١٢

بسم الله الرحمن الرحيم

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي

الفيزياء

المؤلفون:

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

أ. أحمد سياعرة (منسقاً)

قررت وزارة التربية والتعليم العالي في دولة فلسطين
تدريس هذا الكتاب في مدارسها بدءاً من العام الدراسي ٢٠١٧/ ٢٠١٨ 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
رسومات	أ. سالم نعيم
متابعة المحافظات الجنوبية	د. سمية النخالة

الطبعة التجريبية
٢٠١٨ م/ ١٤٣٩ هـ

جميع حقوق الطبع محفوظة ©

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي
مركز المناهج

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

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 العالي

مركز المناهج الفلسطينية

آب / ٢٠١٨م

مـقـدمـة

إن اهتمـام وزارة التربيـة والتعليـم العالـي الفلسـطينية بتطويـر مناهـج التعليـم؛ وتحديثهـا فـي إطـار الخطـة العامـة للـوزارة؛ 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 موضوع الميكانيكا، والكهرباء المتحركة، والمغناطيسية، و الفيزياء الحديثة، وحرصنا على عرض المحتوى بأسلوب سلسٍ، وبتنظيمٍ تربوِّي فاعل؛ يعكس توجهات المنهج وفلسفتهُ، ويتمثل في دورة التعلم، حيث تم إستخدام المعادلة والقوانين بالحروف الإنجليزية 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.

المؤلفون

المحتويات

الوحدة الأولى: الميكانيكا

ما دور الفيزياء في فهم العوامل المؤثرة في التصادمات وآثارها؟

الميكانيكا

ماذا يحدث عند تصادم مركبتين؟ وكيف يتم تصميم المركبات لتخفيف الآثار الناتجة عن الحوادث؟ وما السرعة الآمنة لدخول المنعطفات الحادة؟ وكيف تفسر الفيزياء صعوبة إيقاف كرة عند قذفها بسرعة كبيرة؟ وما السرعة التي تطلق بها الأقمار الصناعية والمركبات الفضائية لتستقر في المدارات المحددة لها؟

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذه الوحدةالإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها، وتحقيق النتاجات الآتية:

١. التعرف إلى الزخم (كمية التحرك) الخطي والدفع وتطبيقاتها في التصادمات.
٢. التعرف إلى الحركة الدورانية وتطبيقاتها.
٣. اكتساب مهارة إجراء التجارب العلمية وحل المشكلات الفيزيائية.
٤. تقدير جهود العلماء في اكتشاف قوانين الفيزياء التي تفسر الظواهر الطبيعية، وما ينبثق عنها من تطبيقات عملية.
٥. تصميم مشروع حول حوادث الطرق وسبل الحد منها.

draft

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، .... وغيرها.

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.

draft

وبعد دراسة هذا الفصل سأكون قادرا على:

- تعرف كل من الزخم والدفع.
- 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 تتحكم في إيقاف كرة مندفعة تجاهي؟

نشاط (1-1): الزخم الخطي

المواد والأدوات: ٣ كرات مختلفة الكتلة، ونابض، وممحاة.

الخطوات:

١. ثبت السطح المائل بزاوية ميل معينة مثلاً ٣٠.
٢. قم بدحرجة الكرات الثلاث بدءاً من أعلى السطح .
٣. اضغط النابض مسافة معينة أفقيا بوساطة الكرة الأقل كتلة، ثم أفلت النابض نحو الممحاة، ولاحظ المسافة التي تتحركها الممحاة، وسجلها.
٤. كرّر الخطوة الأولى مع الكرتين الأكبر كتلة، مع ضغط النابض في كل مرة لنفس المسافة، ووضع الجسم على نفس البعد.
٥. أعد الخطوتين الأولى والثانية، بضغط النابض لمسافة تساوي مثلي المسافة الأولى، وسجل ملاحظاتك.

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 أو سرعته كبيرة كانت صعوبة إيقافه 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؟

draft

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:

1) $P = m.v$ للسيارة:

$= 1000 \times 20$

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

للكرة

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

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

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

$= \sqrt{64}$

$= 8$ kg.m/s (جنوباً)

سؤال: مركبتان متساويتان في الكتلة، وسرعة إحداهما ضعفا سرعة الأخرى، أيهما يسهل إيقافها؟ 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، وسيارة عندما لا تعمل، 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:

الدفع = القوة المؤثرة × زمن تأثيرها

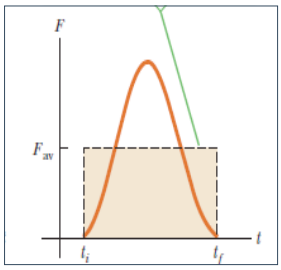
$$\mathbf{I} = \mathbf{F}\ \Delta t \qquad (1\text{-}2)$$

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

draft

أناقش:

١. ما وحدة قياس الدفع؟
٢. ما العوامل التي يعتمد عليها الدفع؟
٣. بين أن وحدة الدفع هي وحدة الزخم نفسها.
٤. ما أنواع القوى التي تؤثر على الجسم وينتج عنها دفع؟



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:

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

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).

draft

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 (2) يوضح ذلك.

نشاط (1-2): الدفع

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

دفع القوة F_1 = ...

زمن تأثير القوة F_1 = ...

دفع القوة F_2 =.....

زمن تأثير القوة F_2 = ...

ماذا تستنتج؟ .....

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

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:

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

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

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

draft

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 ، 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:

$$\mathbf{F}\ \Delta t = \Delta \mathbf{p} = \mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1$$

$$= m\mathbf{v}_2 - m\mathbf{v}_1$$

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

$$F \times 6 = -14400$$

$$F = -2400\ N$$

(الإشارة السالبة تشير إلى أن القوة المؤثرة عكس اتجاه الحركة)

draft

4-1 حفظ الزخم في نظام معزول

توصلنا إلى أن التغير في زخم جسم يساوي الدفع الذي يتلقاه بفعل القوة المحصلة خلال فترة تأثيرها. فإذا كانت القوة المحصلة في مجموعة من الأجسام تساوي صفراً سمّيت مجموعة الأجسام للنظام 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:

$$\mathbf{F}\,\Delta t = \Delta \mathbf{p} = \mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1 = 0$$

$$\mathbf{p}_2 = \mathbf{p}_1 = \text{مقدار ثابت}$$

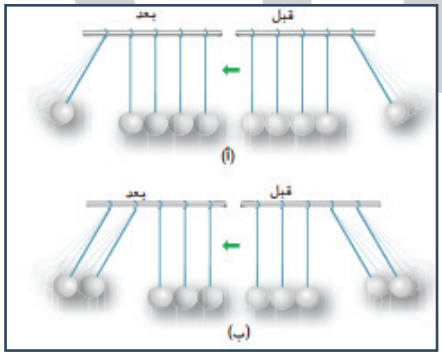
ويقال عند ثبوت أية كمية فيزيائية خلال أية عملية إن هذه الكمية محفوظة.

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

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

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 (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 وبعده؟

من النشاط السابق، وجدت 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 (لماذا)؟

draft

مثال (3):

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

الحل:

$$P_i = P$$

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

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

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

draft

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 المؤثر على الحائط عند اصطدام جسم كتلته 2 kg يتحرك أفقيا بسرعة 4 m/s بحائط وارتداده بنفس السرعة بوحدة (N.s)؟

أ) 8　　ب) 16　　جـ) 0　　د) 32

٣. إذا مثلت العلاقة بيانياً بين الزخم لجسم على محور الصادات والزمن على محور السينات، 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 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) وسرعته (v) ثابتة، فما 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 زخمه بوحدة (kg.m/s)؟

أ) 32　　ب) 8　　جـ) 40　　د) 48

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

أ) 18　　ب) 10　　جـ) 90　　د) 2

draft

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 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 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 بينما لا تنكسر البيضة نفسها إذا وقعت على أرض من الرمل الناعم.

٢. تكون مواسير بنادق الصيد طويلة.

٣. سرعة ارتداد المدفع أقل من سرعة انطلاق القذيفة.

س٤: أثرت قوة 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 كتلتها 0.6 kg ساكنة، 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: وضح العلاقة بين دفع القوة وزخم الجسم الذي أثرت فيه.

س٧: أثرت قوة لمدة 0.6 s على جسم، فازداد زخمه بمقدار 12 kg.m/s، احسب متوسط القوة المؤثرة.

draft

س٨: 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 أوقف جسمه 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؟

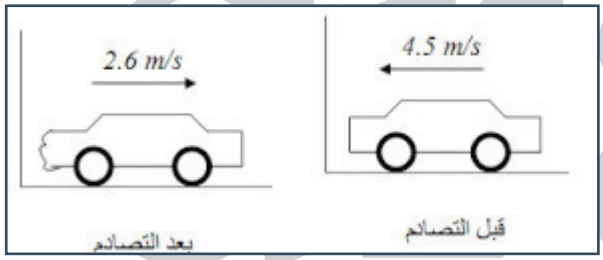
س٩: تسير سيارة كتلتها 600 kg بجانب متسابق وبسرعة 9 km/h، إذا كانت كتلة المتسابق 60 kg، أجب عما يلي:

أ- ما زخم السيارة؟

ب- زخم المتسابق؟

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

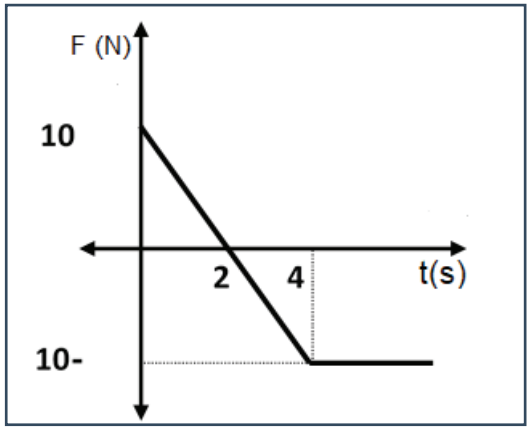
س١٠: في الشكل تقترب سيارة كتلتها 1600 kg من جدار وترتد عنه، فما:



١. التغير في زخم السيارة.

٢. الطاقة الحركية المفقودة.

س١١: 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. أكبر سرعة يمكن أن يمتلكها الجسم.

٢. زمن توقف الجسم.

٣. دفع القوة خلال 4 s .

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

draft

الفصل الثاني:

التصادمات (Collisions)

يفقد مئات الآلاف من الناس أرواحهم سنوياً في العالم بسبب حوادث الطرق، وما ينتج عنها من تصادمات. 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؟

ويتوقع من الطلبة بعد دراسة هذا الفصل القدرة على:

- توضيح المقصود بالمفاهيم والمصطلحات الآتية: التصادم، والتصادم المرن، والتصادم غير المرن، والتصادم عديم المرونة.
- 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.

draft

2-1 التصادم Collision

ترخر 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 عادة 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 تصادم الجسيمات الأولية في بناء النماذج الذرية.

أناقش:

١. متى يقال عن حادث السير تصادماً؟
٢. من أين يأتي الصوت عند تصادم الكرات الزجاجية؟
٣. ما الدور الذي يقوم به الشرطي عند وقوع حادث تصادم؟
٤. ما تحولات الطاقة عند حدوث التصادم؟
٥. هل يمكنك وصف ما يحدث في لعبة تصادم السيارات في الملاهي؟

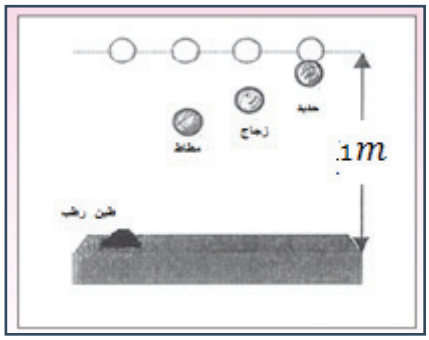
2-2 أنواع التصادمات Types of Collisions

في أي نظام معزول ميكانيكياً يكون الزخم محفوظاً، لكن هل 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:

Draft

نشاط (2- 2): أنواع التصادم

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 سقوطها حتى ارتدادها؟

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 غير المرن ويسمى عديم المرونة.

أناقش:

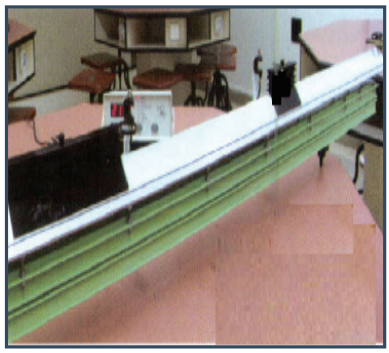
١. ما أشكال فقدان الطاقة الحركية نتيجة التصادم؟
٢. علام يعتمد مقدار الطاقة الحركية المفقودة نتيجة التصادم؟
٣. أذكر أمثلة من الحياة اليومية على أنواع التصادم محدداً نوعه بناء على ما سبق.

draft

نشاط (3-2) 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

٣. ليسهل ارتدادهما عند التصادم.

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

٥. قم بتشغيل مضخة الهواء لتقليل الاحتكاك.

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

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

٨. سجل زمن مرور العربة الثانية t_{1i} عبر البوابة الضوئية (t_{2f}) ، ثم احسب سرعتها v_{2f}

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

١٠. 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_{2i}(s)	v_{2i}(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_{2i}	p_{2f}	$\sum p_i$	$\sum p_f$	$\frac{\sum p_f}{\sum p_i}$
$m_1 = m_2$							
$m_1 > m_2$							
$m_1 < m_2$							

draft

- من خلال حساب التغير في الزخم للعربتين قبل التصادم، وكذلك بعد التصادم. 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:

$$\Delta p_1 = p_{1f} - p_{1i}$$

$$\Delta p_1 = m_1 v_{1f} - m_1 v_{1i}$$

$$= 0 - m_1 v_{1i}$$

$$\Delta p_2 = m_2 v_{2f} - m_2 v_{2i}$$

$$= m_2 v_{2i}$$

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:

$$F_{21} = -F_{12}$$

$$\Delta P_1 = - \Delta P_2$$

أي أن التغير في زخم كلتا العربتين:

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

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

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

draft

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

كذلك فإن مجموع الطاقة الحركية للعربتين قبل التصادم يساوي مجموع الطاقة الحركية للجسمين بعد التصادم؛ وهذا يعني أن الطاقة الحركية محفوظة. $\sum K_f = \sum K_i$

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

وتستخدم المعادلات السابقة لحساب سرعة الكرتين بعد التصادم. 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 (B-2) 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 (C -2) على (A - 2):

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

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

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

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

حيث:

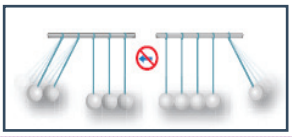
v_{12i}: تعني سرعة الجسم الأول بالنسبة للجسم الثاني قبل التصادم.

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

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.

draft

التصادم المرن: تأثير متبادل بين جسمين 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 على الآخر؟
- لماذا نعبر عن القوة المتبادلة بين الجسمين بمتوسط القوة بينهما؟

مثال (1):

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

الحل:

على اعتبار أن الكميات الفيزيائية المتجهة تكون موجبة في اتجاه الإحداثيات الموجبة، وسالبة في اتجاه الإحداثيات السالبة (عدا تسارع الجاذبية الأرضية فإنها تكون دائما سالبة)، فإن:

$$\sum P_i = \sum P_f$$

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

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

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

$$v_{2f} = 2 - 2 v_{1f} \ldots\ldots\ldots (1$$

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

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

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

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

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

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

draft

نشاط (3-2) التصادم غير المرن Inelastic Collision

المواد والأدوات: كرات زجاجية، وكرات من الصلصال الرطب.

الخطوات:

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

٢. قم بدحرجة كرات الطين الرطب تجاه بعضها بعضاً.

٣. لاحظ ماذا حدث عند تصادمها؟

٤. هل سمعت صوتا لتصادم كرات الزجاج؟

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

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 كمية التحرك.

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

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

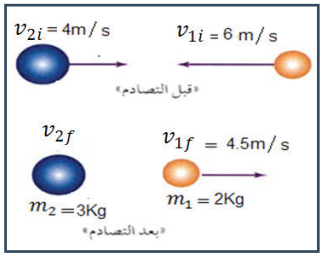
مجموع الطاقة الحركية للجسمين قبل التصادم $= (\frac{1}{2} m_1 v^2_{1i} + \frac{1}{2} m_2 v^2_{2i})$

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 $\Delta K = \sum K_f - \sum K_i$

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

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. متوسطة القوة التي أثرت بها الكرة الأولى على الكرة الثانية أثناء التصادم.

٣. حدد نوع التصادم.

draft

الحل:

$$\sum P_i = \sum P_f$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

الإشارة السالبة تعني أن النظام فقد طاقة.

بما أن الطاقة الحركية ليست محفوظة، وتحرك كل من الجسمين بشكل منفرد بعد التصادم، 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 كبير للطاقة الحركية، وهذا النقص يتحول إلى أشكال أخرى للطاقة فإن هذا التصادم يسمى عديم المرونة، ومن الأمثلة عليه تصادم السهم وقرص التصويب.

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.

draft

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 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 طاقة الحركة وطاقة الوضع فإن الكرتان ستصلان بعد التصادم إلى ارتفاع h´ ، ويساوي ربع الارتفاع الذي أفلتت منه الكرة الأولى قبل التصادم h.

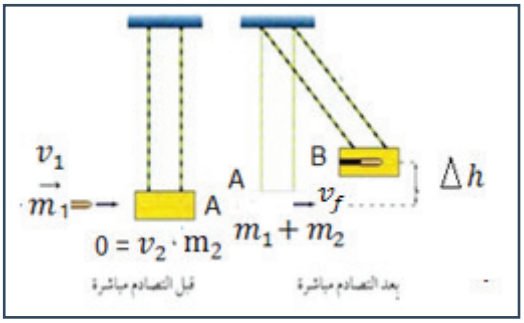
أي ان: $h = \frac{1}{4}\ h'$

سؤال: أثبت العلاقة السابقة رياضياً.

draft

من الأمثلة على التصادم عديم المرونة:

البندول القذفي البسيط المستخدم لحساب سرعة انطلاق رصاصة بطريقة غير مباشرة، ويتكون من كتلة خشبية معلقة بحبلين متساويين في الطول متوازيين غير مرنين، حيث كتلة الخشبة المعلقة أكبر بكثير من كتلة الرصاصة.



مشروع (1)

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

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

مشروع (2)

صمم لعبة التنشين بالسهم على قرص التصويب.

المواد والأدوات: قرص دائري، وألوان، وأسهم عدد ٣ .

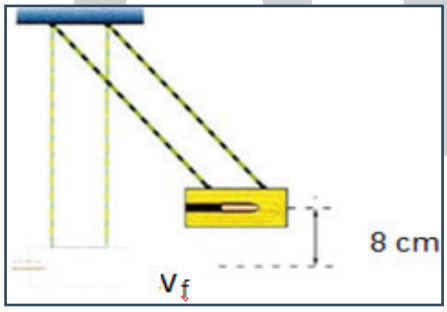
مثال (3):

أطلقت رصاصة كتلتها 30 g على كتلة خشبية كتلتها 4.97 kg معلقة كما في الشكل، 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 تحولات الطاقة)

$$\sum U = \sum K$$

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

$$5 \times 10 \times 0.08 = \frac{1}{2} \times 5 \times v_f^2$$

$$v_f = 1.26 \text{ m/s}$$

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

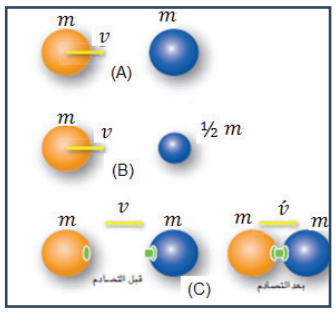
$$= \frac{1}{2} \times 5 \times 1.26^2 - \frac{1}{2} \times 0.03 \times 210^2$$

$$= 4 - 661.5 = -657.5 \text{ J}$$

draft

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.

أناقش:



ماذا تتوقع أن يحدث في الحالات الآتية:

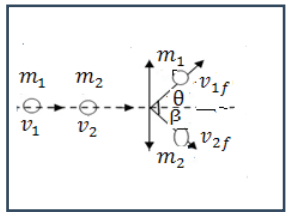
- اصطدام كرة متحركة بأخرى ساكنة مماثلة لها في الكتلة.
- اصطدام كرة متحركة بكرة ساكنة كتلتها نصف كتلة المتحركة.
- اصطدام كرة متحركة بكرة ساكنة مماثلة لها في الكتلة والتصاقهما معاً بعد التصادم.

2-2 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 يصنع فيه اتجاه حركة الأجسام المتصادمة زوايا بعضها مع بعض قبل التصادم أو بعده ، وفيه يتحقق قانون حفظ كمية التحرك في كلا الاتجاهين (السيني والصادي)، بينما حفظ الطاقة الحركية يعتمد على نوع التصادم إن كان مرناً، أو غير مرن، أو عديم المرونة.



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

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

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

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

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

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

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

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

draft

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:

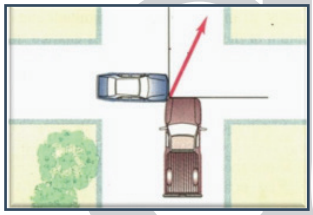
$$v_{fx} = v_f \cos\theta$$

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

أفكر

لماذا يختلف تطبيق قانون حفظ كمية التحرك عن قانون حفظ الطاقة الحركية في حال التصادم في بعدين؟

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:

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

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

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

$$2mv_{fx} = 13$$

$$2v_f \cos 55 = 13$$

$$v_f = 11.33 \text{m/s}$$

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

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

$$(m\ v_1 \sin 0 + mv_2 \sin 90) = 2mv_{fy}$$

$$2v_{fy} = (v_2 \sin 90)$$

$$2 \times 11.33 \times \sin 55 = v_2$$

$$v_2 = 18.56 \text{ m/s}$$

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

draft

سؤال: كرة كتلتها 3 kg تتحرك بسرعة 5 m/s نحو محور السينات الموجب، فتصطدم بكرة أخرى 2 kg كتلتها متحركة بسرعة 3 m/s تجاه محور الصادات 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.

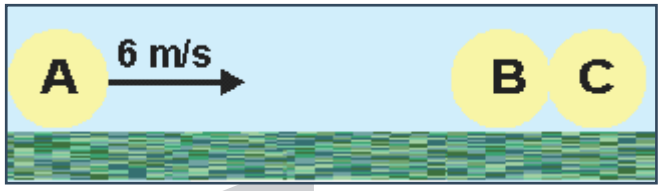
ومجموعة تباشر بحملات توعية في المدرسة حول أهمية وضع (ربط) حزام الأمان بعمل منشورات توعوية.

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 55 kg وتحرك بسرعة 3 m/s وكتلة الآخر وتحرك بسرعة 50 m/s، إن التغير في الزخم للصديقين بوحدة (kg.m/s):

أ) 165 ب) 330 جـ) 1050 د) 0



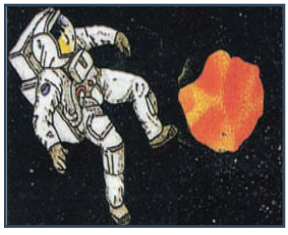
٢. في الشكل المجاور,(A,B,C) ثلاث كرات زجاجية متماثلة . إذا تحركت الكرة (A) بسرعة مقدارها (6 m/s) نحو الكرتين (B,C) الساكنتين والمتلامستين فاصطدمت بالكرة (B) تصادماً مرناً – بإهمال الاحتكاك - فإنه بعد التصادم:

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

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

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

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



٣. إذا ركل رائد فضاء حجراً 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 كانت كمية تحرك A مثلي كمية تحرك B، فإن:

أ) K_A مثلي K_B ب) K_A أربعة امثال K_B جـ) K_A نصف K_B د) K_A ربع K_B

٥. تصادم جسم كتلته وسرعته تصادماً عديم المرونة بجسم آخر ساكن مماثل له في الكتلة، فما الطاقة الضائعة؟

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

draft

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 محفوظة دائماً في أية عملية تصادم؟

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 متعاكس في الاتجاه لكل أنواع التصادمات.

