووية > قوة كولوم > قوة الجذب الكتلي

ج- القوة النووية > قوة الجذب الكتلي > قوة كولوم

د- قوة الجذب الكتلي > قوة كولوم > القوة النووية

4. في سلسلة بالمر إذا انتقل الإلكترون من مدار طاقة (0.544 eV -) فإن لون الخط الناتج من ذلك الطيف هو

أ- أزرق ب- أحمر ج- بنفسجي د- أخضر

5. جسيمان لهما نفس طاقة الحركة، فكان طول الموجة المرافقة للأول (λ_1) يساوي ثلاثة أضعاف طول الموجة المرافقة للثاني (λ_2)، فيكون:

أ- $3m_2 = m_1$ ب- $\frac{1}{3} m_2 = m_1$ ج- $9m_2 = m_1$ د- $\frac{1}{9} m_2 = m_1$

6. إن النسبة بين نصف قطر نواة عنصر ($^{27}_{13}Al$) ونصف قطر نواة العنصر ($^{8}_{4}Be$) هي:

أ- $(\frac{3}{2})^{\frac{1}{3}}$ ب- $\frac{2}{3}$ ج- $\frac{3}{2}$ د- $\frac{27}{8}$

7. كتلة نواة العنصر:

أ- أكبر من مجموع كتل مكوناتها من النيوكليونات الحرة

ب- أصغر من مجموع كتل مكوناتها من النيوكليونات الحرة

ج- تساوي مجموع كتل مكوناتها من النيوكليونات الحرة

د- تساوي مجموع أعداد النيوكليونات المكونة لها

8. إذا كان العدد الكتلي للعنصر (X) = 8 أمثال العدد الكتلي للعنصر (Y) فإن النسبة بين كثافة النواة (X) إلى كثافة النواة (Y) هي:

أ- 1 : 8 ب- 8 : 1 ج- 1 : 2 د-1:1

9. عند ثبوت شدة الضوء الساقط في تجربة التأثير الكهروضوئي وزيادة الجهد الموجب للمصعد فإن شدة التيار الإلكتروني:

أ- تستمر في الزيادة بزيادة الجهد الموجب للمصعد ب- تزداد تدريجيا ثم تثبت عند تيار الإشباع

ج- تقل تدريجيا إلى أن تصل للصفر د- تبقى ثابتة لا تزداد إلا بزيادة شدة الضوء الساقط

10. اذا علمت أن نصف قطر نواة ذرة الهيدروجين تساوي (1.2×10^{-15} m) فإن العدد الكتلي لنواة نصف قطرها (3.6×10^{-15} m) هو:

أ- 3 ب-9 ج- 27 د- 81

11. يسقط ضوء على سطح فلزي اقتران الشغل له (3 eV) فتنطلق إلكترونات طاقتها العظمى (2 eV) إذا زاد تردد الضوء الساقط للضعف فإن الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات بوحدة (eV) تصبح:

أ- 2 ب-4 ج- 5 د- 7

12. نصف قطر النواة يتناسب طرديا مع:

أ- العدد الكتلي ب- الجذر التكعيبي للعدد الكتلي

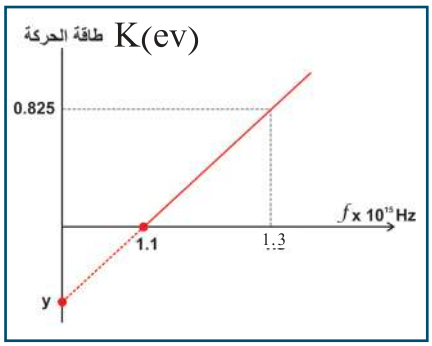
ج- مربع العدد الكتلي د- القوة الرابعة للعدد الكتلي

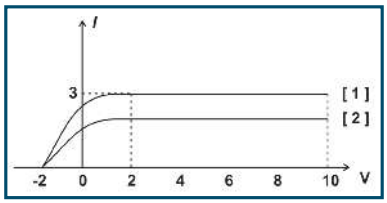
س2: ما المقصود بكل من:
التفاعل الانشطاري، وشدة الإشعاع، وقانون ستيفان- بولتزمان

س3:قارن بين كل ممّا يأتي:
1) سلسلة ليمان وسلسلة باشن من حيث طبيعة الأشعة المنبعثة في كل منهما.
2) القوة النووية وقوة كولوم داخل النواة من حيث نوع الجسيمات التي تتأثر بها.
3) التفسير الكلاسيكي والكمي للظاهرة الكهرو ضوئية.