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

جـ) متساوٍ لكل أنواع التصادمات.

د) متساوٍ في المقدار متعاكس 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: ($m_2 > m_1$، $v_2 < v_1$) تصادم 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: وضح المقصود بكل من: التصادم، والتصادم عديم المرونة.

س٣: ماذا نعني بقولنا: إن جسمين اصطدما تصادماً مرناً؟

س٤: علل:

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

٢- دراسة التصادمات بين الأجسام.

٣- إذا سقطت كرة من الطين تجاه أرضية صلبة فإنها لا ترتد إلى نفس الارتفاع الذي سقطت منه.

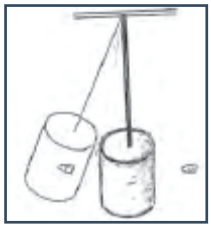
draft

س٥: 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 .

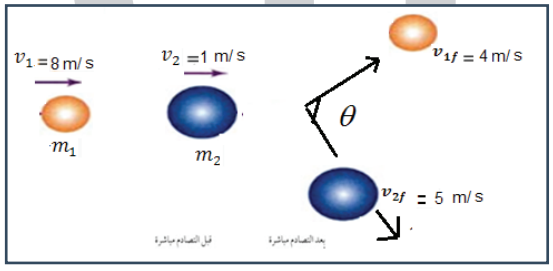
٢- سرعة الجسم الثاني بعد التصادم مباشرة .

س٦: 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 .



س٧: اصطدمت رصاصة كتلتها 20 g بقطعة خشبية معلقة كتلتها 980 gm فاستقرت بها، وارتفعت المجموعة عن وضع الاتزان 10 cm، احسب سرعة الرصاصة قبل الاصطدام مباشرة .

س٨: جسمان لهما نفس الكتلة وبنفس السرعة يسيران بحيث يصنعان بينهما زاوية، اصطدما وكونا جسماً واحداً وتحركا بنصف سرعتهما الأصلية أوجد الزاوية بينهما قبل الاصطدام مباشرة.



س٩: كرة كتلتها 1 kg تتحرك بسرعة 8 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.

س١٠: 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، جد كلاً من:

١- سرعة القطعة الخشبية بعد الاصطدام مباشرة.

٢- مقدار الطاقة الحركية المفقودة.

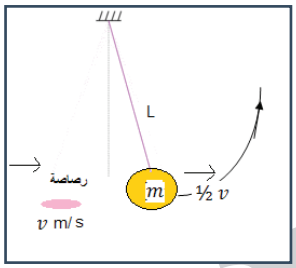
draft

س١١: في الشكل تنزلق الكتلتان 2 kg، 4 kg من السكون من ارتفاع 5 m على مستوى أملس إذا اصطدمتا تصادماً مرناً، جد:

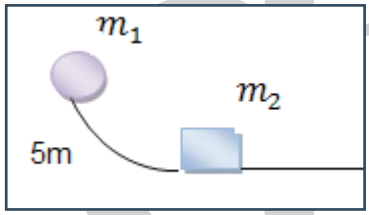
١- سرعة كل من الكرتين قبل التصادم مباشرة.

٢- سرعة كل من الكرتين بعد التصادم مباشرة.

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



س١٢: بالنظر في الشكل المجاور، ما أقل سرعة للرصاصة المتجهة صوب الجسم الخشبي المعلق إذا خرجت منه بسرعة $\frac{1}{2}$ v، وتركته يتحرك بحيث يصبح رأسياً في الاتجاه المعاكس، علماً أن كتلة الرصاصة 10 gm ، وكتلة قطعة الخشب 490 gm .



س١٣: 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.

draft

الفصل الثالث:

التحريك الدوراني Rotational Dynamics

تأمل الأشكال أعلاه، أي الأشكال يتحرك حركة دائرية؟ وأيها يتحرك حركة دورانية؟ وما الفرق بينهما؟

شغلت الحركة فكر الإنسان منذ القدم، فكان أول اختراع له هو العجلة، ليتمكن من الحركة والتحريك بسهولة. أما اليوم فهي علم له قواعده ونظرياته، ويتحكم في جميع وسائل حياة الإنسان. ودراسة الحركة الدائرية والدورانية، تسهل علينا فهم نظرية عمل الآلات الدوارة، وكذلك استنتاج قوانينها من خلال الفهم الجيد لأساسيات الحركة الدائرية والدورانية، ومن ثم القدرة على التعامل مع جميع الآلات الدوارة.

ويتوقع من الطلبة بعد دراسة هذا الفصل القدرة على:

- 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.
- التعرف إلى القانون الثاني لنيوتن في الحركة الدورانية.
- 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 البرغي في منتصف اللوح.

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

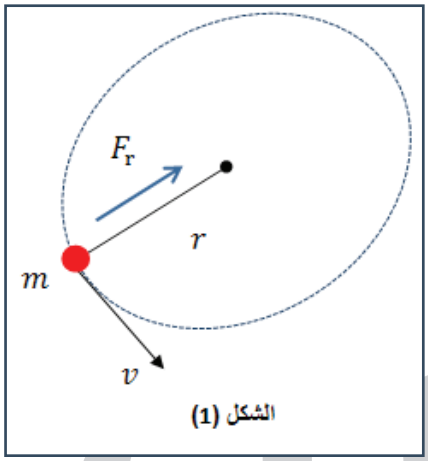
٣. شغل السيارة واتركها تتحرك، ماذا تلاحظ؟

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 (1)

نفرض أن لدينا كرة كتلتها m مربوطة بخيط تدور في مسار دائري أفقي بسرعة ثابتة v كما في الشكل (1)، وبما أن اتجاه السرعة يتغير باستمرار أثناء الحركة فإن الكرة تتسارع نحو المركز ومقدار التسارع المركزي $a_c = \frac{v_2}{r}$

يحاول قصور الكرة الذاتي أن يحافظ على سيرها في خط مستقيم، إلا أن الخيط يمانع هذا الميل ببذله قوة على الكرة تخضعها للحركة في مسار دائري، ويمكن إيجاد مقدار القوة في الاتجاه المركزي بتطبيق القانون الثاني لنيوتن: $F_c = mac$

وبتعويض $v = \omega r$ في $F_c = m \frac{v_2}{r}$

$$F_c = m r \omega^2$$

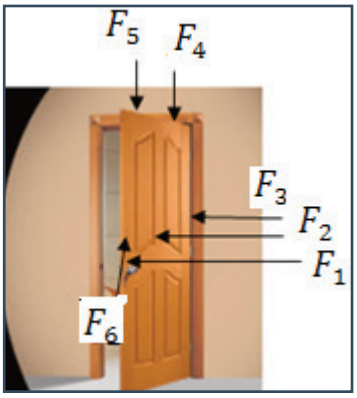
ما حالات القوى التي تسبب القوة المركزية في الظواهر الكونية والطبيعية؟

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:

draft

نشاط (3-2): فتح الباب وغلقه



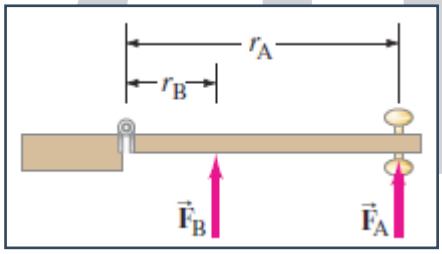
المواد والأدوات: باب.

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	
F_4	
F_5	
F_6	

أكتب بعض النتائج التي يمكن التوصل إليها من هذا النشاط.



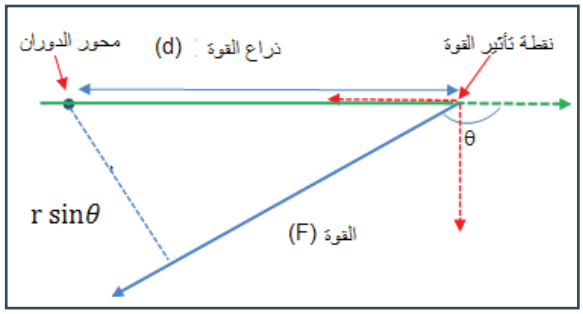
تعرفت سابقاً أنه لجعل الجسم يبدأ بالدوران حول محور ما، فإننا نحتاج إلى قوة. ولكن، ما اتجاه هذه القوة، وأين تؤثر مهم أيضاً. خذ على سبيل المثال المنظر العلوي للباب المبين في الشكل المجاور. إذا أثرت بالقوة F_A في الباب كما في الشكل، فستجد أنه كلّما كان مقدار F_A كبيراً، فتح الباب أسرع.

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 العزم للقوة، ويرمز لها بالرمز r_A ، r_B للقوتين في الشكل.

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

draft

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 (2) ثم ناقش المفاهيم الآتية.

1- محور دوران الجسم.

2- نقطة تأثير القوة.

3- ذراع القوة.

4- الزاوية θ.

5- $r \sin\theta$

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

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

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

أو

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

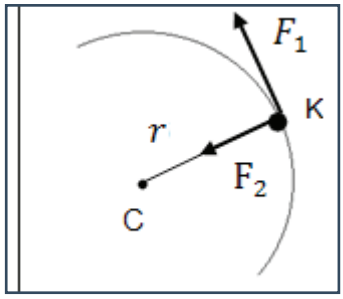
يحدد اتجاه عزم القوة بقاعدة اليد اليمنى حيث نجعل اتجاه الأصابع باتجاه متجه الموضع r وتدوير الأصابع باتجاه المتجه الثاني القوة بأصغر زاوية، فيشير الابهام إلى متجه τ .

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 كما يعتقد بعض الناس.

draft

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 كما في الشكل(3)؟



الشكل (3)

الحل: _____

القوة F_1 قوة مماسية

$$\tau_1 = r\ F_1 \sin 90^\circ$$
$$= r\ F1$$

اتجاه العزم حسب قاعدة اليد اليمنى خارج الورقة

القوة F_2 قوة قطرية

$$\tau_2 = r\ F_2 \sin 0 = 0$$

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 $\mathbf{I_{CM}}$

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

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

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 الكتلة 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:

$$1 = \sum m_i\ r_i^2 = m_1\ r_1^2 + m_2\ r^2_2 + m^3\ r^2_3 + \ldots\ldots \qquad (3\text{-}3)$$

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

draft

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	أي قطر فيها	$\frac{2}{5}$ MR^2
قشرة كروية رقيقة نصف قطرها R	أي قطر فيها	$\frac{3}{2}$ MR^2
أسطوانة مصمتة قائمة نصف قطرها R وطولها L	محورها الطولي	$\frac{1}{2}$ MR^2

مثال (2):

وضع جسمان كتلتاهما (5 kg)، (7 kg) على بُعد (4 m) على ساق معدني خفيف (مهمل الوزن) كما في الشكل (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 (b).

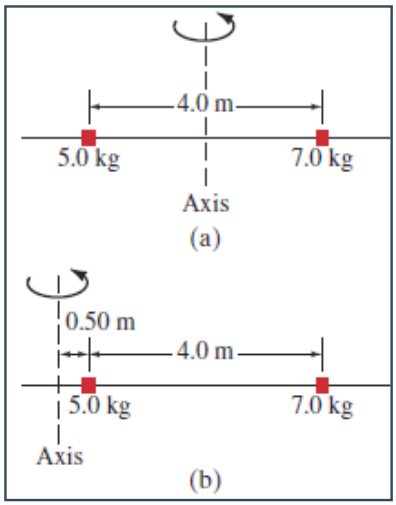
الحل:

$$1)\ I = \sum m\, r^2 = m_1\, r_1^{\,2} + m_2\, r_2^{\,2}$$

$$= 5\ \text{kg} \times (2\ \text{m})^2 + 7\ \text{kg} \times (2\text{m})^2$$

$$= 20\ \text{kg.m}^2 + 28\ \text{kg.m}^2 = 48\ \text{kg.m}^2$$

draft



2) $I = \sum m r^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2$

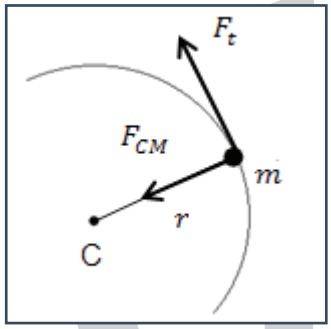
$= 5\ kg \times (0.5\ m)^2 + 7\ kg \times (4.5m)^2$

$= 1.3\ kg.m^2 + 142\ kg.m^2 = 143\ kg.m^2$

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

القانون الثاني لنيوتن في الحركة الدورانية

في الشكل (3- 5) جسم كتلته m يدور في مسار دائري نصف قطره r تحت تأثير قوة مماسية F_t، فإن قوة مركزية F_{CM} سوف تتولد أيضا.وحيث إن القوة المماسية F_t تعطى حسب القانون الثاني لنيوتن بالعلاقة $F_t = m\ a_t$ حيث 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

$$a_t = r\ \alpha \qquad (3\text{-}4)$$

$$\tau = I_{CM}\alpha$$

حيث: I_{CM} تشير للقصور الدوراني.

وتعبر هذه العلاقة عن القانون الثاني لنيوتن في الحركة الدورانية الذي ينص على:

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

ونلاحظ هنا التناظر الواضح بين الحركة الانتقالية والحركة الدورانية.

draft

نشاط (3-4): المعنى الفيزيائي لعزم القصور

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

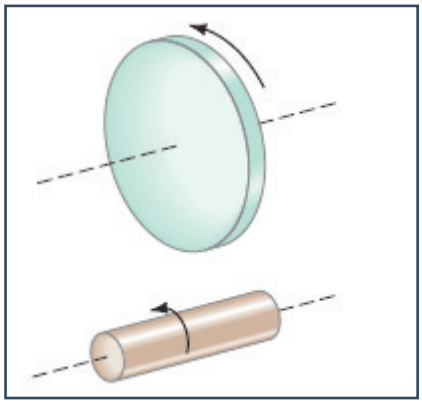
وجه المقارنة	الحركة الانتقالية	الحركة الدورانية
سبب التحريك		
دليل التحريك		
ممانعة التحريك		
التغير والثبات		

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 طريقة دوران الجسم والمحور 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 (3-2) لكل جسيم، ومن ثم نجد مجموع عزوم الدوران الناتجة عن كل جسيم. أي:

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

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

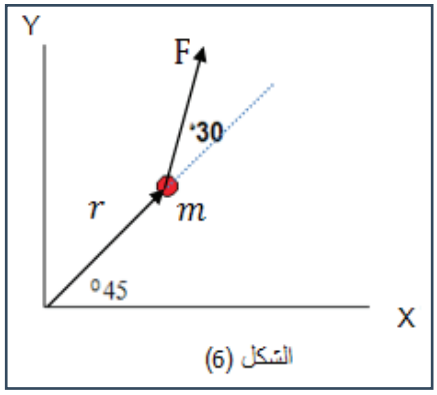


إنه ينطبق على دوران جسم جاسئ حول محور ثابت. نرى أن عزم القصور الدوراني هو مقياس للقصور الدوراني لجسم، يؤدي الدور نفسه في الحركة الدورانية الذي تؤديه الكتلة في الحركة الانتقالية. كما يعتمد القصور الدوراني ليس على الكتلة فحسب، بل على كيفية توزيع هذه الكتلة بالنسبة إلى المحور أيضاً. فمثلاً، أسطوانة ذات 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.

draft

مثال (3):

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



الشكل (6)

الحل: _____

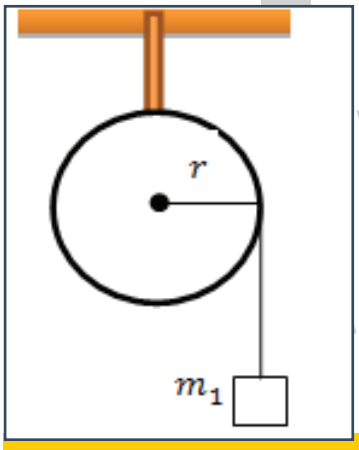
باستخدام قاعدة اليد اليمنى يكون اتجاه العزم عمودي على مستوى XY خارج الورقة

$$\tau = I_{CM}\alpha$$

$$4 = mr^2\alpha = 2 \times 2^2\alpha$$

$$\alpha = 0.5\ rad/s^2$$

سؤال: يعلق جسم كتلته m_1 بنهاية خيط يمر حول بكرة خشنة كتلتها m_2 ونصف قطرها r، مثبتة بحيث يمكنها الدوران حول محور أفقي يمر من مركزها، كما في الشكل (4). ما عزم القوى المؤثرة على البكرة؟



3-3 الشغل والطاقة الحركية في الحركة الدورانية

الطاقة الحركية الدورانية

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

ولكن السرعة الخطية $v = r\,\omega$

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

لكن عزم القصور الذاتي للجسم النقطي بالنسبة لمحور الدوران $I_{CM} = m\,r^2$

بالتعويض عن I_{CM}

$$K_R = \frac{1}{2}I_{CM}\omega^2 \qquad (3\text{-}5)$$

raft

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

الجسم الذي يتدحرج ومركز كتلته يتحرك انتقالياً سيكون له طاقة حركية خطية وأخرى دورانية. المعادلة (3-4) تُعطي الطاقة الحركية الدورانية إذا كان محور الدوران ثابتاً. وإذا كان الجسم متحركاً (مثل دولاب يتدحرج أسفل تلة)، فإن هذه المعادلة تنطبق ما دام محور الدوران ثابتاً من حيث الاتجاه. والطاقة الحركية الكلية هي:

$$K = \frac{1}{2}Mv^2_{cm} + \frac{1}{2} I_{cm}\,\omega^2 \qquad (3\text{-}6)$$

حيث:

v_{cm} السرعة الخطية لمركز الكتلة.

I_{cm} القصور الدوراني حول محور يمر بمركز الكتلة.

ω السرعة الزاوية حول محور يمر بمركز الكتلة.

M الكتلة الكلية للجسم

مثال (4):

احسب الطاقة الحركية الدورانية لدولاب كتلته 25 kg، يدور بمعدل (6) دورات في الثانية، إذا كان نصف قطر التدوير الخاص به 22 cm.

الحل:

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

$$I = mr^2 = 25 \times 0.22^2 = 1.12 \text{ kg . m}^2$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 6 = 12\,\pi \text{ rad/s}$$

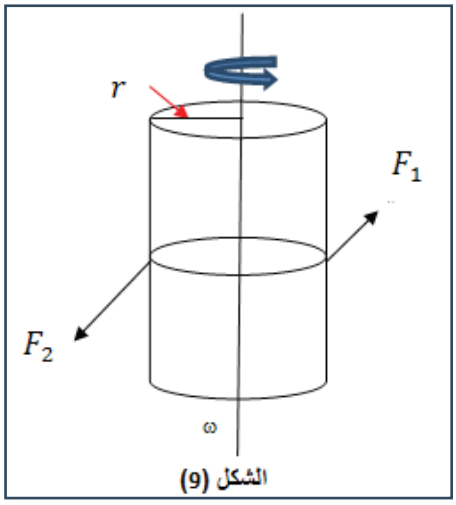
$$K = \frac{1}{2} I\,\omega^2 = \frac{1}{2} \times 1.12 \times (12\,\pi)^2 = 795 \text{ J}$$

مثال (5):

ما الطاقة الحركية الدورانية للأسطوانة الموضحة بالشكل (9) 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. m² ونصف قطر قاعدتها 3 m؟

draft

الحل: _____



الشكل (9)

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

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

$$\tau_{net} = 3 \times (5 \times 1 + 7 \times 1) = 36\ N.M$$

$$\tau = I\alpha$$

$$\alpha = \frac{\tau}{I} = \frac{36}{0.2} = 180\ rad/s^2$$

التسارع الزاوي ثابت

$$\omega_2 = \omega_1 + at$$

$$\omega_2 = 0 + 180 \times 2 = 360\ rad/s$$

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

$$K = \frac{1}{2} \times 0.2 \times 360^2 = 12.96\ kJ$$

الشغل المبذول من عزم الدوران:

الشغل المبذول على جسم يدور حول محور دوران ثابت، مثل البكرات، يمكن كتابته بدلالة الكميات الزاوية.
القوة F تولد عزماً $\tau = rF$ على دولاب تبذل شغلاً
$W = F\Delta L$ في إدارة الدولاب مسافة صغيرة ΔL عند نقطة تأثير القوة F.

$$W = F\Delta L = Fr\Delta\theta = \tau\Delta\theta \quad \text{حيث } \Delta L = r\Delta\theta\ ,\ \tau = rF$$

أي أن:

$$W = \tau\Delta\theta \qquad (3\text{-}7)$$

حيث:

W الشغل المبذول من عزم الدوران خلال زاوية .

وأما القدرة P فهي معدل الشغل المبذول:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \tau\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \tau\,\omega \qquad (3\text{-}8)$$

draft

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 ثانية. 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 ثانية.

4) الشغل الذي يبذله العزم المؤثر.

الحل:

1) $\omega_1 = 0$

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

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

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

3) $\theta = \omega_1 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 = 0 + \frac{1}{2} \times 8.38 \times 152 = 942.75 \text{ rad}$

4) $W = \tau\theta = 0.0134 \times 942.75 = 12.6 \text{ J}$

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) $L = m\,v\,r$

ولكن $v = r\,\omega$ ، وبالتعويض في : $L = m\,v\,r$

نحصل على: $L = m\,r^2\,\omega$

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

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

وهي عبارة عن كمية تعبر عن حاصل ضرب السرعة الزاوية في القصور الدوراني

draft

أناقش:

- هل الزخم الزاوي كمية متجهة أم قياسية؟
- ما وحدة قياس الزخم الزاوي في النظام الدولي؟
- كيف يمكن تعيين اتجاه الزخم الزاوي؟

ومن التماثل بين الحركتين الدورانية والانتقالية، فإن صيغة قانون نيوتن الثاني بدلالة التغير في كمية التحرك F_{net} ، تماثل: $\frac{\Delta L}{\Delta t}$

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

حيث:

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

Δt التغير في الزخم الزاوي خلال الفترة الزمنية.

وللزخم الزاوي دور مهم لأنه تحت ظروف معينة، يكون كمية محفوظة. كما نستنتج من المعادلة (3-10) أنه إذا كان العزم الكلي يساوي صفراً، فإن:

$$\frac{\Delta L}{\Delta t} = 0 \rightarrow \Delta L = 0 \rightarrow L_2 - L_1 = 0$$

$$L_2 = L_1 \rightarrow I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2 \qquad (3\text{-}12)$$

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 بلوي جسمه، وضم صدره إلى ركبتيه، وعندما يقترب من الماء يقوم بفرد جسمه، لماذا؟
- يقوم الراقص على الجليد بضم يديه إلى صدره عند الدوران لماذا؟ ويفردهما عندما يريد التوقف عن الدوران، لماذا؟
- اذكر تطبيقات أخرى.

draft

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؟

الحل: ———————————

بما أنه لا يؤثر أي عزم دوران خارجي على الأرض أثناء الانكماش، ومحور الدوران ثابت، فإن كمية التحرك الزاوي تظل ثابتة أي:

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

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

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

باعتبار أن كثافة الأرض منتظمة وكتلته لم تتغير.

لكن $r_1 = 2r_2$

$$\frac{2}{5} m\omega_1 r_1^2 = \frac{2}{5} m\omega_2 \left(\frac{1}{4}\right) r_1^2$$

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

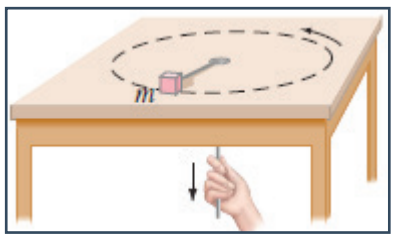
أي 4 دورة / يوم (أي أن طول اليوم سوف يصبح 6 ساعات).

$$\omega_2 = 4\omega_1$$

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):



تدور كرة صغيرة كتلتها 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 كانت تدور 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 الكرة v_2 ؟

draft

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: $L_1 \ \omega_1 = I_2 \omega_2$

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

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

$$v_2 = r_2\,\omega_2 = r_2\ \frac{v_1}{r_1}\ \frac{r_1^{\ 2}}{r_2^{\ 2}} = v_1\ \frac{r_1}{r_2} = 2.4 \times \frac{0.8}{0.45} = 4\ \text{m/s}$$

مثال (9):

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

الحل:

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

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

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 $7 \times 10^6\ \text{m/s}$. احسب كلاً من:

أ) السرعة الزاوية للقمر الصناعي.

ب) الزخم الزاوي للقمر الصناعي.

draft

أسئلة الفصل

س١: اختر الإجابة الصحيحة فيما يلي:

١. كرتان متجانستان مصمتتان لهما الكتلة نفسها، طول نصف قطر الأولى مثلا 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 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:

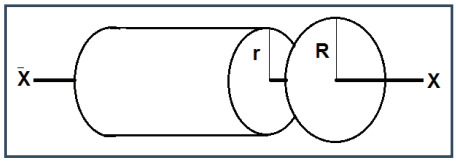
أ) طردياً مع السرعة الزاوية للجسم (ω) ب) عكسياً مع مربع السرعة الزاوية (ω^2)

جـ) طردياً مع مربع السرعة الزاوية (ω^2) د) عكسياً مع العزم الدوراني للجسم $\frac{1}{I}$

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 (XX) كما هو موضح في الشكل، فإذا كان لهما الطاقة الحركية الدورانية نفسها، فما النسبة بين نصفي قطريهما (r : R)



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

٧. ما وحدة قياس الزخم الزاوي؟

أ) $kg.m^2\ Rad/s$ ب) $kg.m\ Rad/s$ جـ) $kg.m/s$ د) J

draft

٨. 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

٩. أي الكميات الآتية محفوظة دائما في أي 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 خلال 10 s، جد كلاً من:

- طاقته الحركية الدورانية الابتدائية.
- العزم اللازم لإيقاف القرص.
- الشغل المبذول على القرص.

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.

جـ- الشغل المبذول على الإطار.

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

draft

أ - بعد النقطة المادية عن محور الدوران.

ب - السرعة الخطية للنقطة.

جـ - زخم النقطة 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 ($I = \frac{1}{12} Mr^2$) ، 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).

أ – ما السرعة الزاوية للإطارين معاً؟

ب – ما 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؟

draft

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) $\frac{3}{4}mv^2$

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 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) كمية التحرك ب) كتلة الجسم جـ) التسارع د) القوة المؤثرة

draft

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

أ) 10 ب) 75 جـ) 25 د) 30

10. كتلتان متماثلتان تتحركان باتجاهين متعاكسين بالسرعة نفسها، فإن التغير في 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) 1.6 د) 4

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 عزمه 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) $\omega_1 = 2\ \omega_2$ ج) $\omega_1 = 3\ \omega_2$ د) $\omega_1 = 4\ \omega_2$

draft

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) $16\ L_A$

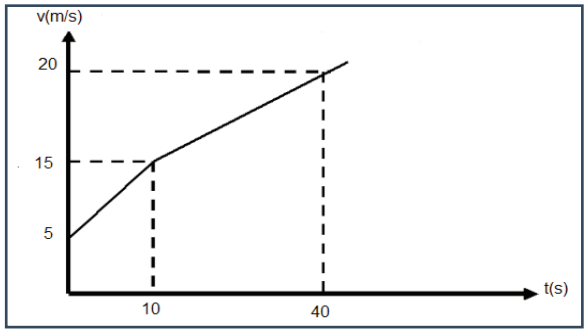
س2: اصطدمت كتلة مقدارها 50 gm تسير بسرعة 5 m/s بجدار ، وارتدت عنه بطاقة حركية تعادل ربع طاقتها الحركية الابتدائية وعلى الخط نفسه . احسب كلاً من:

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 ، فإذا سقط عليه عموديا جسم آخر كتلته 10 kg بسرعة 30 m/s، والتصق الجسمان وسارا معا بالسرعة نفسها. فما هي سرعة الجسمين الملتصقين.

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.

draft

س6: جسم كتلته 2 kg يتحرك بسرعة 4m/s 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

س٧: 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.

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).

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

ب – أي المتزلجين سرعته أكبر؟

ج – أي المتزلجين دفع بقوة أكبر؟

draft

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 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 ($2\ kg.m^2$).

أ – ما سرعته الزاوية بعد ضم يديه لصدره؟

ب – ما التغير في طاقته الحركية؟

س14: مسطرة طولها (1 m) وكتلتها (0.3 kg) ، تؤثر عليها قوة عمودية (5 N) عند أحد أطرافها، فإذا دارت 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 (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؟

draft

الوحدة الثانية: الكهرباء المتحركة

ما علاقة الشمس بأشكال الطاقة المختلفة؟

الكهرباء المتحركة

عرف الإنسان ظاهرة الكهرباء منذ زمن بعيد، غير أن تطبيقاتها العملية تأخرت حتى اخترع العالم أليساندور فولتا في عام (1800 م) الخلية الكهربائية (البطارية)، فقد استخدمت البطارية مصدراً للقوة الدافعة الكهربائية يُنتج تياراً كهربائياً مستمراً في الدارات الكهربائية. فما التيار الكهربائي؟ وما القوة الدافعة الكهربائية؟ وما القوانين التي تحكم الدارات الكهربائية.

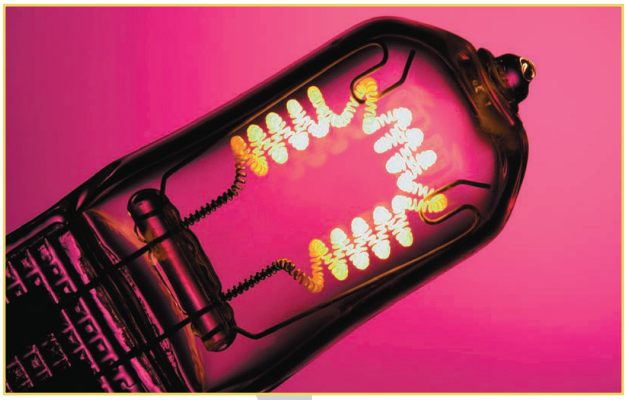
يتوقع من الطلبة بعد دراسة هذه الوحدة أن يجيبوا عن هذه الأسئلة وغيرها، وأن يحققوا النتاجات الآتية:

١. التعرف إلى العديد من المفاهيم الكهربائية والعلاقة بينها.
٢. اكتساب مهارة التحليل الفيزيائي للمسائل التي لها علاقة بالكهرباء.
٣. توظيف معرفتهم بالقوانين والعلاقات الرياضية التي تربط بين مفاهيم الكهرباء في حياتهم اليومية، وتفسير العديد من الظواهر الطبيعية المتعلقة بالكهرباء.
٤. التعرف إلى تطبيقات عملية للكهرباء في الحياة.
٥. تقدير جهود العلماء الذين ساهموا في تطور هذا العلم.
٦. تصميم مشروع لسيارة تعمل بالكهرباء باستخدام الخلايا الشمسية.

draft

الفصل الرابع:

التيار الكهربائي والمقاومة (Electric Current and Resistance)



يشع المصباح الكهربائي الضوء بمرور التيار الكهربائي في سلك رفيع جداً من التنجستون ملفوف على شكل حلزوني، فترتفع درجة حرارته إلى درجة التوهج. ولكن كيف؟ ولماذا تتحرك الشحنات الكهربائية في الموصلات؟ وما المقصود بالتيار الكهربائي؟ وكيف يتولد هذا التيار؟ وكيف تكشف عن مروره في موصل؟ وما سرعة الشحنات الكهربائية في موصل يسري فيه تيار كهربائي؟ وهل يمكن التحكم في تدفق الشحنات الكهربائية في دارة كهربائية؟

يتوقع من الطلبة بعد دراسة هذا الفصل، أن يجيبوا عن هذه الأسئلة وغيرها، وأن يكونوا قادرين على:

- التعرف إلى المفاهيم الآتية: التيار الكهربائي، وشدة التيار الكهربائي، والسرعة الاندفاعية، وكثافة التيار، والموصلية، والمقاومية، وفرق الجهد الكهربائي.
- التعبير رياضياً عن شدة التيار الكهربائي، وكثافة التيار بدلالة السرعة الانسياقية.
- التمييز بين المقاومة الخطية والمقاومة اللاخطية من المنحنى البياني فرق الجهد – التيار.
- التعرف إلى الأثر الحراري للتيار الكهربائي.
- حساب المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة بين نقطتين في دارة كهربائية.
- التعرف إلى صيغ قانون أوم والربط بينها.
- حساب الطاقة الحرارية الناشئة عن مرور تيار كهربائي في مقاومة.
- حل مسائل حسابية على القوانين والعلاقات الرياضية.

draft

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) تتم بفعل وجود فرق في الجهد الكهربائي.

لتتعرف إلى مفهوم التيار الكهربائي، نفذ النشاط التالي:

نشاط (1): إضاءة مصباح كهربائي

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

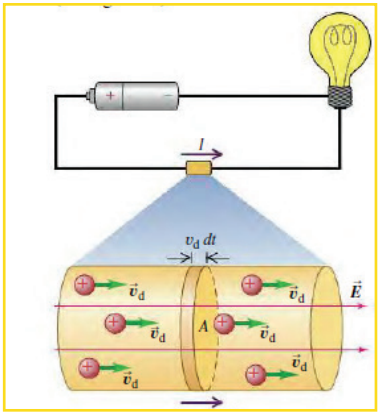
خطوات العمل:

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

draft

أناقش:

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



شكل (1)

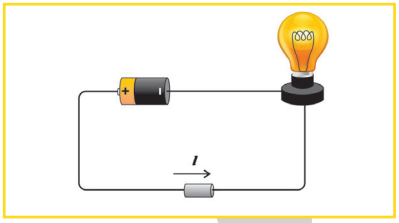
تعرفت سابقاً أنه عند وصل موصل كروي مشحون بآخر غير مشحون، تنتقل الشحنات الكهربائية من الموصل المشحون إلى الموصل الآخر حتى يتساوى جهداهما، وعند تفريغ شحنة المواسع تنتقل الإلكترونات السالبة من اللوح السالب إلى اللوح الموجب. إن تدفق الشحنات الكهربائية ينتج تياراً كهربائياً، ويستمر تدفق الشحنات الكهربائية 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 (1). فإذا كانت كمية الشحنة (ΔQ) التي تعبر المقطع في فترة زمنية (Δt)، فإن شدة التيار الكهربائي(I):

$$I = \Delta Q / \Delta t \qquad (1)$$

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 يُدعى مقياس التيار (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.

مثال (1):

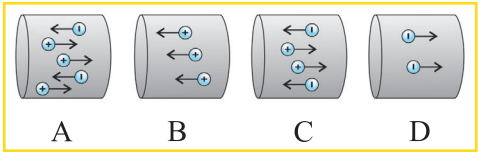
إذا كانت شدة التيار المار في جهاز الراديو (0.22) أمبير، ما عدد الإلكترونات التي تمر فيه خلال (4.5) ثانية؟

الحل: _____

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

عدد الإلكترونات $= \Delta Q/q_e$

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



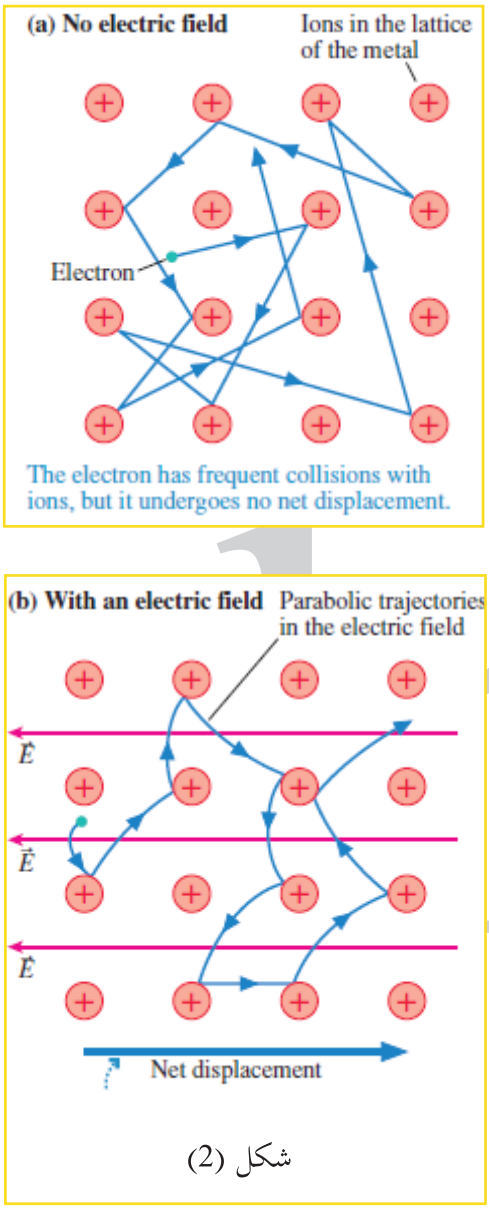
سؤال: يبين الشكل التالي شحنات كهربائية متساوية المقدار وحرة الحركة تتحرك في مجال كهربائي منتظم:

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

draft

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 (2-a). 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.

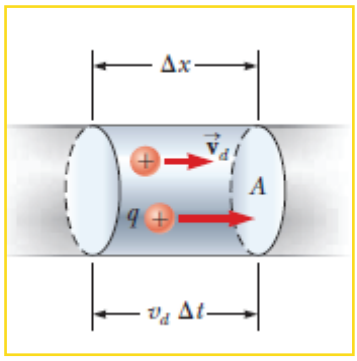


شكل (2)

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 (2-b). وتعرف السرعة الانسياقية: 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 (Vd). 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 ($ne\ A\Delta x$)، 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.

$$ne\ A\Delta x\ q_e = A\ Vd\ \Delta t\ n_e\ q_e$$

وبذلك فإن مقدار شدة التيار الكهربائي المار في السلك يساوي :

$$I = \Delta Q / \Delta t = A\ V_d\ \Delta t\ n_e\ q_e / \Delta t = n_e\ A\ V_e\ q_e \qquad (4\text{-}2)$$

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 الكترونات التوصيل 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) أمبير، علماً بأن الكثافة الحجمية للإلكترونات الحرة في سلك النحاس تساوي (8.5×10^{28} e/m^3) .

الحل:

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

$I = n_e\ A\ V_e\ q_e$

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

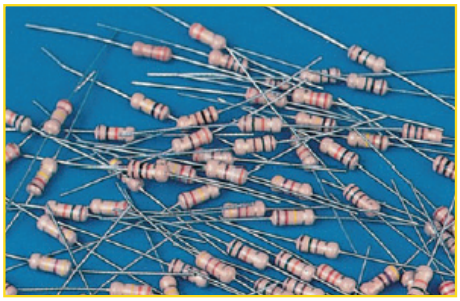
$V_d = 0.46 \times 10^{-4}$ m/s

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

draft

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

نشاط (2): إضاءة مصباح كهربائي



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 مقدار مقاومة موصل طوله (L)، ومساحة مقطعه (A) ومقاوميته ρ يساوي $(\rho L/A)$ 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، أي أن:

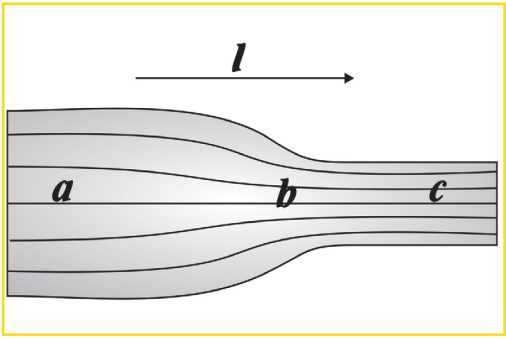
$$V = RI \qquad (4\text{-}3)$$

إن وحدة قياس المقاومة في النظام الدولي هي (V/m)، 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 (٣): 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 كمية الشحنة التي تقطع وحدة المساحة أكبر؟
- عند أية نقطة تكون شدة التيار الكهربائي لوحدة المساحة أكبر؟ فسر إجابتك.

draft

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:

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

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:

$$J = I / A = n_e A V_d q_e / A$$

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

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؟

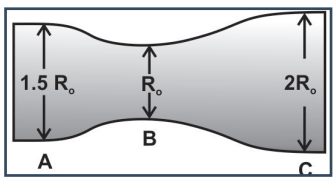
الحل:

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.
- مقدار شدة المجال الكهربائي في كل مقطع.

draft

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

وبما أن: $V = \frac{1}{\sigma} JL = EL \rightarrow J = \sigma E$

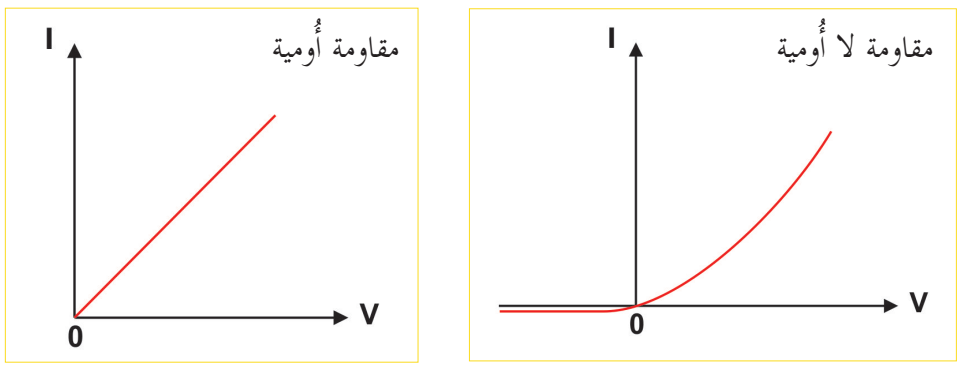
$$J = \sigma E \qquad (4\text{-}6)$$

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،

والجدول التالي يبين المقاومية وثابت الموصلية لبعض العناصر.

المادة	المقاومية Ωm
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}
كاربون	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 (3) منحنى تغير الجهد، وشدة التيار لمقاومة أومية ولمقاومات لا أومية.



شكل (3)

draft

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

$$Vd = 1.357 \times 10^{-4}\ m/s$$

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

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

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

draft

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 سرعة الإلكترونات الحرة فيه؟

الأثر الحراري للتيار الكهربائي:

إذا تحركت الشحنات 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 ($Q\ \Delta\ V$)، فإن القدرة الكهربائية:

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

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

$$P = IV$$

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

$$p = I^2R$$

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 تتناسب طردياً مع مربع شدة التيار المار فيها عند ثبوت درجة الحرارة).

وأما الطاقة الحرارية المستهلكة (E_T) في المقاومة فتكون:

$$E_T = P \times t = I\ V\ t$$

وإذا كانت القدرة بالكيلو واط والزمن بالساعة، فإن:

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

draft

مثال (6):

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

الحل:

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

$$E_T = P \times t = 0.26 \times 65 = 17\ J$$

$$17\ J = 65 \times 0.26 =$$

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.

draft

طُرق توصيل المقاومات

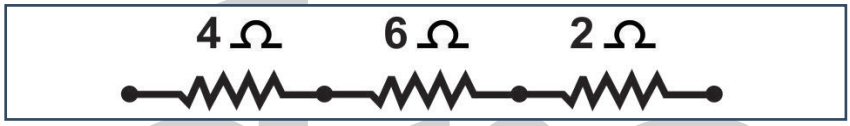
في كثير من الأحيان يتطلب توصيل عدة مقاومات في الدارة الكهربية، لتثبيت مقدار التيار، أو لتجزئة التيار بين عدة مقاومات، أو لتقليل الجهد، أو لتوزيعه. ويتم توصيل المقاومات في الدارات الكهربائية على التوالي أو التوازي أو كليهما معا.

نشاط (4) توصيل المقاومات الكهربائية

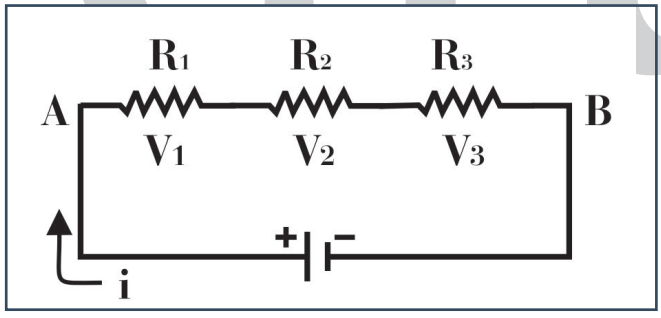
المواد والأدوات: مقاومات كربونية، وبطارية، وأسلاك توصيل، وملتيميتر.

خطوات العمل:

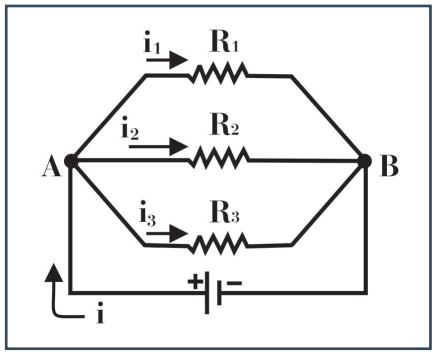
- تعرف قيم ثلاث مقاومات مختلفة باستخدام الملتيميتر.
- صل مقاومتين منهما على التوالي، وقم بقياس المقاومة بين طرفيهما باستخدام الملتيميتر.
- أعد الخطوة الثانية لثلاث مقاومات على التوالي. ماذا تلاحظ؟



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



شكل (4)



- أعد تنفيذ الخطوات السابقة بتوصيل المقاومات السابقة على التوازي.

ماذا تلاحظ؟

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

draft

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

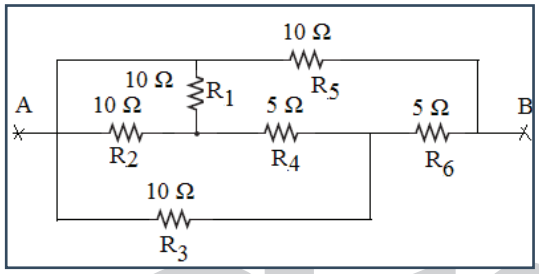
أ- شدة التيار المار في كل مقاومة.

ب - فرق الجهد الكهربائي بين طرفي كل مقاومة.

القدرة الكهربائية الكلية المستنفدة في المقاومات الموصولة على التوالي أو التوازي، تساوي 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.