س4: من خلال دراستك لإشعاع الجسم الأسود، أجب عن الأسئلة الآتية:
أ. اكتب نص قانون فين للإزاحة.
ب. اكتب الصيغة الرياضية لقانون رايلي وجينز موضحا دلالة الرموز.
جـ. سلك تنجستون مساحة سطحه المشعّ ($8\ mm^2$) وكانت درجة حرارته ($2100°\ K$)، باعتبار أن السلك جسم أسود مثالي، احسب الطاقة التي يشعّها السلك خلال (10 دقائق).

س5: الرسم البياني المجاور يوضّح العلاقة بين الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المتحررة بوحدة (eV)، وتردد الضوء الساقط على مهبط خلية كهروضوئية، أجب عما يأتي:
أ. احسب: ثابت بلانك، اقتران الشغل لمادة مهبط الخلية.
ب. إذا سقط ضوء طول موجته (1000 Å) على مهبط هذه الخلية، وضّح فيما إذا كان يمر تيار كهروضوئي في هذه الخلية.





س6: يمثل الشكل المجاور العلاقة بين الجهد الكهربائي والتيار المار في الخلية الكهروضوئية الممثل في المنحنى [1]. مستعيناً بالقيم المثبتة على الشكل، أوجد:

أ) الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة من سطح الفلز (بالجول) .

ب) تردد الفوتون الساقط على باعث الخلية، إذا علمت أن اقتران الشغل الكهروضوئي للفلز ($3.2 \times 10^{-19}\,J$) .

ج) إذا استبدل الضوء الساقط بآخر فحصلنا على المنحنى [2] في الشكل، قارن بين المنحنيين من حيث تردد الضوء الساقط وشدته.

س7: انتقل إلكترون ذرة الهيدروجين المثارة من المستوى الرابع إلى مستوى جديد باعثاً ضوءاً مرئياً، ثم أسقط الفوتون المنبعث على مهبط خلية كهروضوئية اقتران الشغل لمادته ($1.68 \times 10^{-19}\,J$)، احسب جهد القطع عندئذ.

س8: إلكترون كتلته ($9.11 \times 10^{-31}\,kg$) يتحرك في مدار ما في ذرة الهيدروجين، فإذا كان الزخم الزاوي له يساوي ($4.2 \times 10^{-34}\,J.s$)، وأن نصف قطر المدار الأول لذرة الهيدروجين ($0.529\,\text{Å}$)، احسب:

أ- نصف قطر المدار الذي يتحرك فيه الإلكترون.

ب- طول الموجة المصاحبة للإلكترون في هذا المستوى.

س9: احسب مقدار الطاقة التي يجب أن تزود بها نواة ${}^{2}_{1}H$ لفصل مكوناتها علماً بأن $m_p = 1.0073u$ ، $m_n = 1.0087u$ ، $M_H = 2.0135u$

س10: احسب طاقة الربط لنواة الحديد (${}^{56}_{26}Fe$)، ثم احسب طاقة الربط النووية لكل نيوكليون، علما أن كتلة نواة الحديد تساوي ($55.9206\,u$)

قائمة المراجع والمصادر

1. رأفت كامل واصف (2005). أساسيات الفيزياء الكلاسيكية والمعاصرة، الطبعة الثالثة. دار النشر للجامعات، القاهرة.
2. فريدريك بوش، دافيد جيرد، أساسيات الفيزياء، الدار الدولية للاستثمارات الثقافية، مصر.
1. David Halliday and Resnick (2014). Fundamentals of Physics ,10th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
2. Glenco, (2005). Physics Principles and Problems, 5th ed., McGraw Hill, USA.
3. Serway, Jewett, (2014). Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics, 10th ed., Thomson-Brooks, California.
4. Dan Bruni, Greg Dick, Jacob Speijer, Charles Stewart (2012), Physics 12, Nelson Education Ltd., Canada.