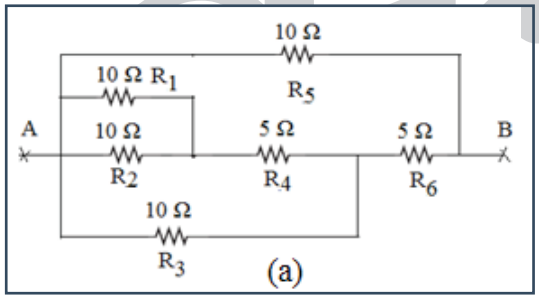
مثال (9):

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



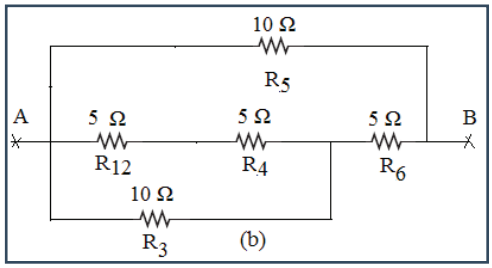
الحل:

يمكن رسم الشكل كما في الشكل (a)، ومنه نجد أن المقاومات (R_1, R_2) موصولة على التوازي:



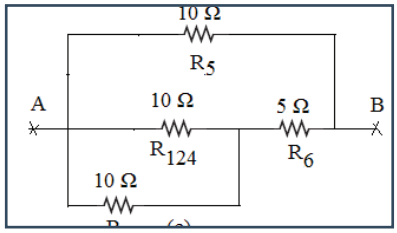
$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5} \longrightarrow R_{12} = 5\ \Omega$$

وبإعادة رسم الشكل كما في الشكل (b)، نلاحظ أن المقاومات (R'_1,R_4) موصولة على التوالي:

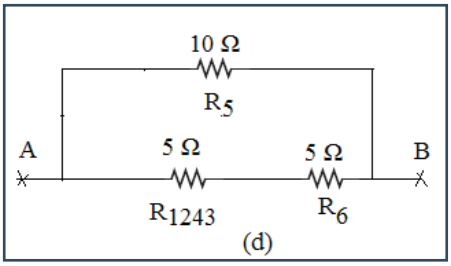


$$R`_2 = 5 + 5 = 10\ \Omega$$

وبإعادة رسم الشكل كما في الشكل (c)، نلاحظ أن المقاومات (R'_2 ,R_3) موصولة على التوازي:



$$\frac{1}{R`_3} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{2}{10} + \frac{1}{5} \longrightarrow R`_3 = 5\ \Omega$$



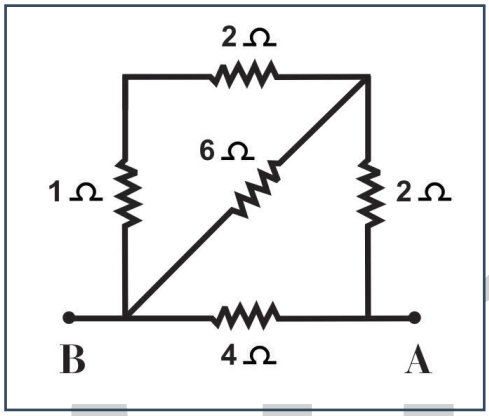
وبإعادة رسم الشكل كما في الشكل (d)، نلاحظ أن المقاومات (R_6, R'_3) موصولة على التوالي:

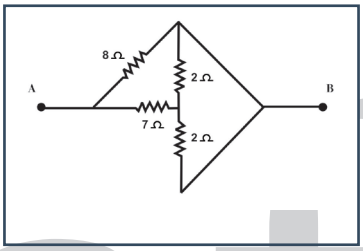
$$R'_4 = 5 + 5 = 10\ \Omega$$

والمقاومات (R_5, R'_4) موصولة على التوازي:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5} \rightarrow R_{eq} = 5\ \Omega$$

سؤال: احسب المقاومة المكافئة بين النقطتين (A, B) لمجموعة المقاومات المبينة في الأشكال المجاورة.

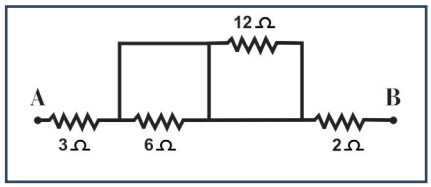




draft

أسئلة الفصل

س1: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

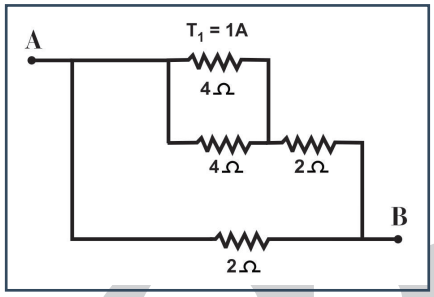


1. في الشكل المجاور، ما مقدار المقاومة المكافئة بين (أ، ب)؟

أ- 5 ب- 6 جـ- 2 د- 3

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

ج- 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- 36 ب- 80 جـ- 100 د- 175

6. تعتمد مقاومية السلك على:

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

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

س3: علل ما يأتي:

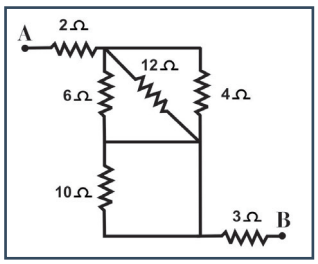
أ- تكون السرعة الإنسياقية صغيرة جداً.

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

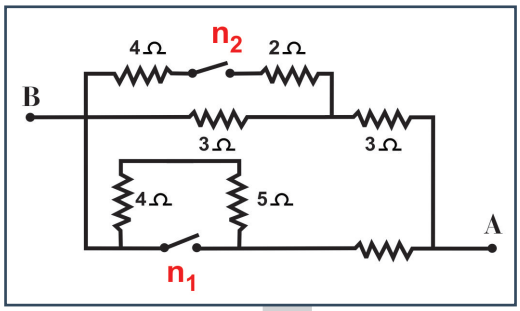
draft

س5: لديك ثلاث مقاومات متساوية مقدار كل منها (2 Ω)، بين طريقة توصيلها مع الرسم لتصبح المقاومة المكافئة لها: 36 Ω, 18 Ω , 8 Ω , 4 Ω

س6: أوجد مقدار المقاومة المكافئة لمجموعة المقاومات الموصولة بين النقطتين (A ،B) في الشكل المجاور.



س7: في الشكل المجاور، احسب المقاومة المكافئة بين النقطتين (A ،B)، وذلك عندما يكون:



أ. (n_1 ،n_2) مفتوحين.

ب. n_1 مغلقاً فقط.

جـ. n_2 مغلقاً فقط.

د. (n_1 ،n_2) مغلقين.

س8: وصلت مقاومتان على التوالي، فكانت مقاومتهما المكافئة (25 Ω)، وعندما وصلتا معاً على التوازي، أصبحت المقاومة المكافئة لهما (4 Ω). احسب مقدار كلتا المقاومتين.

س9: 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 تشغيلها لمدة ساعتين يومياً خلال شهر، علماً بأن ثمن الكيلو واط ساعة (10) قروش؟

draft

الفصل الخامس:

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 دراسة هذا الفصل، أن يجيبوا عن هذه الأسئلة وغيرها، وأن يكونوا قادرين على:

- توضيح المقصود بالقوة الدافعة الكهربائية، والقدرة الكهربائية لبطارية، والهبوط في الجهد.
- 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.

draft

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 أيضا بالقوة الدافعة الكهربائية، ويرمز لها بالرمز (ε)؛ أي أن:

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).

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

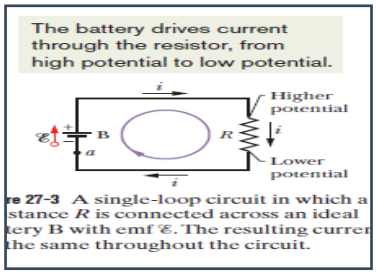
وبافتراض أن الشغل (ΔW) يبذل خلال زمن (Δt)، فبقسمة طرفي المعادلة السابقة على (Δt)، نجد أن:

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

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

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

5-2 معادلة الدارة الكهربائية البسيطة:



re 27-3 A single-loop circuit in which a stance R is connected across an ideal tery B with emf ℰ. The resulting curren the same throughout the circuit.

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 القدرة في 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

draft

البطاريات التي يكون فيها سهم القوة الدافعة للبطارية بعكس اتجاه التيار في الدارة، أي أن:

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

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

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

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

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

حيث،

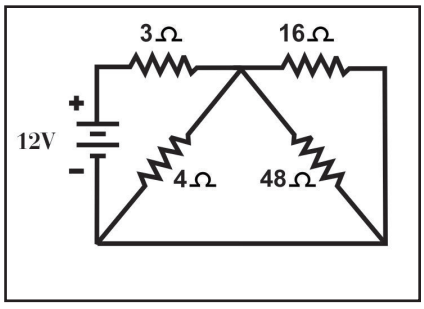
$\sum\varepsilon$: مجموع القوى الدافعة للبطاريات في الدارة.

$\sum R$: 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 كانت 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: _____

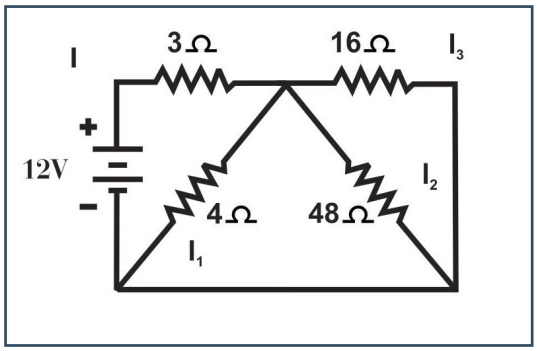
المقاومات (16 Ω،48 Ω،4 Ω) موصولة على التوازي:

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

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

المقاومات (R، 3 Ω) موصولة على التوالي:

draft



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

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

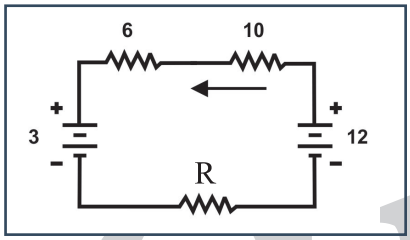
ويساوي تيار المقاومة (3Ω)

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

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

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

مثال (2):



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

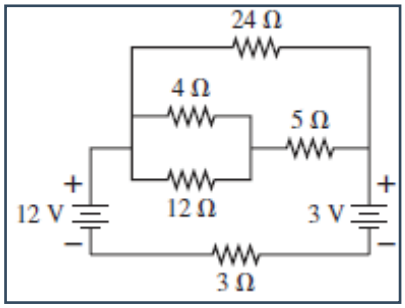
الحل: _____

القدرة الداخلة = القدرة المستنفدة

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

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

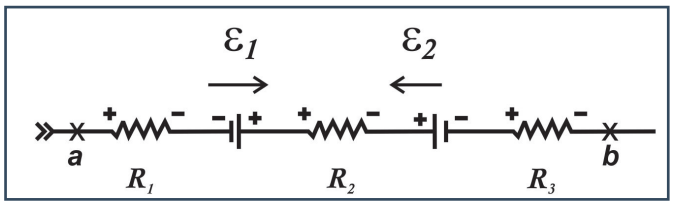
$$6 = 2.5 + 1.5 + 1.5 + P \rightarrow P = 0.5\ W$$



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

draft

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

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

ومن مبدأ حفظ الطاقة، فإن:

القدرة الداخلة = القدرة المستنفدة (أو المستهلكة)

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

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

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

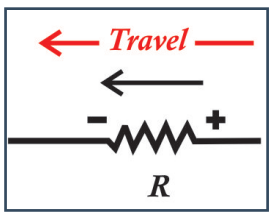
حيث:

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

V_a: جهد النقطة (a).

V_b: جهد النقطة (b).

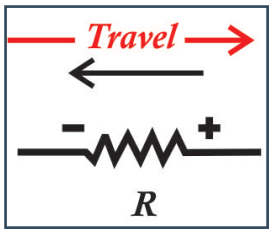
ولحساب التغير في الجهد عبر المقاومات أو البطاريات بين نقطتين في دارة يجب مراعاة إشارة التغير في الجهد مع اتجاه عبورها كما يأتي:



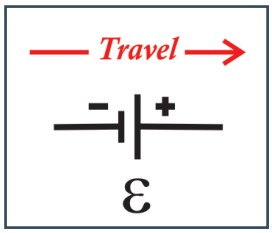
1. إذا كان اتجاه العبور في المقاومة باتجاه التيار، أي من نقطة جهدها عال (+) إلى نقطة أخرى جهدها منخفض (-)، فإن التغير في الجهد يكون سالباً ويساوي (-I R).

draft

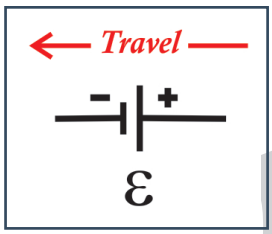
2. إذا كان اتجاه العبور في المقاومة بعكس اتجاه التيار، أي من نقطة جهدها منخفض (-) إلى نقطة أخرى جهدها عال (+)، فإن التغير في الجهد يكون موجباً، ويساوي (+I R).



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



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



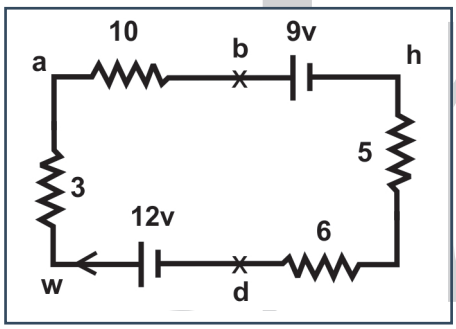
مثال (3):

معتمداً على القيم المبينة في الشكل المجاور جد:

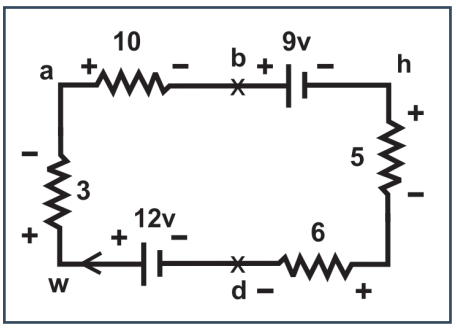
A- شدة التيار المار في الدارة.

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) $\sum R = R1 + R2 + R3 + R4 = 10 + 5 + 6 + 3 = 24\Omega$

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

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

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

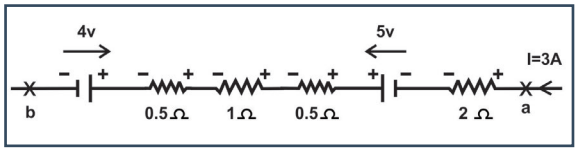
$\Delta V_{dw} = V_W - V_d = +\varepsilon = +12 \text{ V}$

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

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

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

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

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

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

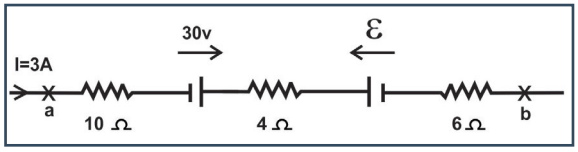
$3^2 \times 4 + 3 \times 4 = 9 \times 4 + 12 = 36 + 12 = 48$ wat

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

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

مثال (5):

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



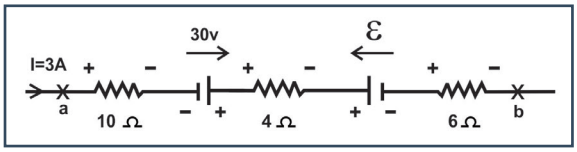
A- القوة الدافعة المجهولة (ε).

B- فرق الجهد بين النقطتين (a , b).

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

الحل: _____

A) القدرة المستنفدة بين النقطتين (a , b)



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

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

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

B)

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

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

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

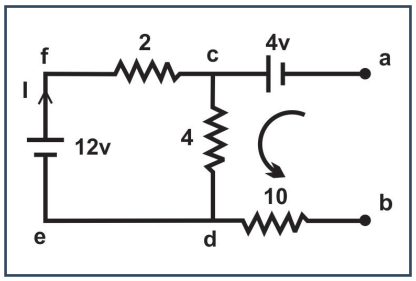
$V_a - V_b = 40 \longrightarrow V_{ab} = 40\ V$

draft

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):



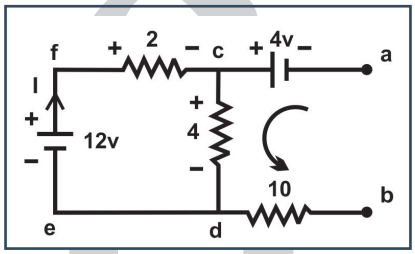
في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل المجاور، احسب فرق الجهد بين النقطتين (a ,b)، ثم بين أيهما أعلى جهداً.

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):



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

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

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

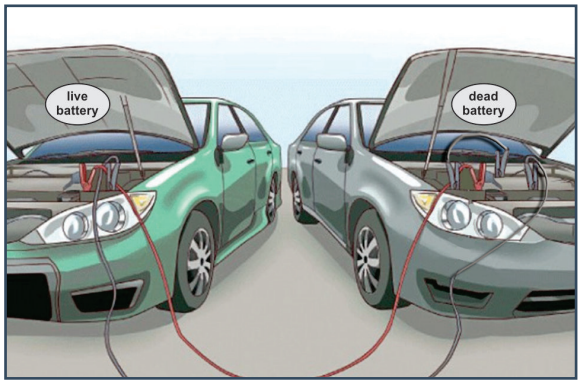
$V_a - V_b = 4 \longrightarrow V_{ab} = 4\ V \longrightarrow V_a > V_b$

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

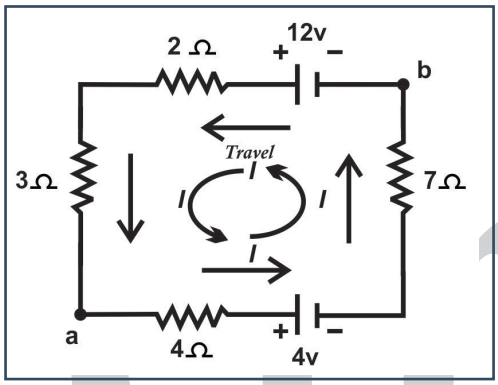
draft

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

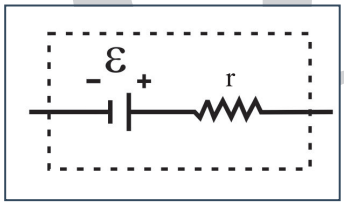
يبين الشكل المجاور، دارة شحن بطارية، تتكون من بطاريتين متعاكستين ومقاومتين موصولتين على التوالي في دارة بسيطة. أجب عما يأتي:



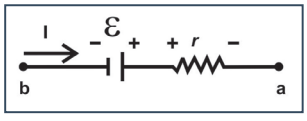
- ما مقدار شدة التيار في الدارة؟
- ما فرق الجهد بين طرفي كل بطارية؟
- ما القدرة الكهربائية في كل من البطاريات؟
- ما القدرة الكهربائية المستنفدة في المقاومات؟
- ماذا تستنتج؟



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، فتقل سرعتها عن السرعة اللازمة لتوليد فرق جهد مساوٍ للقوة الدافعة الكهربائية. 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.

Draft

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

$$V_a - \mathcal{E} - I \times r = V_b$$

$$V_a - V_b = \mathcal{E} + I \times r$$

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

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

وتكون $V_{ab} = \mathcal{E}$ 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 ($\mathcal{E}$). 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 $\mathcal{E} = 25$ 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:

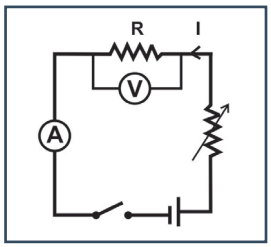
A) $V_{ab} = \mathcal{E} - I \times r = 25 - 8 \times 0.2 = 25 - 1.6 = 23.4$ V

B) $V_{ab} = \mathcal{E} + I \times r = 25 + 8 \times 0.2 = 25 + 1.6 = 26.6$ 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:

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

draft

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):

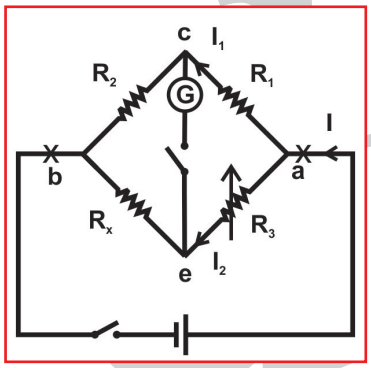
استخدمت دارة أوم لإيجاد مقدار مقاومة مجهولة (R)، فإذا كانت قراءة الأميتر(1.2 A)، وقراءة الفولتميتر (18V) في الدارة، ما مقدار المقاومة المجهولة؟

الحل: _____

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

سؤال: هل قيمة R المحسوبة 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 (ح$_1$، ح$_2$). 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 (ح$_1$)، فيسري تيار شدته (I) في الدارة، وعند إغلاق (ح$_2$)، 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:

$$V_{ac} = V_{ae}$$
$$I_1 \times R_2 = I_2 \times R_X$$

وبقسمة العلاقة الأولى على العلاقة الثانية، ينتج:

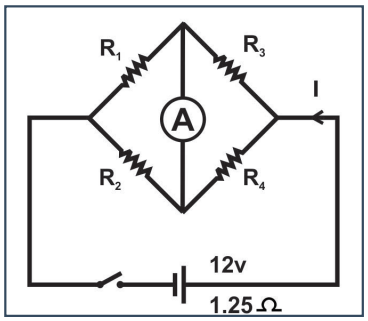
$$\frac{I_1 \times R_1}{I_1 \times R_2} = \frac{I_2 \times R_3}{I_2 \times R_X}$$

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

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

draft

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:

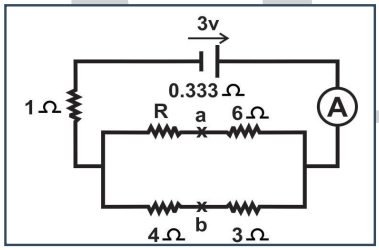
المقاومات (R_2, R_4) موصولة على التوالي: $R_1 = 5 + 20 = 25\ \Omega$

المقاومات (R_1, R_3) موصولة على التوالي: $R_2 = 15 + 60 = 75\ \Omega$

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

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

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



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

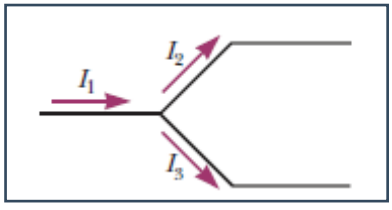
أ. مقدار المقاومة المجهولة (R).

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:



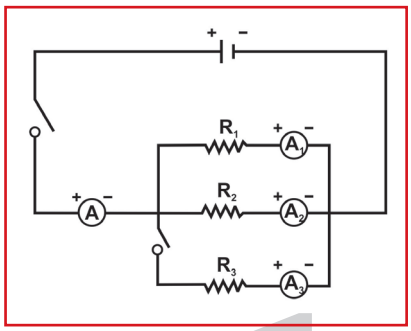
يمثل الشكل المجاور جزءاً من دارة كهربائية، إن التيار الكهربائي (I_1) عندما يصل إلى نقطة التفرع، فإنه سينقسم إلى جزأين (I_2, I_3). وبما أن الشحنة الكهربائية محفوظة، فإن مجموع الشحنات الكهربائية الداخلة إلى نقطة تفرع ما في وحدة الزمن يجب أن يساوي مجموع الشحنات الكهربائية الخارجة منها

draft

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 كيرتشوف الأول هي:

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

نشاط (5): القانون الأول لكيرتشوف

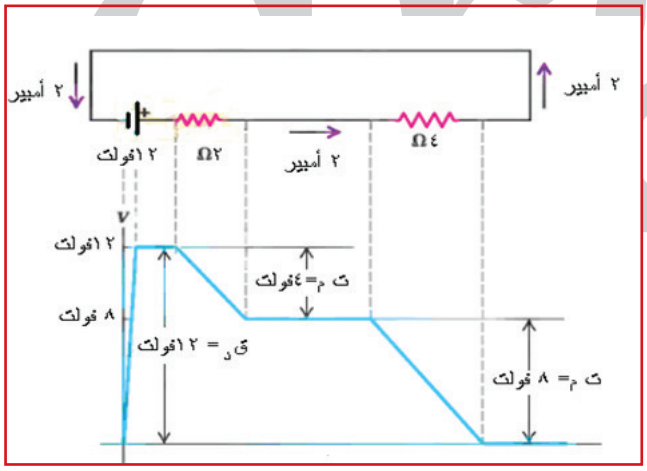


المواد والأدوات: مكونات الدارة في الشكل المجاور.

الخطوات:

- صل الدارة الكهربائية كما في الشكل المجاور.
- أغلق المفتاح (ح1)، ثم سجل قراءة كل من (A_1, A_2, A). ماذا تلاحظ؟
- أغلق المفتاحين (ح1، ح2) 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 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:

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

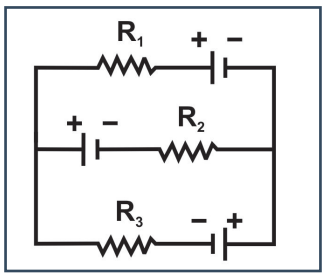
وتُعرف هذه النتيجة بالقانون الثاني لكيرتشوف الذي نصه:« مجموع تغيرات الجهد عبر حلقة مقفلة في الدارة الكهربائية يساوي صفراً». وهو يعبر عن قانون حفظ الطاقة.

لاستخدام قانوني كيرتشوف في حل المسائل، تتبع الخطوات الآتية:

draft

- 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 التيارات الخارجة منها باستخدام قانون كيرتشوف الأول.
- طبق قانون كيرتشوف الثاني على عدد من المسارات المغلقة .
- حل المعادلات التي حصلت عليها، التي تساوي عدد التيارات المفروضة.

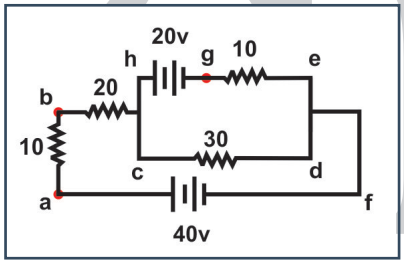
نشاط (6): القانون الثاني لكيرتشوف



المواد والأدوات: مكونات الدارة في الشكل المجاور.

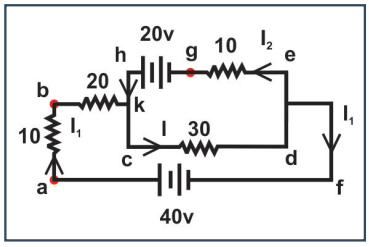
الخطوات:
- صل الدارة الكهربائية كما في الشكل المجاور.
- قم بقياس التغيرات في الجهد بين طرفي كل عنصر في مسار مغلق مع مراعاة الحركة في ترتيب دوري واحد.
- أوجد مجموع التغيرات في الجهد في مسار مغلق.
- ماذا تستنتج؟
- كرر الخطوات السابقة في مسارات مختلفة.
- ماذا تستنتج؟

مثال (10):



يمثل الشكل المجاور دارة كهربائية مغلقة، 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):

$$\sum \Delta V \text{ حلقة} = 0$$

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

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

draft

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):

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

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

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

بتعويض قيمة (I) في المعادلة (3)، فإن:

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

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

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

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

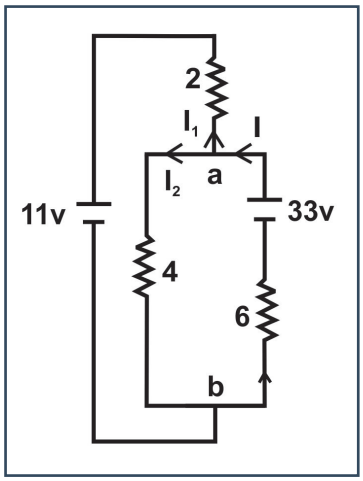
$$V_a - I_1\,(20 + 10) - 20 = V_g$$

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

draft

مثال (11):

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



الحل:

بتطبيق القانون الأول لكيرتشوف عند نقطة التفرع

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

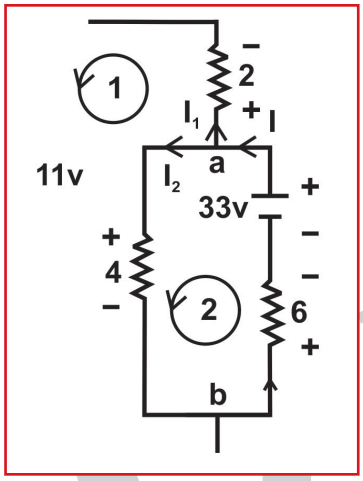
$$I = I_1 + I_2 \ldots (1)$$

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: $\sum I (\varepsilon_{\text{مع التيار}}) = I \times 33 = 3.5 \times 33 = 115.5$ wat

القدرة المستنفدة في الدارة:

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

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

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

draft

أسئلة الفصل

س1: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

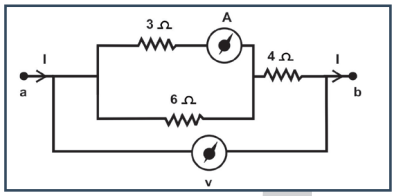
1. عند غلق دارة المصباح الكهربائي في المنزل، فإن الزمن اللازم لإضاءة المصباح يُحدّد:

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

ب- بالسرعة الانسياقية للإلكترونات الحرة في أسلاك التوصيل.

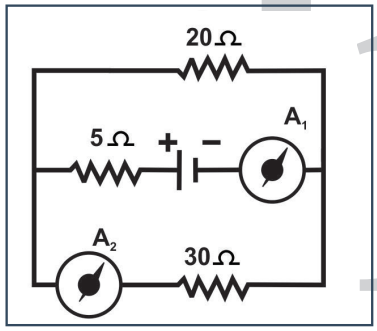
جـ- بسرعة انتشار خطوط المجال الكهربائي في أسلاك التوصيل.

د- بالإضاءة اللحظية للمصباح الكهربائي.



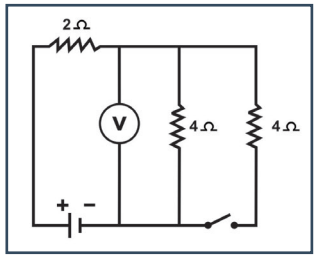
2. يمثل الشكل المجاور جزءاً من دارة كهربائية، إذا كانت قراءة الأميتر (2) أمبير، فما قراءة الفولتميتر؟

أ- 9 V ب- 12 V جـ- 18 V د- 24 V



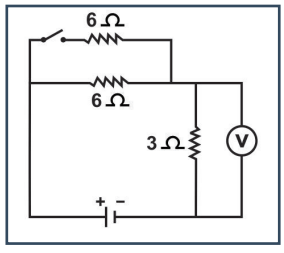
3. الدارة الكهربائية المجاورة، إذا كانت قراءة الأميتر (A_1) تساوي (5A)، فما قراءة الأميتر (A_2)؟

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 (ح) مفتوحاً، فكم تصبح قراءته عند غلق المفتاح؟

أ- 12 V ب- 14 V جـ- 16 V د- 18 V

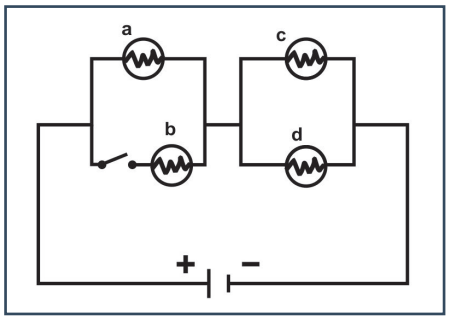


5. في الدارة الكهربائية المجاورة، إذا كانت قراءة الفولتميتر (30 V) والمفتاح (ح) مفتوحاً، فكم تصبح قراءته عند غلق المفتاح؟

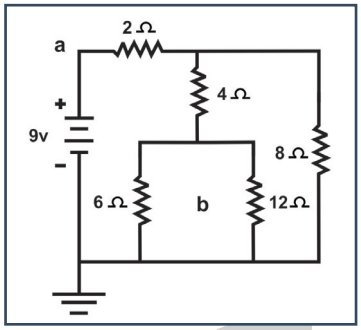
أ- 30 V ب- 35 V جـ- 40 V د- 45 V

Draft

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



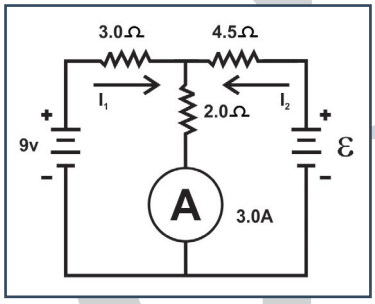
أ- (c)　　ب- (c ,a)　　جـ- (d ,c)　　د- (d ,c ,a)



س2: في الدارة الكهربائية المجاورة، جد:

أ- فرق الجهد بين النقطتين (a , b).

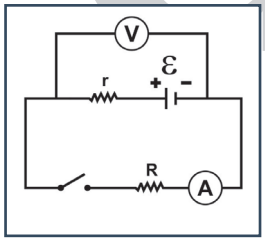
ب- جهد النقطة (b).



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).

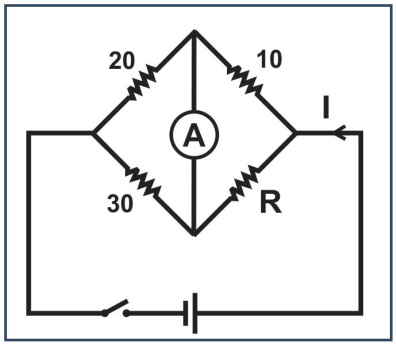


س4: في الدارة الكهربائية المجاورة، إذا كانت قراءة الفولتميتر والمفتاح (ح) مفتوح تساوي (3.08 V)، وعند غلق المفتاح تصبح قراءته (2.97 V)، وقراءة الأميتر (1.65 A)، فاحسب:

أ- مقدار القوة الدافعة الكهربائية للبطارية (ε).

ب- مقدار المقاومة الداخلية للبطارية (r).

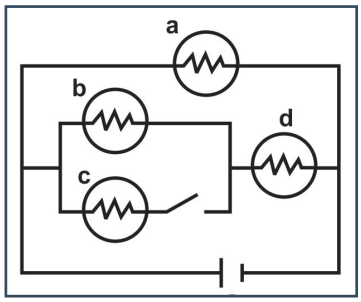
ج- مقدار المقاومة الخارجية (R).



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

draft

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

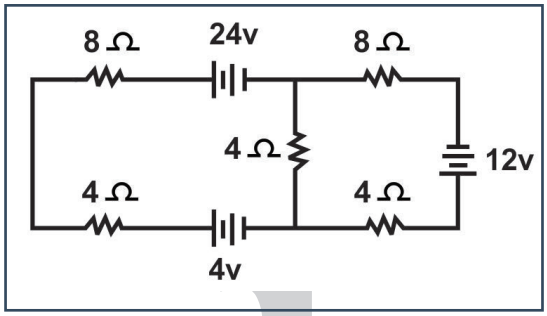


أ- هل يتغير جهد المصباح (a) عند إغلاق المفتاح؟ فسر إجابتك.

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:

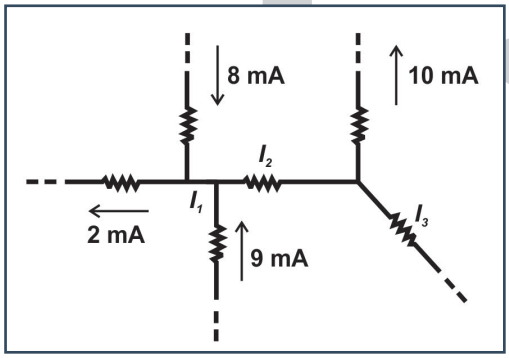


أ- شدة التيار المار في كل بطارية.

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).



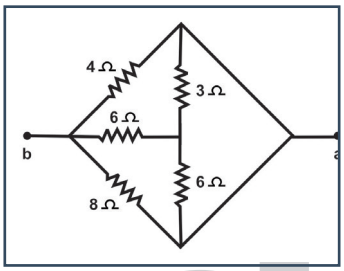
draft

أسئلة الوحدة

س1: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

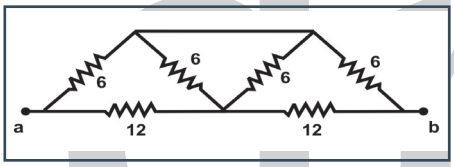
1. سلك فلزي مقاومته (R) ومساحة مقطعه العرضي (A) موصول بين نقطتين، فرق الجهد بينهما (V). إذا أعيد تشكيله ليزداد طوله إلى الضعف، فإن السرعة الانسياقية للإلكترونات الحرة فيه في هذه الحالة:

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



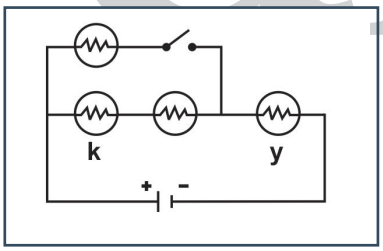
2. في الشكل المجاور، ما مقدار المقاومة المكافئة بين النقطتين (a ,b)؟

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



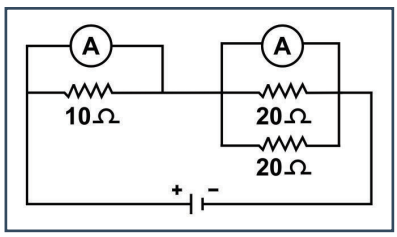
4. في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل المجاور، إذا علمت أن المصابيح متماثلة، فماذا يحصل لشدة إضاءة المصباحين (k ,y) عند غلق المفتاح (ح)؟

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).

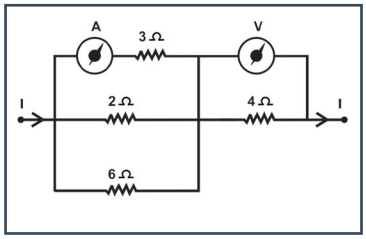


5. في الدارة الكهربائية المجاورة، إذا كانت قراءة الأميتر (A) تساوي (2) أمبير، فما قراءة الفولتميتر (V)؟

أ- 10 V ب- 20 V جـ- 30 V د- 40 V

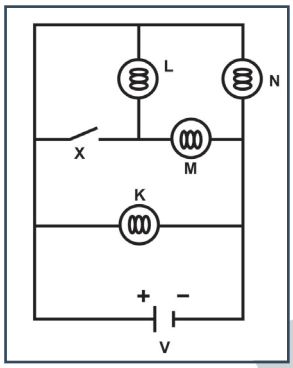
draft

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) ؟



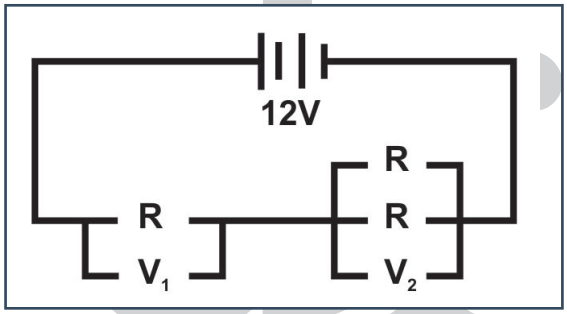
أ- 2A ب- 3 A جـ- 3.5 A د- 4.5 A

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؟



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؟



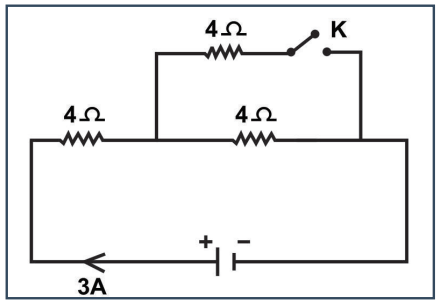
أ- $V_1 = 4\ V\ ,\ V_2 = 8\ V$

ب- $V_1 = 6\ V\ ,\ V_2 = 6\ V$

جـ- $V_1 = 8\ V\ ,\ V_2 = 4\ V$

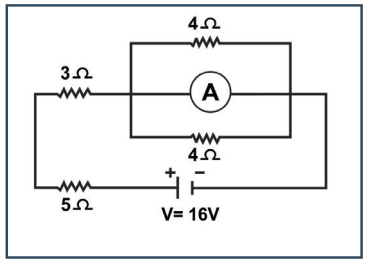
د- $V_1 = 9\ V\ ,\ V_2 = 3\ V$

9. يبين الشكل المجاور دارة كهربائية مغلقة يسري فيها تيار كهربائي شدته (3A) والمفتاح (K) 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

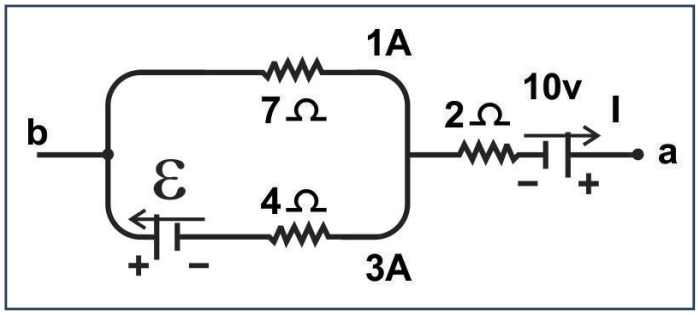
draft

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:



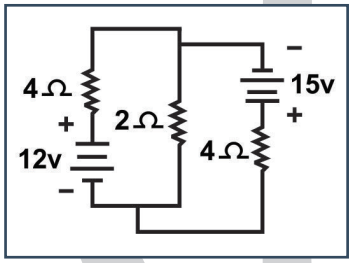
أ- فرق الجهد بين النقطتين (a ,b).

ب- مقدار القوة الدافعة الكهربائية (ε).

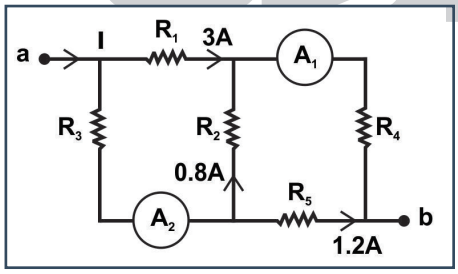
ج- القدرة الداخلة بين النقطتين (a ,b).

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

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



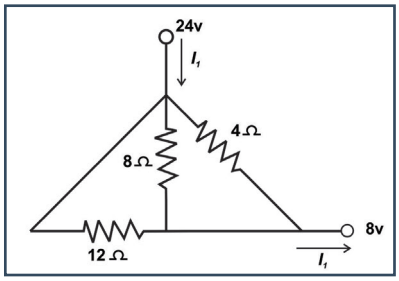
س5: يبين الشكل المجاور جزءاً من دارة كهربائية يسري فيها تيار كهربائي. إذا كان فرق الجهد بين النقطتين (a ,b) يساوي (60 V)، فجد:



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).

draft

الوحدة الثالثة

الكهرومغناطيسية Electromagnetic

كيف تفسر ظاهرة الشفق القطبي؟

الفصل السادس:

الكهرومغناطيسية Electromagnetic

لقد أدى الاكتشاف بأن التيار الكهربائي يُولّد مجالاً مغناطيسياً كالمغناطيس إلى فتح المجال أمام كثير من الأجهزة العملية التي تعتمد على المغناطيسية ابتداءً من البوصلة وانتهاءً بالمحركات الكهربائية، والسماعات، والسيكلوترون، والمولدات الكهربائية. ولكن ما العلاقة بين المجال المغناطيسي والتيار الكهربائي؟ وكيف نحسب شدة المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي في موصل؟ وهل يؤثر المجال المغناطيسي بقوة في الشحنات الحرة المتحركة في المجال المغناطيسي؟ وهل يمكن توليد تيار كهربائي في موصل أو ملف باستخدام مجال مغناطيسي؟

يتوقع من الطلبة بعد دراسة هذه الوحدة، أن يجيبوا عن هذه الأسئلة وغيرها، وأن يحققوا النتاجات الآتية:

١. التعرف إلى العلاقة بين الكهرباء والمغناطيسية.

٢. توضيح بعض التطبيقات الكهرومغناطيسية في الحياة.

٣. تصميم مشروع لبناء نموذج لقطار مغناطيسي.

المجال المغناطيسي Magnetic Field

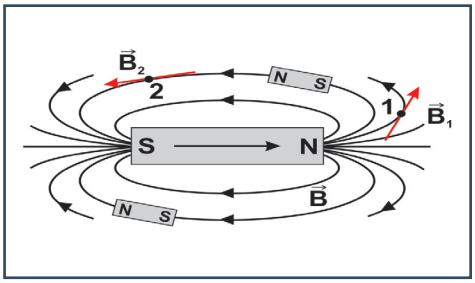
استمرت دراسة المجال المغناطيسي عدة سنوات ،مقتصرة على تأثيرات التجاذب والتنافر بين المغانط الطبيعية، إلى أن حصل اكتشاف العلاقة بين المغانط والكهرباء، على يد العالم أورستد في عام (1820 م)، وذلك حين لاحظ أن مرور التيار الكهربائي في سلك يؤدي إلى انحراف إبرة مغناطيسية موضوعة بالقرب منه. وتبعه علماء كثيرون 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؟

ويتوقع من الطلبة بعد دراسة هذا الفصل، أن يجيبوا عن هذه الأسئلة وغيرها، وأن يكونوا قادرين على:

- 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.

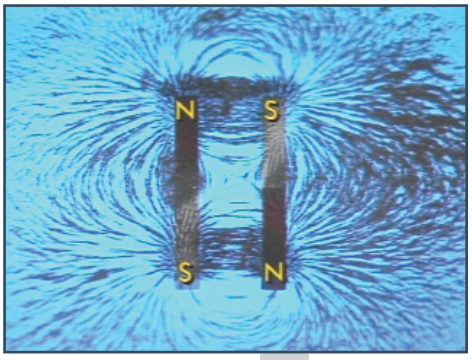
draft

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).

أناقش:



- 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 وحدة الأقطاب الشمالية عند وضعها في تلك النقطة.

وبما أن 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.

draft

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 (1-6): تجربة أورستد

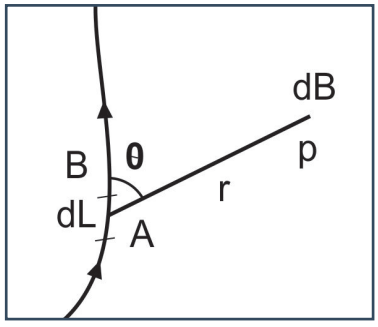
المواد والأدوات: سلك سميك، وبوصلة، وبطارية (1.5) فولت.

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 (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 (3)، فإن شدة المجال المغناطيسي (ΔB) الناشئ بوحدة تسلا (T):

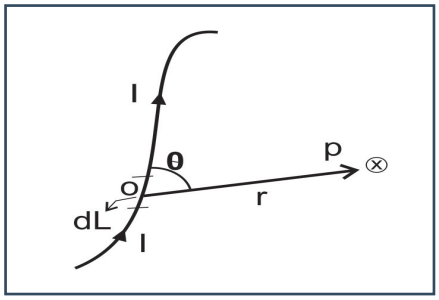
- يتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربائي المار في الموصل.
- يتناسب عكسياً مع مربع الإزاحة (r)، حيث (r): الإزاحة من العنصر (ΔL) إلى النقطة.
- يتناسب طردياً مع $\sin\theta$، حيث (θ): الزاوية المحصورة بين اتجاه (ΔL) واتجاه (r).
- يعتمد على نوع مادة الوسط الموجود فيه الموصل.
- يكون المتجه (ΔB) عمودياً على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

draft

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

وتتغير نفاذية الوسط (μ_0) بتغيّر نوعيته، وفي حالة الفراغ تسمى .

μ_0: ثابت النفاذية المغناطيسية للفراغ $= 4\,\pi \times 10^{-7}$ T.m/A .



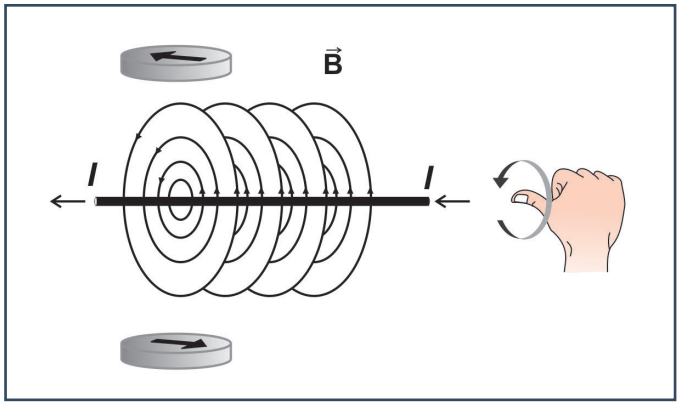
أما لحساب شدة المجال المغناطيسي الكلية عند نقطة والناتجة عن جميع أجزاء الموصل، فإن المجال المغناطيسي الكلي يساوي:

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

ولتحديد اتجاه المجال المغناطيسي المتولّد حول الموصل، نستخدم قاعدة اليد اليمنى على النحو الآتي: تخيل أنك تمسك الموصل بيدك اليمنى، بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه التيار، فيشير انحناء الأصابع إلى اتجاه خطوط المجال حول الموصل. ويكون اتجاه شدة المجال المغناطيسي عند أية نقطة في المجال، هو اتجاه المماس لخط المجال عند تلك النقطة.