المشروع

شكل من أشكال منهج النشاط؛ يقوم الطلبة (أفراداً أو مجموعات) بسلسلة من ألوان النشاط التي يتمكنون خلالها من تحقيق أهداف ذات أهمية للقائمين بالمشروع.

ويمكن تعريفه على أنه: سلسلة من النشاط الذي يقوم به الفرد أو الجماعة لتحقيق أغراض واضحة ومحددة في محيط اجتماعي برغبة ودافعية.

ميزات المشروع

1. قد يمتد زمن تنفيذ المشروع لمدة طويلة ولا يتم دفعة واحدة.
2. ينفّذه فرد أو جماعة.
3. يرمي إلى تحقيق أهداف ذات معنى للقائمين بالتنفيذ.
4. لا يقتصر على البيئة المدرسية وإنما يمتد إلى بيئة الطلبة لمنحهم فرصة التفاعل مع البيئة وفهمها.
5. يستجيب المشروع لميول الطلبة وحاجاتهم ويثير دافعيّتهم ورغبتهم بالعمل

خطوات المشروع

أولاً: اختيار المشروع: يشترط في اختيار المشروع ما يأتي:

1. أن يتماشى مع ميول الطلبة ويشبع حاجاتهم.
2. أن يوفّر فرصة للطلبة للمرور بخبرات متنوعة.
3. أن يرتبط بواقع حياة الطلبة ويكسر الفجوة بين المدرسة والمجتمع.
4. أن تكون المشروعات متنوعة ومترابطة وتكمل بعضها البعض ومتوازنة، لا تغلّب مجالاً على الآخر.
5. أن يتلاءم المشروع مع إمكانات المدرسة وقدرات الطلبة والفئة العمرية.
6. أن يُخطّط له مسبقاً.

ثانياً: وضع خطة المشروع

يتم وضع الخطة تحت إشراف المعلم حيث يمكن له أن يتدخّل لتصويب أي خطأ يقع فيه الطلبة.

يقتضي وضع الخطة الآتية:

1. تحديد الأهداف بشكل واضح.
2. تحديد مستلزمات تنفيذ المشروع، وطرق الحصول عليها.
3. تحديد خطوات سير المشروع.
4. تحديد الأنشطة اللازمة لتنفيذ المشروع، (شريطة أن يشترك جميع أفراد المجموعة في المشروع من خلال المناقشة والحوار وإبداء الرأي، بإشراف وتوجيه المعلم).
5. تحديد دور كل فرد في المجموعة، ودور المجموعة بشكل كلّي.

ثالثاً: تنفيذ المشروع

مرحلة تنفيذ المشروع فرصة لاكتساب الخبرات بالممارسة العملية، وتعدّ مرحلة ممتعة ومثيرة لما توفّره من الحرية، والتخلص من قيود الصف، وشعور الطالب بذاته وقدرته على الإنجاز حيث يكون إيجابياً متفاعلاً خلّاقاً مبدعاً، ليس المهم الوصول إلى النتائج بقدر ما يكتسبه الطلبة من خبرات ومعلومات ومهارات وعادات ذات فائدة تنعكس على حياتهم العامة.

دور المعلم

1. متابعة الطلبة وتوجيههم دون تدخّل.
2. إتاحة الفرصة للطلبة للتعلّم بالأخطاء.
3. الابتعاد عن التوتّر مما يقع فيه الطلبة من أخطاء.
4. التدخّل الذكي كلما لزم الأمر.

دور الطلبة

1. القيام بالعمل بأنفسهم.
2. تسجيل النتائج التي يتم التوصل إليها.
3. تدوين الملاحظات التي تحتاج إلى مناقشة عامة.
4. تدوين المشكلات الطارئة (غير المتوقعة سابقاً).

رابعاً: تقويم المشروع: يتضمن تقويم المشروع الآتي:

1. الأهداف التي وضع المشروع من أجلها، ما تم تحقيقه، المستوى الذي تحقّق لكل هدف، العوائق في تحقيق الأهداف إن وجدت وكيفية مواجهة تلك العوائق.
2. الخطة من حيث وقتها، التعديلات التي جرت على الخطة أثناء التنفيذ، التقيّد بالوقت المحّدد للتنفيذ، ومرونة الخطة.
3. الأنشطة التي قام بها الطلبة من حيث، تنوّعها، إقبال الطلبة عليها، توافر الإمكانات اللازمة، التقيد بالوقت المحدد.
4. تجاوب الطلبة مع المشروع من حيث، الإقبال على تنفيذه بدافعيّة، التعاون في عملية التنفيذ، الشعور بالارتياح، إسهام المشروع في تنمية اتجاهات جديدة لدى الطلبة.