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).



دلت التجارب العملية أن شدة المجال المغناطيسي الناشئ عن تيار في سلك طويل مستقيم يسري فيه تيار كهربائي عند نقطة تبعد مسافة r عن السلك تتناسب طردياً مع شدة التيار وعكسياً مع بُعد النقطة عن السلك. أي أن: $B \propto \frac{1}{r}$

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

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

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.

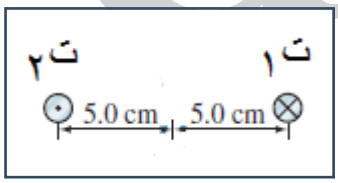
مثال (1):

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:

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

$$B = \frac{4\pi x10^{-7} \ x25}{2\ \pi x0.1} = 5 \times 10^{-5} \text{ T}$$ 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 = 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.

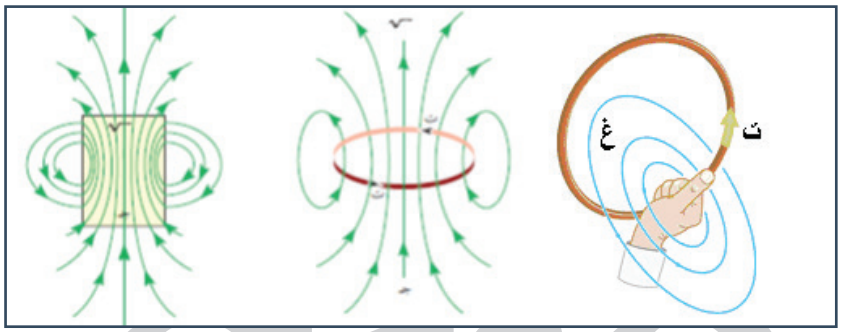
draft

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.



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؟

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:

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

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:

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

draft

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

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

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) أمبير مع اتجاه دوران عقارب الساعة.

الحل: _____

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

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

مثال (3):

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

A) $9X10^{-3}T$ B) $2X10^{-3}T$ C) صفر

الحل: _____

$$B_1 = \frac{\mu 0\ IN}{2R}$$

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

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

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

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

draft

مع عقارب الساعة $I_2 = 1.44\ A$

2. بما أن B_1 أكبر من $2 \times 10^{-3}\ T$، فإن B_2 بعكس اتجاه B_1. أي أن:

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

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

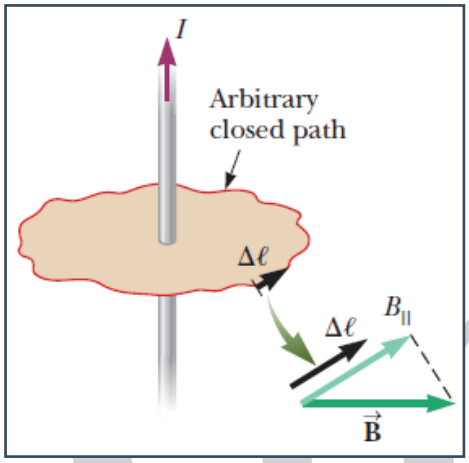
عكس عقارب الساعة $I_2 = 0.8\ A$

3. بما أن $B = 0$ فإن $B_2 = B_1$ مقداراً ويعاكسه اتجاهاً

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

$I_2 = 1.43\ A$ عكس عقارب الساعة

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؟

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 -7)، 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 في 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 المارة داخل المسار المغلق، مضروباً في ثابت النفاذية المغناطيسية للفراغ μ_0) ، أي أن:

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

حيث:

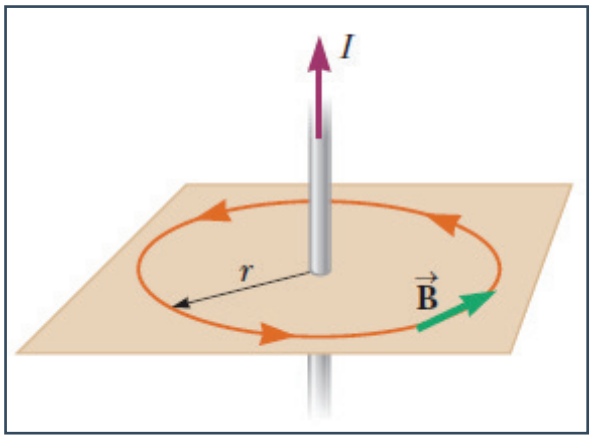
ΔL: جزء صغير من طول المسار المغلق.

B: شدة المجال المغناطيسي

$\sum I$: المجموع الجبري للتيارات المارة داخل المسار المغلق.

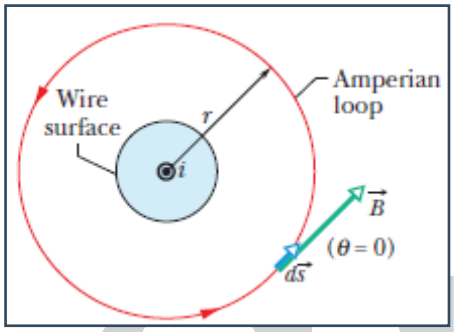
يستخدم قانون أمبير في حساب المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيارات كهربائية في موصلات ذات تماثل هندسي، يسمح باختيار مسارات مغلقة حولها، بحيث يكون المجال المغناطيسي في كل نقطة من نقاطها معلوم المقدار والاتجاه.

Draft



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- b/a/8)

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



وبما أن B ثابت على طول المسار، واتجاهها باتجاه المماس لخط المجال، فإن:

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

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

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

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:

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

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

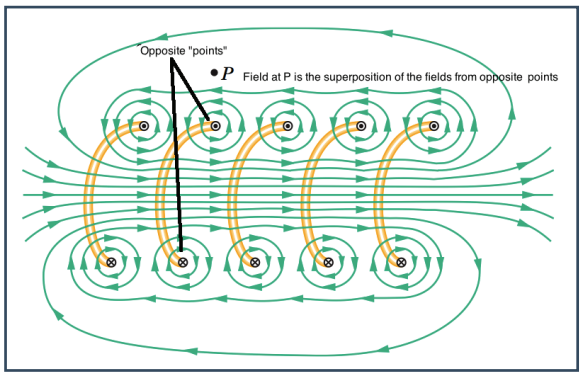
$$B \times 2\pi \times 10 \times 10^{-2} = 4\pi \times 10^{-7} (35)$$

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

draft

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؟

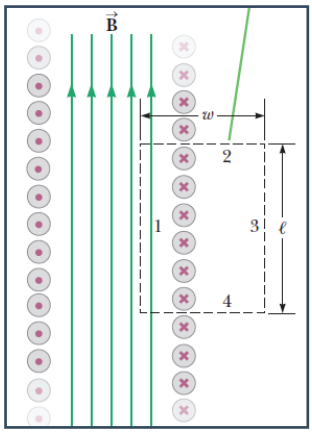
للإجابة عن ذلك كرر نشاط الملف الدائري (6- 2) مستخدماً ملفاً حلزونياً بدلاً من الملف الدائري، ولاحظ نمط خطوط المجال المغناطيسي، انظر الشكل (9).

أناقش:

- وازن بين المجال المغناطيسي داخل الملف وخارجه من حيث المقدار والاتجاه.
- على ماذا يدل توازي خطوط المجال داخل الملف؟
- 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 إذا زاد عدد اللفات؟ 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 موازنة مع قيمته داخله، وعند الأطراف تبدأ الخطوط بالانتشار في المنطقة الواقعة خارج الملف، فيقل مقدار المجال الناتج عنها عند الطرفين.

ولحساب المجال المغناطيسي داخل الملف الحلزوني، نستخدم قانون أمبير. ولنختر مساراً مغلقاً مستطيل الشكل، كما في الشكل (10). وبتطبيق قانون أمبير على المسارات الأربعة، نجد أن:



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

$$B_1 \Delta L\cos 0 + B_2 \Delta L\cos 90 + B_3 \Delta L\cos 180 + B_4 \Delta L\cos 90 = \mu_0 I$$

$$B\,L = \mu_0 I$$

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

draft

وفي حالة عدد N من اللفات فإن:

$$B = \frac{\mu_0 I N}{L} = \mu_0 In \qquad (6\text{-}7)$$

حيث $n = N / L$

ابحث في دور التصوير بالرنين المغناطيسي في الكشف عن الأمراض مثل السرطان.

مثال (5):

ملف حلزوني عدد لفاته (2000) لفة، وطوله 60 cm، وقطره 2 cm، ويحمل تياراً كهربائياً شدته 3 A. احسب شدة المجال المغناطيسي داخل الملف على امتداد محوره.

الحل: _____

$$B = \frac{\mu_0 IN}{L}$$

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

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: _____

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

$$N = 10$$

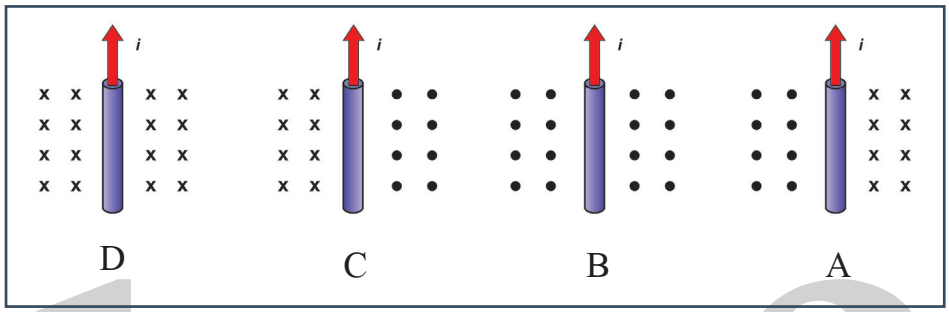
$$B = \frac{\mu_0 IN}{L} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1.4 \times 10}{0.55} = 3.2 \times 10^{-5}\ T$$

draft

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 الأتية تسبب نقصان شدة المجال المغناطيسي داخل ملف حلزوني يمر فيه تيار كهربائي؟

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 (2) لفتان، ومر فيه نفس شدة التيار الكهربائي، فما شدة المجال المغناطيسي المتولدة في مركزه؟

أ- 2B　　ب- B　　جـ- 4B　　د- 0.5B

draft

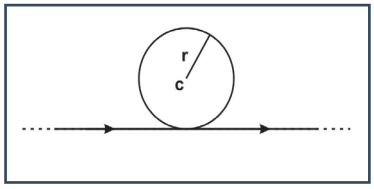
6. إن وحدة ثابت النفاذية المغناطيسية μ يساوي

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

7. سلك مستقيم لفّ على شكل ملف دائري لفة واحدة، ومرّر به تيار كهربائي، إذا لفّ السلك نفسه على شكل ملف دائري (لفتين) ومرر به نفس التيار، فما النسبة بين شدة المجال المغناطيسي عند مركز الملف الأول (B_1) إلى (B_2) عند مركز الملف الثاني؟

أ- 1 : 16 ب- 1 : 2 جـ- 1 : 8 د- 1 : 4.

8. 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:

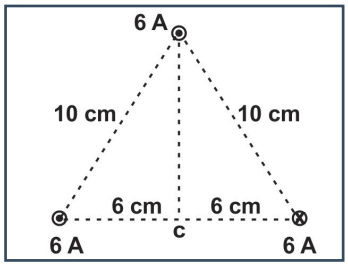
1- خطوط المجال المغناطيسي مقفلة.

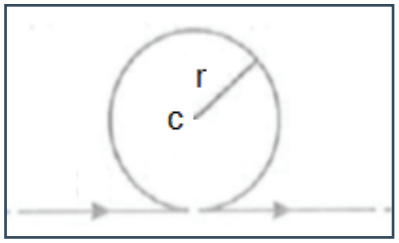
2- خطوط المجال المغناطيسي لا تتقاطع.

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

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

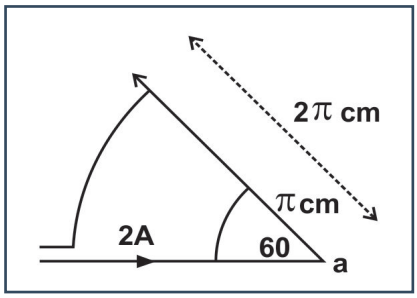
س3: احسب مقدار واتجاه شدة المجال المغناطيسي في النقطة (c)





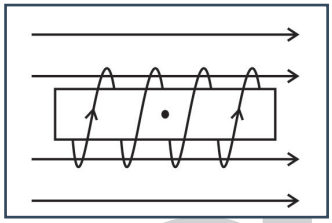
س4: في الشكل المجاور، سلك مستقيم لا نهائي، جُعل جزء منه على شكل عروة دائرية نصف قطرها (5cm)، ومركزها (c)، ويحمل تياراً كهربائياً شدته (10A). أوجد شدة المجال المغناطيسي في مركز العروة (c) مقداراً واتجاهاً.

draft

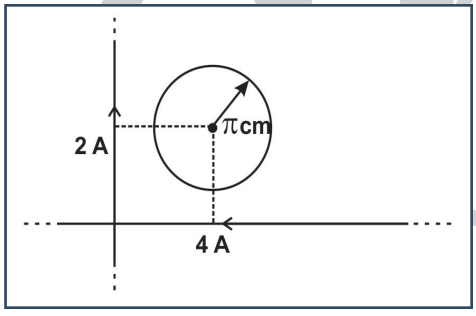


س5: اعتمادا على المعلومات المثبتة على الشكل المجاور. احسب المجال المغناطيسي الكلي عند النقطة a.

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.



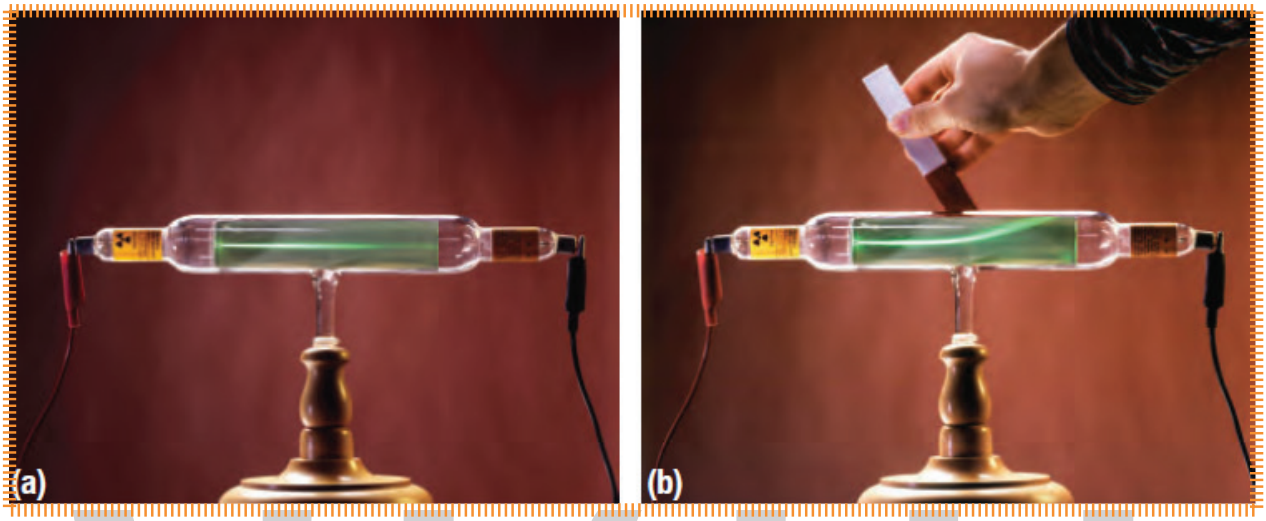
س7: سلك موصل طوله (50 πm) شُكّل بحيث يصنع منه ملف دائري نصف قطره (R) وعدد لفات (N)، مُرّر به تيار شدته (5 A) فتولد في مركزه مجال مغناطيسي شدته ($1.25\ \pi \times 10^{-4}$ T)، احسب نصف قطر ذلك الملف وعدد لفاته.



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.

draft

القوة المغناطيسية Magnetic Force



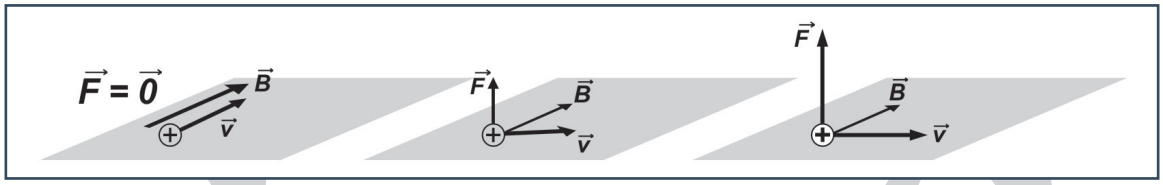
(a) تسير الإلكترونات في خط مستقيم في قناة المهبط.

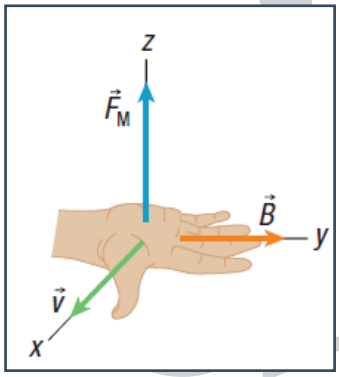
(b) عند تقريب مغناطيس من الالكترونات في المهبط فإنها تنحرف عن مسارها.

1-7 القوة المغناطيسية المؤثرة في شحنة كهربائية Magnetic 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 باتجاه شدة المجال v sin θ، 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:

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



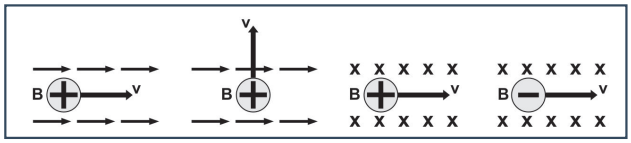


أما اتجاه القوة فيكون عمودياً دائماً على المستوى الذي يحوي كلاً من (v) و(B) كما في الشكل (1). ويحدد باستخدام قاعدة اليد اليمنى المفتوحة للشحنة الموجبة على النحو الآتي: ابسط يدك بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه السرعة وأصابع اليد إلى اتجاه المجال المغناطيسي (B)، فيكون اتجاه القوة المغناطيسية (F) عمودياً على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

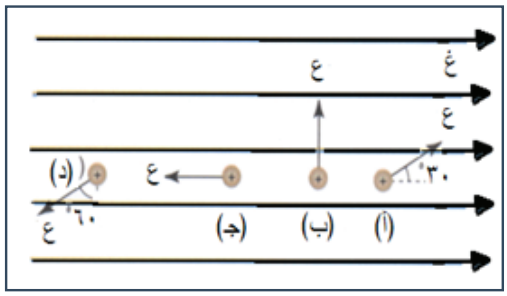
أناقش:



- حدد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في الشحنات المبينة في الشكل (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).



الحل:

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

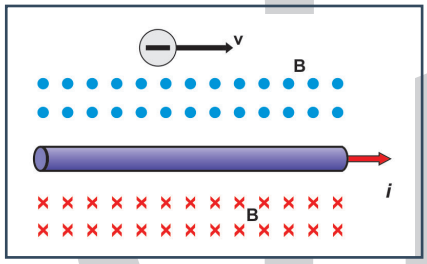
بعيداً عن الناظر $F_b = 8.4 \times 10^{-6} \times 100 \times 0.3 \times \sin 90 = 2.52 \times 10^{-4} N$

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

نحو عن 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 (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.

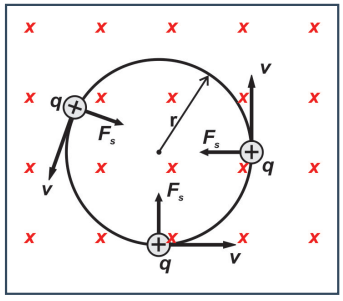


$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10}{2\pi \times 0.01} = 2.0 \times 10^{-4} \text{ T}$$

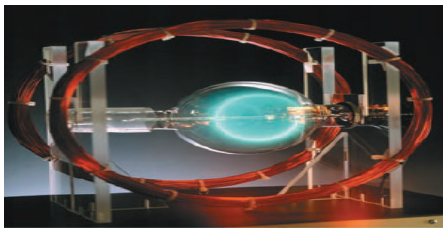
$$F = qvB\sin\theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^6 \times 2 \times 10^{-4} = 3.2 \times 10^{-17} N$$

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 (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 كما في الشكل (6). وحركة الجسيم المشحون في مسار دائري لا تتم إلا بتأثير قوة مركزية F_c، وهي هنا القوة المغناطيسية. وبتطبيق قانون نيوتن الثاني، فإن:



draft

$$F_c = F_B = ma_c$$

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

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

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:

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

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

وأما تردد الجسيم المشحون فهو:

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{qB}{2\pi m}$$

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

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

$$\omega = \frac{qB}{m} \qquad (7\text{-}4)$$

أناقش:

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

draft

من التطبيقات العملية على حركة الجسيمات المشحونة في المجال المغناطيسي الميكروويف الذي تتحرك فيه الإلكترونات في مسار دائري في مجالين كهربائي ومغناطيسي.

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 البروتون.
4. الزمن الدوري.

الحل:

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

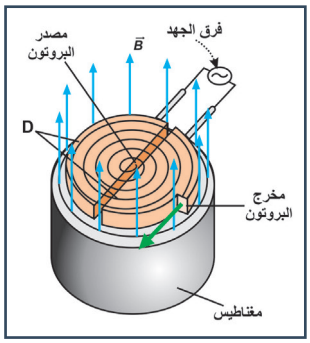
2) $r = \frac{m\,v}{qB} = \frac{4 \times 10^{-28} \times 10^{7}}{3.2 \times 10^{-19} \times 0.1}$

3) $f = \frac{1}{\tau}$

4) $\tau = \frac{1}{f} = 7.87 \times 10^{-8}$ 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 القرصين، فيتسارع بفعل المجال الكهربائي باتجاه القطب السالب، ويدخل أحد القرصين بسرعة معينة.
2. عند دخول الجسيم للقرص يتأثر بقوة مغناطيسية qv تحركه في مسار دائري مكملاً نصف دورة.

draft

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

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

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

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

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

سؤال: تدور الإلكترونات في مولد الأمواج في فرن الميكروويف في مسار دائري تحت تأثير مجال مغناطيسي منتظم، فيتولد عنها أمواج كهرومغناطيسية ترددها يساوي تردد حركة الإلكترونات فيه (2450 M Hz)، ما مقدار شدة المجال المغناطيسي؟

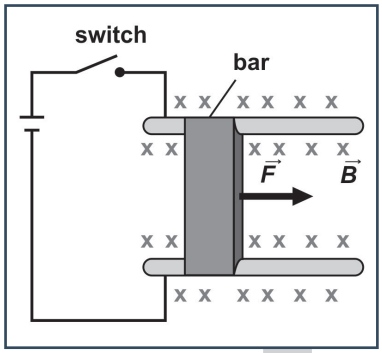
draft

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 (7-2): 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.

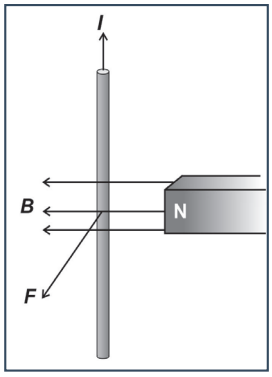
عند وصل طرفي موصل فلزي طوله (L)، ومساحة مقطعه العرضي (A)، والكثافة الحجمية للإلكترونات الحرة فيه (n_e) بمصدر فرق جهد، فإن الشحنات الحرة فيه تتحرك بسرعة ثابتة v (السرعة الانسياقية)، ولما كانت الشحنات المكونة للتيار من نفس النوع (إلكترونات)، فإن:

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

$$F = (ne\ AL)\ (q \times v \times B) = nAql \times (v \times B)$$

$$F = (nAqv)\ (L \times B) = I\ (L \times B)$$

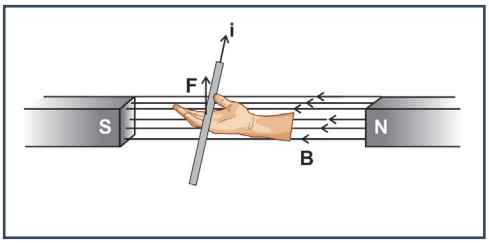
$$F = ILB \sin\theta \qquad (7\text{-}5)$$



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 (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).

draft

مثال (5):



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

الحل:

حتى يتزن السلك، تكون القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك لأعلى، ومساوية في المقدار لوزن السلك، وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى المفتوحة، يكون اتجاه المجال المغناطيسي باتجاه الغرب. ولحساب أقل مقدار لشدة المجال، فإن: القوة المغناطيسية = الوزن

$$F_g = F$$

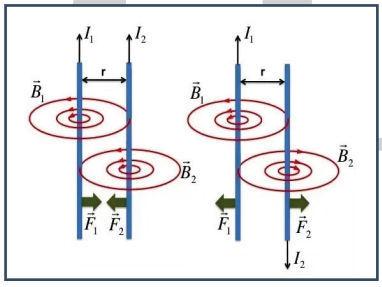
$$mg = ILB \sin 90$$

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

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

$$B = 0.0932\ T$$

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.

وهذا المجال يؤثر بقوة في السلك الثاني تعطى بالعلاقة:

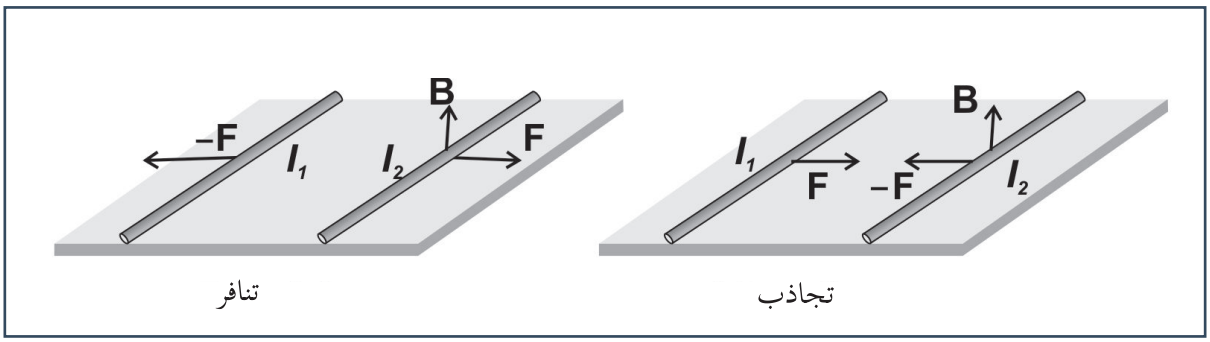
$$F = I_2 L = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} \sin 90 = I_2 L \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$$

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi r} \qquad (7\text{-}6)$$

draft

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

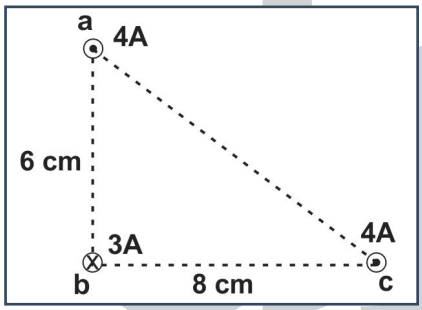
$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$$



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).



الحل:

$$F_{ab} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} = \frac{\mu\pi \times 10^{-7} \times 4 \times 3}{2\pi \times 6 \times 10^{-2}} = 4 \times 10^{-15}\ N \quad (-y)$$

$$F_{cb} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 4 \times 3}{2\pi \times 6 \times 10^{-2}} = 3 \times 10^{-15}\ N \quad (-x)$$

$$F_{net} = \sqrt{4^2 + 3^2} \times 10^{-5} = 3 \times 10^{-15}\ N$$

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

draft

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، فإن هذا الجسيم سيقع تحت تأثير القوتين الكهربائية والمغناطيسية، ومحصلة القوتين تعرف باسم قوة لورنتز، أي أن: $F_{net} = F_e + F_m$

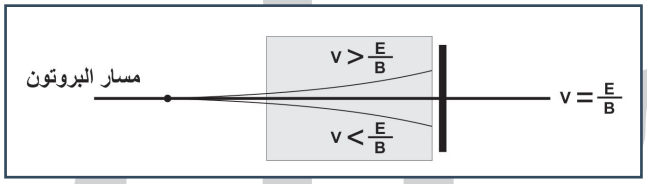
$$F_{net} = qE + qvB\sin\theta \qquad (7\text{-}6)$$

منتقي السرعات:

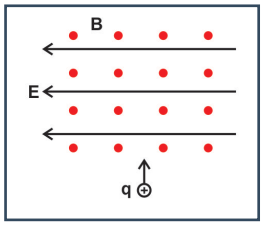
يتبين من اسم هذا الجهاز أنه مرشح للسرعة، حيث يمكن باستخدامه التحكم في اختيار حزمة من الجسيمات المشحونة ذات سرعة محددة؛ وذلك لأن الجسيمات المنبعثة عند أية درجة حرارة لها توزيع إحصائي على نطاق واسع من السرعات، ولاختيار سرعة محددة نستخدم جهاز منتقي السرعات.

آلية عمله:

يتكون جهاز منتقي السرعات من مصدر للجسيمات المشحونة، حيث تنطلق الجسيمات من المصدر بسرعات مختلفة لتمر من الشريحة التي تحدّد حزمة من هذه الجسيمات لتمرّ في منطقة مجال كهربي متعامد مع مجال مغناطيسي، كما في الشكل (12)، 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 القوة المغناطيسية، بينما الجسيمات المتحركة بسرعات أخرى ستنحرف عن المسار المستقيم. ولإيجاد هذه السرعة نستخدم قانون لورنتز: $qE + qvB\sin\theta$



مثال (7):



يبين الشكل المجاور جسيماً مشحوناً بشحنة موجبة مقدارها (2 C) كولوم، 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؟

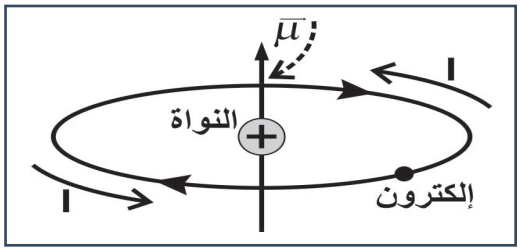
الحل: _____

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

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).

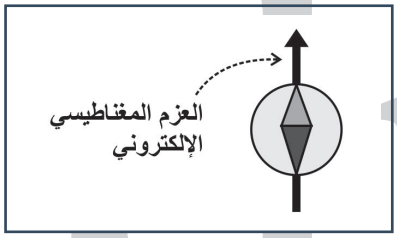
draft

7-7 الخواص المغناطيسية للمواد



افترض العلماء وجود حلقات تيارية مجهرية موجودة داخل المادة تعمل على إنتاج مجال مغناطيسي دائم ناتجة عن دوران الإلكترونات داخل كل ذرة في مدارات دائرية حول النواة، بالإضافة إلى ذلك فإن كل إلكترون يدور حول محوره الخاص به. ونتيجة لهذه الحركات للإلكترون يتولد مجال مغناطيسي، لذلك لا تخلو أية مادة من بعض الخصائص المغناطيسية.

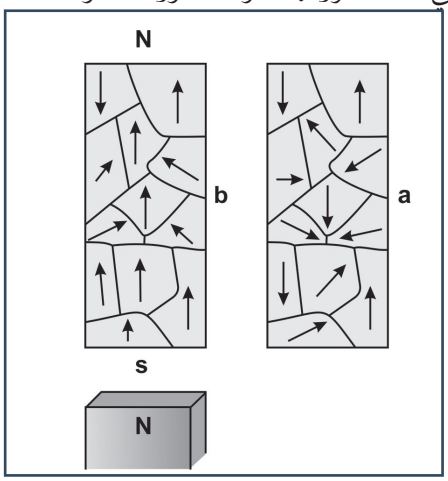
إن دوران الإلكترونات حول النواة يشبه حركة تيار كهربائي في حلقة دائرية مغلقة، فيتولد مجال مغناطيسي حولها، يعطي ذرات المادة خصائص مغناطيسية، ويتغير اتجاه هذا المجال بتغير اتجاه الدوران. فإذا دار إلكترونان حول النواة في الذرة بسرعتين زاويتين متساويتين وباتجاهين مختلفين وبنصف قطر مدار واحد، تولد عن أحدهما مجال مغناطيسي يلغي المجال المغناطيسي المتولد عن الآخر. أما إذا انفرد الإلكترون بدوران حول النواة في الذرة فإنه يكسبها صفة مغناطيسية، جاعلاً من الذرة مغناطيساً صغيراً ثنائي القطب.



دوران الإلكترون حول محوره الخاص يعد كحركة تيارات متناهية في الصغر تولد مجالاً مغناطيسياً كما لو كان مغناطيساً صغيراً، وهناك اتجاهان لدوران الإلكترون حول محوره، يعد الأول موجباً ويعد الثاني سالباً. فإذا كان إلكترونان يدور كل منهما حول محوره باتجاه معاكس لدوران الآخر، كونا زوجا متعاكساً بالدوران يلغي أحدهما الخصائص المغناطيسية للآخر، وهذا يحصل في ذرة إذا كان عدد إلكتروناتها زوجيا، أما الإلكترونات ذات العدد الفردي والتعاكس في دورانها ليس كليا، فيمكن أن تعطي خصائص مغناطيسية.

إن الخصائص المغناطيسية المتولدة عن حركتي الإلكترون تكون بشكل عشوائي ومحصلتها معدومة قبل التمغنط، وعند التأثير عليها بمجال مغناطيسي خارجي تترتب الإلكترونات في الذرة.

فمثلاً ذرة الحديد لها أربعة إلكترونات وحيدة الدوران في المستوى وتتشابه في اتجاه دورانها حول محورها، فيولد ذلك مغانط ثنائية القطب عندما توضع في مجال مغناطيسي خارجي، ويكون اتجاه تمغنطها هو اتجاه المجال الممغنط المؤثر.



وعلى هذا إذا أخذنا قطعة حديد غير ممغنطة، تكون محصلة مجالاتها المغناطيسية معدومة شكل (13 - a)، وعندما تتمغنط تتجه تلك المجالات بتأثير المجال الممغنط في الاتجاه نفسه، فيتولد في أحد طرفيه القطب الشمالي، وفي الطرف الآخر القطب الجنوبي، كما في الشكل (13 - b).

تختلف نفاذية خطوط المجال المغناطيسي عبر المواد من مادة لأخرى اعتمادا على خواصها المغناطيسية التي تحدد بثابت النفاذية المغناطيسية

draft

للمادة (μ)، وهي « خاصية قابلية المادة لإنفاذ خطوط المجال المغناطيسي خلالها .

إن وضع مادة ما في مجال مغناطيسي B يعمل على تغيير شدة المجال داخلها أي تصبح B_m تساوي:

$$B_m = \delta_m B \qquad (7\text{-}9)$$

حيث تمثل δ_m: معامل النفاذية المغناطيسية النسبية للمادة. وتساوي:

$$\delta_m = \frac{\mu}{\mu_0} \qquad (7\text{-}10)$$

حيث:

μ: ثابت نفاذية المادة المغناطيسية.

μ_0: ثابت نفاذية الفراغ المغناطيسية.

B_m: شدة تمغنط المادة المغناطيسية.

وتصنف المواد المغناطيسية تبعاً لمقدار معامل النفاذية المغناطيسية النسبية لها إلى:

المواد الديا مغناطيسية:

- المواد التي يكون معامل النفاذية النسبية لها أقل من واحد بقليل. ويكون ثابت النفاذية المغناطيسية δ_m لها أقل من ثابت نفاذية الفراغ بقليل.
- عند وضع هذه المواد في مجال مغناطيسي خارجي، فإن عزومها المغناطيسية تترتب في اتجاه معاكس لاتجاه المجال الخارجي، أي أنها تتمغنط بعكس اتجاه المجال الخارجي فتضعفه، وتتنافر المادة الديا مغناطيسية بشكل ضعيف مع المغانط، ويزول ترتيب هذه العزوم بإزالة المجال المغناطيسي الخارجي.
- لا تمتلك ذرات هذه المواد عزوما مغناطيسية دائمة؛ لأن العزوم المغناطيسية لإلكتروناتها يلغي بعضها بعضا.
- من الأمثلة عليها: السيليكون، والفضة، والزئبق، والرصاص.

المواد البارا مغناطيسية:

- المواد التي يكون ثابت النفاذية المغناطيسية لها أكبر من ثابت نفاذية الفراغ، ومعامل النفاذية النسبية δ_m لها أكبر من واحد بقليل.
- تمتلك ذرات هذه المواد عزوماً مغناطيسية دائمة، وهذه العزوم يكون اتجاهها في العادة عشوائياً، ومحصلة هذه العزوم في أي اتجاه تساوي صفراً.

draft

- عند وضع هذه المواد في مجال مغناطيسي خارجي، فإن عزومها المغناطيسية تترتب بشكل جزئي بنفس اتجاه المجال الخارجي، وتعمل بذلك على تقوية المجال المؤثر قليلا، وتنجذب المواد البارا مغناطيسية بشكل ضعيف إلى المغانط.
- من الأمثلة عليها: الزنك، والألمنيوم، والزجاج، والمغنيسيوم، والأكسجين.

المواد الفرو مغناطيسية:

- المواد التي يكون ثابت النفاذية المغناطيسية لها أكبر من ثابت نفاذية الفراغ بكثير، ومعامل النفاذية النسبية δ_m لها أكبر من واحد بكثير، وهي للحديد (5500)، ولسبيكة من الحديد والنيكل (2500).
- في هذه المواد تكون طبيعة التفاعل بين الذرات المتجاورة بشكل يؤدي إلى ترتيب حركة الإلكترونات المغزلية تلقائياً في الكثير من الذرات التي تشكل حقلاً مغناطيسياً خاصاً بها، إن كل حقل هو بمثابة مغناطيس دائم وقوي، وتكون اتجاهات هذه الحقول عشوائية.
- عند وضع هذه المواد في مجال مغناطيسي خارجي، تترتب الحقول نفسها بشكل جزئي بنفس اتجاه المجال الخارجي، وبزيادة شدة المجال المؤثر تزداد استقامة الحقول إلى أن تصبح جميع الحقول بنفس اتجاه المجال المؤثر، عندها تصل المادة إلى أعلى درجات التمغنط. وتعمل بذلك على تقوية المجال المؤثر بشكل كبير، وتحتفظ بعض الحقول باتجاهها الموازي لاتجاه المجال الخارجي؛ مما يؤدي إلى احتفاظ المادة بخواصها المغناطيسية بصورة دائمة، حتى بعد زوال تأثير المجال المغناطيسي الخارجي عليها، وتنجذب بشدة إلى المغانط.
- من الأمثلة عليها: الحديد، والنيكل، والكوبلت.
- عند تسخين المواد الفرو مغناطيسية إلى درجات حرارة عالية، فإنها تتحول إلى مواد بارا مغناطيسية، ويطلق على درجة الحرارة التي تفقد عندها المادة خصائصها المغناطيسية اسم درجة كوري، وهي للحديد (770) سيلسيوس.

أناقش:

وازن بين المواد الفرو مغناطيسية، والبارا مغناطيسية، والديا مغناطيسية من حيث:

أ. اتجاه تمغنطها بالنسبة للمجال الخارجي.

ب. معامل النفاذية النسبية لها.

جـ. شدة التمغنط.

د. احتفاظ المادة بخواصها المغناطيسية.

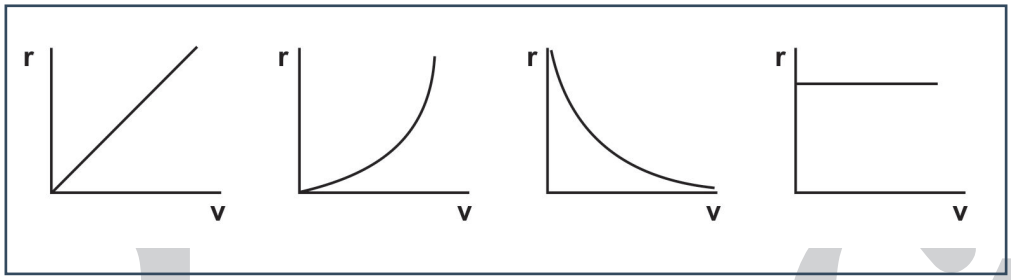
هـ. تأثير ارتفاع درجة حرارتها على تمغنطها.

draft

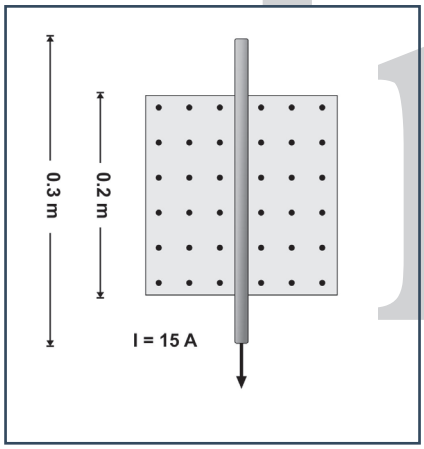
أسئلة الفصل:

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 إلكترون في نفس اتجاه خطوط المجالين، فأي الآتية صحيحة؟

أ- الإلكترون ينحرف نحو اليسار. ب- الإلكترون ينحرف نحو اليمين.

جـ- سرعة الإلكترون تزداد في المقدار. د- سرعة الإلكترون تقل في المقدار.

5. ما المادة المغناطيسية التي يتسبب وضعها في مجال مغناطيسي على إضعافه؟

أ- البارا مغناطيسية ب- الفرو مغناطيسية جـ- الديا مغناطيسية د- شبه المغناطيسية

6. 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

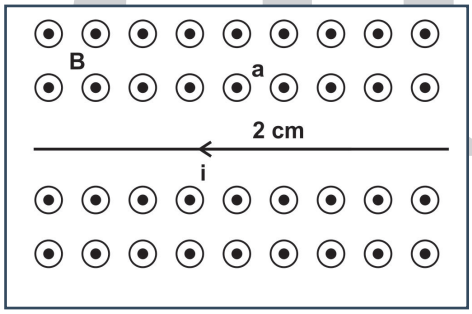
7. إذا كانت القوة المتبادلة بين سلكين لا نهائيين متوازيين يحملان تيارا كهربائيا تساوي 100 N، فكم تصبح القوة المتبادلة بينهما عند مضاعفة البعد بينهما (بوحدة N)؟

أ- 400 ب- 200 جـ- 50 د- 25

س2: أ. وضح المقصود بقولنا: شدة المجال المغناطيسي 0.5T، ودرجة كوري لمادة الحديد 770س.

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.

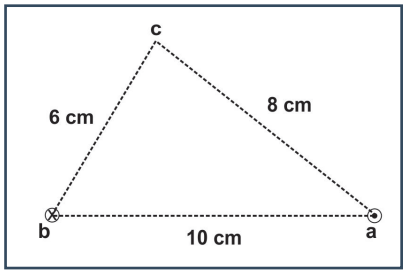


س3: سلك مستقيم طويل جداً يمر فيه تيار كهربائي شدته (4 A) مغمور في مجال مغناطيسي منتظم شدته ($5x10^{-5}$ T) باتجاه الناظر كما في الشكل المجاور. احسب:

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

ب- شدة المجال الكلي في النقطة (a).

ج- القوة المغناطيسية المؤثرة في إلكترون يتحرك بسرعة ($2x10^5$ m/s) لحظة مروره بالنقطة (a) بالاتجاه السيني الموجب.

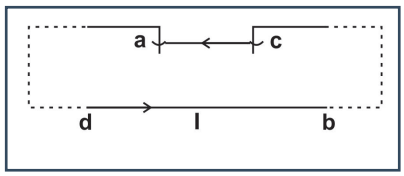


س4: تمثل النقطتان (a، b) في الشكل المجاور مقطعي موصلين مستقيمين طويلين جداً متعامدين مع مستوى الورقة، ويحمل كل منهما تياراً كهربائياً شدته (5 A) باتجاهين متعاكسين. النقطة (c) تقع في مستوى الورقة وتبعد (8 cm) عن النقطة (a)، (6 cm) عن النقطة (b). احسب:

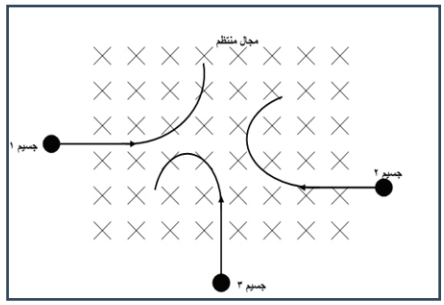
أ- شدة المجال المغناطيسي الكلي عند النقطة (c).

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

draft

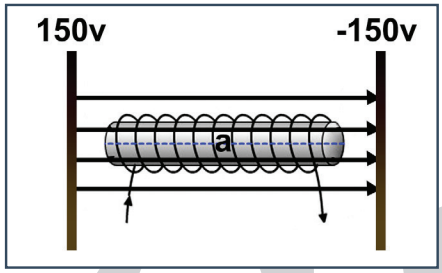


س5: أ ب سلك طويل، جـ د سلك كتلته (6 gm) وطوله (1.5 m) مواز للسلك أ ب ويقع السلكان في مستوى رأسي واحد، فإذا كان السلك جـ د قابلا للانزلاق للأعلى والأسفل على حاملين رأسيين ومرّ تيار شدته 120 A في الدارة، بيّن على أي ارتفاع فوق أ ب يتزن السلك جـ د.



س6: يمثل الشكل المجاور ثلاثة جسيمات دخلت مجالاً مغناطيسياً منتظماً بالاتجاهات المبينة في الشكل، اعتمد على الشكل، وأجب عن الأسئلة الآتية:

- حدد نوع الشحنة لكل جسيم.
- إذا علمت أن جميع الجسيمات دخلت بنفس السرعة وتمتلك نفس الكتلة. رتب هذه الجسيمات تنازليا حسب مقدار الشحنة.



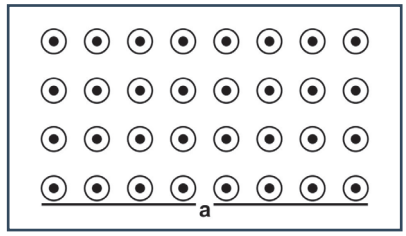
س7: في الشكل المجاور وضع ملف حلزوني طوله 2π cm وعدد لفاته 25 لفة بين لوحين فلزيين متوازيين على بعد 10 cm من بعضهما، عند مرور شحنة -1 ميكروكولوم بالنقطة a بسرعة 2×10^{6} m/s في اتجاه محور الصادات الموجب، كان مقدار قوة لورنتز المؤثرة على الشحنة تساوي 5×10^{-3} N، فما مقدار التيار المار في الملف الحلزوني؟

س8: 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؟

س9: 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 (730 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؟



س10: 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.

draft

الفصل الثامن:

الحث الكهرومغناطيسي

للحث الكهرومغناطيسي دور كبير في التقنيات الحديثة، من توليد الكهرباء إلى تخزين البيانات! ناقش هذه العبارة.