يقوم المعلم بكتابة تقرير تقويمي شامل عن المشروع من حيث:

- أهداف المشروع وما تحقّق منها.
- الخطة وما طرأ عليها من تعديل.
- الأنشطة التي قام بها الطلبة.
- المشكلات التي واجهت الطلبة عند التنفيذ.
- المدة التي استغرقها تنفيذ المشروع.
- الاقتراحات اللازمة لتحسين المشروع.

لجنة المناهج الوزارية:

د. صبري صيدم	أ. ثروت زيد	د. شهناز الفار
د. بصري صالح	أ. عزام أبو بكر	د. سمية نخالة
م. فواز مجاهد	أ. عبد الحكيم أبو جاموس	م. جهاد دريدي

اللجنة الوطنية لوثيقة العلوم:

أ.د. عماد عودة	د. جواد الشيخ خليل	د. حاتم دحلان	د. خالد السّوسي
د. رباب جرّار	د. سعيد الكردي	د. صائب العويني	د. عدلي صالح
أ.د. عفيف زيدان	د. محمد سليمان	د. محمود الأستاذ	د. محمود رمضان
د. مراد عوض الله	د. معمر شتيوي	د. معين سرور	د. وليد الباشا
د.إيهاب شكري	د.خالد صويلح	د.سحر عودة	د.عزيز شوابكة
د.فتحية اللولو	أ. أحمد سياعرة	أ. أماني شحادة	أ. أيمن شروف
أ. إيمان الريماوي	أ. ابراهيم رمضان	أ. جنان البرغوثي	أ. حسن حمامرة
أ. حكم أبو شملة	أ. خلود حمّاد	أ. رشا عمر	أ. رياض ابراهيم
أ. صالح شلالفة	أ. عفاف النجّار	أ. عماد محجز	أ. غدير خلف
أ. فراس ياسين	أ. فضيلة يوسف	أ. محمد أبو ندى	أ. مرام الأسطل
أ. مرسي سمارة	أ. مي اشتية	أ. ياسر مصطفى	أ.سامية غبن

المشاركون في ورشة عمل مناقشة كتاب الفيزياء للصف الثاني عشر:

هاني أبو بكر	سفيان صويلح	كفاح أبو الرب	وائل مغاري	هيام البحيصي
أيوب دويكات	نايف إعمر	د.رولى أبو شمة	محمد نزال	ابتسام التلباني
إيلاف علواني	رضا الصدر	أيمن شروف	د. عدلي صالح	نسرين صقر
عبد المجيد جبشة	مظفرعطعط	ربى دراغمة	عبد الرحمن حجاجلة	محمد أبو توهة
مرسي سمارة	رائد أحمد	عيسى اسعيد	أحمد سياعرة	زياد الحلبي
ياسر حسين	محمد رومي	شعبان صافي	جهاد حرز الله	سالم أبو مصلح
عطاف الزمار	فداء الشوبكي	سعاد غانم	عبد الحافظ الشيخ علي	يونس الناقة
خلود الخولي	حمدالله أبو صفط	سامر حجيجي	عدنان رضوان	سعيد عيسى
تيسير جنيد	سمير أبو ناصر	أحمد الزرقا	هشام حمدان	محمد السلك
هدى رباح	ميساء الأزهري	ياسر عرفات كلاب	ناجي أبو عاصي	محمود رصاص
وفاء أبو دقة	حماد أبو جلهوم	محمد فياض	عماد محجز	
سامر ابو لبدة	زانة أبو عودة	وائل السرحي	عوض مسلم	

فريق مراجعة كتاب الفيزياء للصف الثاني عشر:

د. ايناس ناصر	د.رباب جرار	د.محمود رمضان	أ.سامر حجيجي	أ.أحمد سياعرة