لقد تعرفنا إلى ارتباط الكهرباء بالمغناطيسية من خلال: توليد المجال المغناطيسي من التيار الكهربائي، وتأثير المجال المغناطيسي بقوة في الشحنات المتحركة فيه، وفي الموصلات التي يسري فيها تيارٌ كهربائيٌّ. وعندما اكتشفت هذه الظواهر، بدأ العلماء يتساءلون: هل من الممكن للمجال المغناطيسي أن ينتج تياراً كهربائياً؟ وكيف يتم ذلك؟ هذه الأسئلة وغيرها يتوقع من الطلبة الإجابة عنها بعد دراسة هذا الفصل، وأن يكونوا قادرين على:

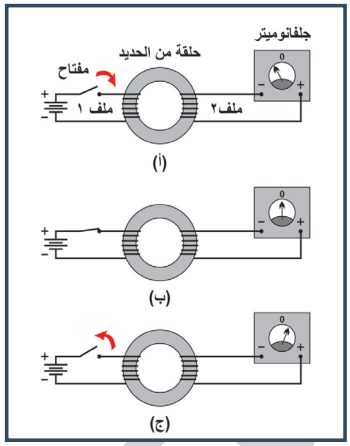
- تعرف مفهوم التدفق المغناطيسي خلال سطح ما.
- تفسير ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي.
- توضيح بعض حالات تولد القوة الدافعة الكهربائية الحثية (التيار الحثي).
- تفسير بعض التطبيقات على الحث الكهرومغناطيسي.
- تصميم مولد كهربائي بسيط.

draft

1-8 ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي

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 (1-8): التيار الحثي



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

الخطوات:

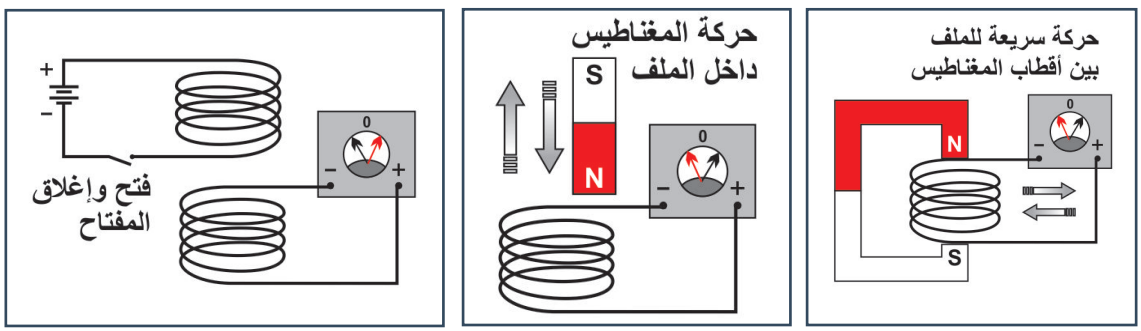
1- صل الدارة الموضحة في الشكل (1- a).

2- أغلق المفتاح وراقب مؤشر الجلفانوميتر. ماذا تلاحظ؟

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

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

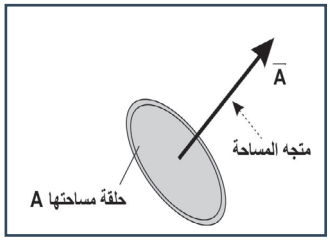
لقد حاول العالم فارادي توليد تيار كهربائي من المجال المغناطيسي، فصمم النشاط المبين في الشكل (1-8)، الذي يحتوي على ملفين: الملف (1) موصول ببطارية ومفتاح كهربائي، والملف (2) موصول بطرفي جلفانوميتر. وتوقع فارادي أن مرور تيارٍ كبيرٍ في الملف (1) يولد مجالاً مغناطيسياً قوياً فيه كافياً لتوليد تيار كهربائي 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 (2)

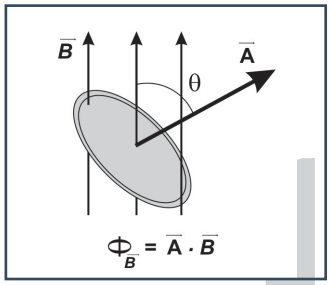


draft

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.

8-2 التدفق المغناطيسي





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 B والعمودي على المساحة (متجه المساحة).

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

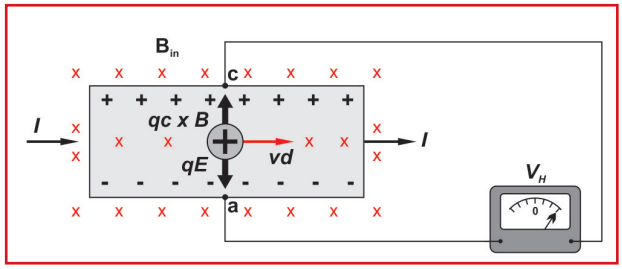
وبناءً على مفهوم التدفق المغناطيسي، يمكن تعميم النتيجة السابقة: يتولد تيار حثي في ملف، إذا حدث تغير في التدفق المغناطيسي خلاله.

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

8-3 القوة الدافعة الكهربائية الحثية وقانون فارادي

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؟

draft



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 (3). وبذلك، فإن المجال المغناطيسي سيؤثر بقوة مغناطيسية في الشحنات الموجبة تساوي:

$\mathbf{F_B} = q\ v \times B$ 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 ($\mathbf{q\ v \times B}$) والقوة المغناطيسية إلى الأعلى ($\mathbf{qE}$)، عندها تتوقف حركة الشحنات باتجاه طرفي الموصل. وبذلك، فإنه يمكننا التعبير عن حالة الاتزان هذه في الموصل في الاتجاه الصادي بالمعادلة: $F_B = F_E$

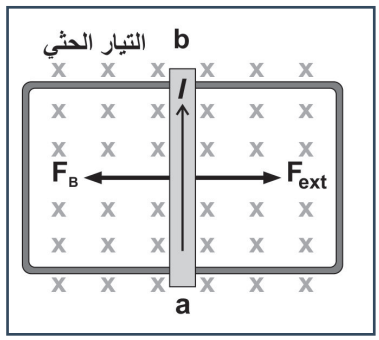
$q\ v \times B = qE$ ومنها نجد:

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

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

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

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



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 المعادلة:

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

$$W = -ILB\Delta x$$

draft

حيث: $\Delta A = L\ \Delta x$

$W = -I\Delta\phi$

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

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:

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

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

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

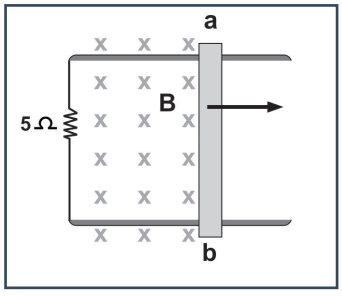
فإذا كانت مقاومة الأسلاك (**R**)، فإن التيار الحثي الذي يسري في الدارة يساوي:

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

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) $I = \dfrac{\varepsilon}{R} = \dfrac{0.36}{5} = 0.072\ A$

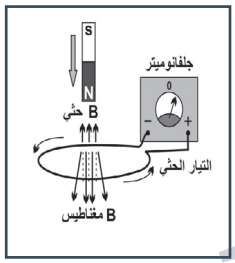
3) $F_{ext} = -\ F_B = -\ ILB = 0.072 \times 0.4 \times 0.3 = 0.00864\ N, +x$

draft

4-8 قانون لنز وحفظ الطاقة

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 (4)، يزداد التدفق المغناطيسي فيها باتجاه الأسفل، فيتولد في الحلقة قوة دافعة حثية ينشأ عنها تيار حثي باتجاه مجاله المغناطيسي للأعلى (بعكس اتجاه المجال المؤثر). وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى يكون اتجاه التيار الحثي فيها عكس عقارب الساعة، 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.

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.

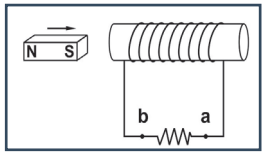
3- حدد اتجاه المجال المغناطيسي الحثي المتولد في الملف الذي يقاوم التغير في التدفق، كما يأتي:

- 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.

draft

مثال (2):

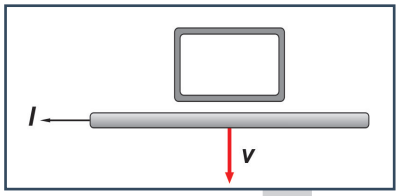


بيّن اتجاه التيار الحثي المتولد في الملف المبين في الشكل (5) عند تقريب المغناطيس منه.

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 a إلى b.

سؤال: ما اتجاه التيار الحثي في الحلقة الفلزية المبينة في الشكل (6) عند:



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

5-8 الحث الذاتي

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:

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

حيث، **N**: عدد لفات الملف.

وتعرف (**L**) 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:

$$L = \frac{N\phi}{I} = n\,\frac{BA}{I} = \frac{(\mu.\,I\,ń)A}{I} = \mu.n\,ńA = \mu.ńLńA$$

$$L = \mu.ń^2 L\,A \qquad (8\text{-}7)$$

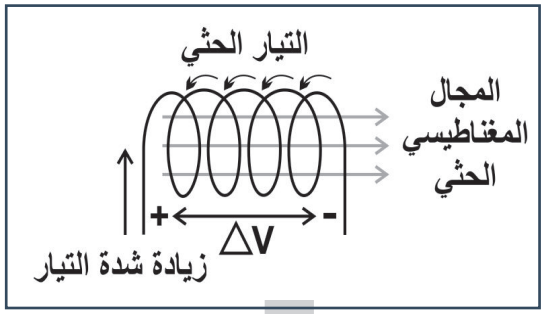
draft

أناقش:

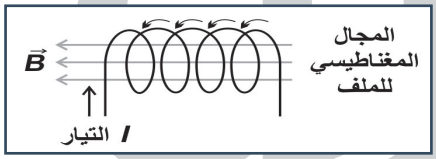
أ- بين ما يحدث لمقدار معامل الحث الذاتي لملف حلزوني إذا:

- ضوعف عدد اللفات.
- أدخل في الملف مادة فرو مغناطيسية، دايا مغناطيسية.
- ضوعف طول الملف إلى مثلي طوله الأصلي.
- ضوعفت شدة التيار المار فيه.

ب – فسر: المحاثة كمية فيزيائية موجبة دائما.



يبين الشكل (7-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.



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، كما في الشكل (7- b). وتُعرف هذه الظاهرة بالحث الذاتي.

إذا تغير التيار بمقدار (ΔI) خلال زمن (Δt)، فإن التدفق (ϕ) يتغير بمقدار ($\Delta\phi$)، لذا فمن المعادلة (5-8) نجد أن:

$$L\Delta I = N\,\Delta\phi$$

وبقسمة الطرفين على (Δt)، فإن:

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

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

draft

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 معدل .

الحل: _____

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

$L = \mu . n^2 L\ A$

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

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

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 $4\pi \times 10^{-7}\ Wb/Am$، احسب:

1- التدفق المغناطيسي خلال مقطع الملف.

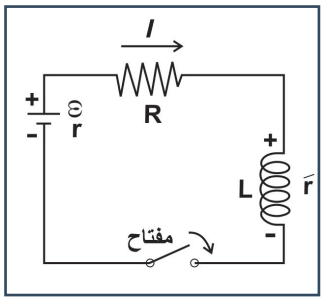
2- محاثة الملف.

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

5-8 دارة كهربائية تحتوي على مقاومة ومحث

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.

draft



يبين الشكل (8) 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 قانون كيرتشوف الثاني في هذه الدارة، فإن:

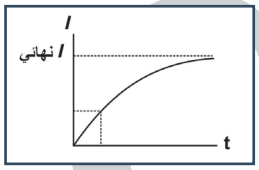
$$\sum \Delta V = 0$$

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

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

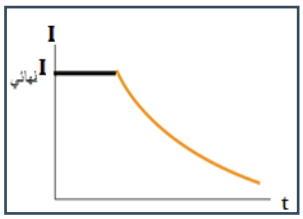
$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\varepsilon}{L} - \frac{\sum IR}{L} \qquad (8\text{-}9)$$

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 (9)، 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.



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 (10)، ومن المعادلة (8- 8) نلاحظ أن:

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

وبضرب طرفي المعادلة في (I) نحصل على:

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

$$I\varepsilon = IL\frac{\Delta I}{\Delta t} + I^2\sum R$$

draft

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

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = IL \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

وبإجراء عملية التكامل للطرفين، فإن الطاقة المختزنة في المحث:

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

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

$$E = \frac{1}{2} LI^2_{\text{نهائي}}$$

$$E = \frac{1}{2} (\mu . ń^2 A L) I^2 = \frac{(\mu . ńI) AL}{2\mu .} = \frac{B^2 AL}{2\mu .}$$

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:

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

$$E = \frac{1}{2} L I^2_{\text{نهائي}} = \frac{1}{2} \times 35 \times 10^{-3} \times 34.3^2 = 31.16 \text{ J}$$

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

6-8 الحث المتبادل

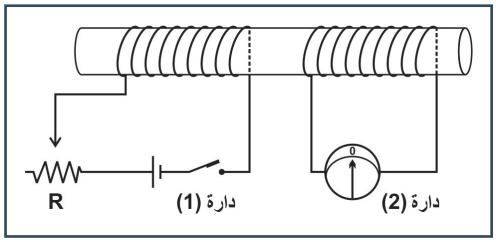
تلاحظ بقاء إضاءة مصباح شاحن هاتفك الخلوي لفترة زمنية صغيرة بعد إزالته من القابس، وتسمع صوت المذياع بعد فصله عن مصدر الكهرباء بقليل، لماذا؟

تعرفت سابقاً، أنه إذا تغير التيار الكهربائي في دارة تحتوي على ملف حلزوني، فإنه يتولد فيه قوة دافعة كهربائية حثية، وتيار حثي اتجاهه يقاوم التغير في التيار، وعُرفت هذه الظاهرة بالحث الذاتي. والآن، ماذا تتوقع أن يحدث عند وضع

draft

ملف حلزوني آخر يتصل بطرفيه جلفانوميتر؟ للإجابة عن هذا السؤال، قم بتنفيذ النشاط الآتي:

نشاط (8-2): الحث المتبادل



المواد والأدوات: جلفانوميتر، وملفان حلزونيان (ملفات المحول)، ومقاومة متغيرة، وأسلاك توصيل، وبطارية.

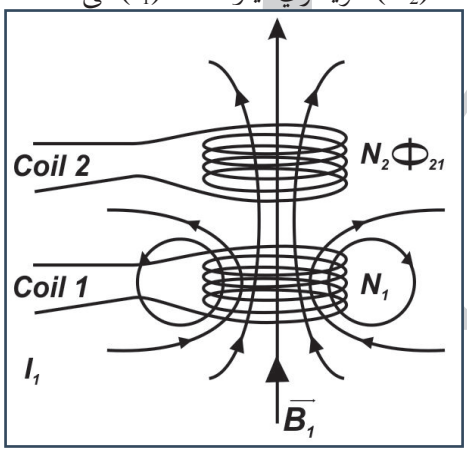
الخطوات:

- جهز الأدوات كما في الشكل (13).
- أغلق المفتاح في دارة الملف الأول. ماذا تلاحظ؟
- افتح دارة الملف الأول. ماذا تلاحظ؟
- كرر الخطوات السابقة ودارة الملف الأول مغلقة، وغيّر مقاومة الدارة زيادة مرة، ونقصاناً مرة أخرى. ماذا تلاحظ؟

لعلك لاحظت في النشاط السابق، أن تغير التيار الكهربائي في دارة الملف الأول (الموصول بالبطارية)، أنشأ تياراً كهربائياً في الملف الثاني يستدل على وجوده من انحراف مؤشر الجلفانوميتر. وتسمى هذه الظاهرة الحث المتبادل.

الحث المتبادل: ظاهرة تولد قوة دافعة كهربائية حثية في دارة ملف، بتأثير تغيّر التيار في دارة ملف آخر مجاور له.

يبين الشكل (14) ملفين متجاورين: الأول عدد لفاته (N_1)، والثاني عدد لفاته (N_2)، ويسري تيار شدته (I_1) في الملف الأول، ونتيجة لهذا التيار يتولد في الملف الأول مجال مغناطيسي تخترق خطوطه الملف الثاني الموصول بطرفي الجلفانوميتر، فيتولد فيه تدفق مغناطيسي من مجال الملف الأول يعرف بالرمز ϕ_{12}



يطلق على معامل حث الملف الثاني بالنسبة للأول معامل الحث المتبادل بين الملفين (L_{12}) الذي يعطى بالعلاقة:

$$L_{12} = N_2 \times \frac{\phi_{12}}{I_2} \qquad (8\text{-}11)$$

$$L_{12} \times I_1 = N_2 \times \phi_{12}$$

إذا تغيرت شدة التيار في دارة الملف الأول، فإن التدفق في الملف الثاني يتغير حسب العلاقة:

$$L_{12} \times \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = N_2 \times \frac{\Delta \phi_{12}}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_2 = -L_{12} \times \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = -N_2 \times \frac{\Delta \phi_{12}}{\Delta t} \qquad (8\text{-}12)$$

وبالمثل، إذا سرى تيار في الملف الثاني، بحيث يتغيّر مع الزمن، فإنه يؤدي إلى تغيّر التدفق الذي يخترق الملف الأول، فتتولد فيه قوة دافعة كهربائية حثية، تعطى بالمعادلة:

$$\varepsilon_1 = -L_{21} \times \frac{\Delta I_2}{\Delta t}$$

draft

حيث، (ε_1): القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف الأول، (L_{21}): معامل الحث المتبادل بين الملفين، وقد وجد عملياً أن: $L_{12} = L_{21}$.

مما سبق نستنتج أن القوة الدافعة الحثية المتولدة في ملف تتناسب طرديا مع معدل التغير في شدة التيار في الملف الآخر، ويسمى معامل التناسب (L_{21}) بمعامل الحث المتبادل، ويُعرّف معامل الحث المتبادل بين ملفين متجاورين بأنه: النسبة بين القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في أحد الملفين، والمعدل الزمني للتغير في تيار الملف الآخر.

سؤال: وضح المقصود بقولنا: معامل الحث المتبادل بين ملفين 5 H

مثال (5):

ملفان حلزونيان متجاوران (a ،b) عدد لفاتهما 200, 800 turn على الترتيب. إذا مر تيار شدته 2A في (a) فأحدث تدفقاً مغناطيسياً لكل لفة فيه مقداره 2.5×10^{-4}Wb وتدفقاً مغناطيسياً لكل لفة في (b) مقداره 1.8×10^{-4}Wb أوجد:

أ ـ معامل الحث الذاتي للملف (a).

ب ـ معامل الحث المتبادل بين الملفين (a ،b).

جـ ـ متوسط القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف (b) عندما ينعدم التيار المار في الملف (a) خلال 0.3s

الحل:

$$L_a = n_a \times \frac{\phi_a}{I_a} = 200 \times \frac{2.5 \times 10^{-4}}{2} = 2.5 \times 10^{-2}\ H$$

$$L_{ba} = n_b \times \frac{\phi_{ba}}{I_a} = 800 \times \frac{1.8 \times 10^{-4}}{2} = 7.2 \times 10^{-2}\ H$$

$$\varepsilon_b = -L_{ba} \times \frac{\Delta I_a}{\Delta t} = -7.2 \times 10^{-2} \times \frac{(0 - 2)}{0.3} = 0.48\ V$$

مثال (6):

ملف حلزوني طوله 10 cm، ومساحة مقطعه $2\ cm^2$، وعدد لفاته 1000 لفة. لف حوله ملف آخر منطبق عليه تماماً عدد لفاته (50) لفة. احسب معامل الحث المتبادل بين الملفين.

الحل:

$$L_{21} = n_2 \times \frac{\phi_{21}}{I_1} = n_2 \times \frac{B_1\ A_2}{I_1}$$

$$L_{21} = \mu . \acute{n}_1\ n_2 A$$

$$L_{21} = 4 \times \pi \times 10^{-7} \times 10^4 \times 50 \times 2 \times 10^{-4} = 12.56 \times 10^{-5}\ H$$

draft

سؤال: ملفان متجاوران معامل الحث المتبادل بينهما 0.4H ، إذا تغيرت شدة التيار في الملف الابتدائي من 5A الى 30A خلال 50 ms وكان عدد لفات الملف الثانوي 200 لفة، ومقاومته 20 Ω، أوجد:

أ. القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف الثانوي.

ب. تيار الملف الثانوي.

جـ. المعدل الزمني لتغير التدفق عبر الملف الثانوي.

8-7 تطبيقات عملية على الحث

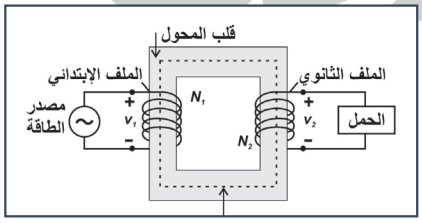
7-7 A المحول الكهربائي:

أناقش:

- يتم استيراد أجهزة كهربائية تعمل على فرق جهد كهربائي 110 V، وفرق الجهد الكهربائي في فلسطين 220 V، فكيف يتم تشغيل هذه الأجهزة دون أن تتلف؟
- كيف تشحن هاتفك الخلوي الذي يعمل على فرق جهد 6 V من كهرباء المنزل على جهد 220 V ؟ وهل يمكن شحنه باستخدام بطارية؟

لزيادة فرق الجهد المتردد أو إنقاصه لتشغيل العديد من الأجهزة الكهربائية، مثل: التلفاز، وأجهزة تضخيم الصوت، وأفران الميكروويف، أو لنقل الطاقة إلى الأماكن البعيدة فإننا نستخدم المحولات الكهربائية، فما المحول؟ ومم يتركب؟

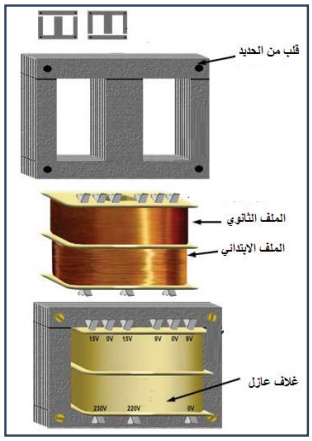
نشاط (8-3): المحول الكهربائي



المواد والأدوات: محول قابل للفك، ومصدر جهد متردد، وفولتميتر، وأسلاك.

الخطوات:

- أحضر محولاً كهربائياً وتفحصه جيداً، ما الأجزاء المكونة له؟
- ما مواصفات المواد المستخدمة في المحولات، ولماذا؟
- صل المحول بمصدر الجهد المتردد، ثم سجل قراءة الفولتميتر المتصل بالملف الثانوي.
- غير نقاط التوصيل، ماذا تلاحظ؟



لعلك لاحظت أن المحول يتكون من ملفين؛ أحدهما يسمى الملف الابتدائي، والملف الآخر يسمى الملف الثانوي. ويشترك الملفان بقلب من الحديد. وتصمم المحولات بحيث يمر التدفق المغناطيسي جميعه (تقريبا) الناتج من تيار الملف الابتدائي خلال الملف الثانوي. وعند تطبيق فرق جهد متردد على الملف الابتدائي، فإن التغير في التدفق المغناطيسي ينتج قوة دافعة حثية في الملف الثانوي. ومن ناحية أخرى، فإن القوة الدافعة الحثية المتولدة تختلف باختلاف عدد اللفات في الملفين. ومن قانون فارادي، فإن فرق الجهد (أو القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف الثانوي):

draft

$$V_2 = -N_2 \times \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \qquad (8\text{-}13)$$

وأيضا، يتناسب فرق الجهد في الملف الابتدائي مع معدل التغير في التدفق خلاله بالنسبة للزمن حسب المعادلة:

$$V_1 = -N_1 \times \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \qquad (8\text{-}14)$$

وبقسمة المعادلتين، بفرض عدم ضياع في التدفق، فإن:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \qquad (8\text{-}15)$$

وتجدر الإشارة إلى أن المحولات لا تعمل على فرق الجهد المستمر؛ بسبب عدم وجود تغير في التدفق المغناطيسي، وبذلك لا تتولد قوة دافعة حثية.

إذا كان عدد لفات الملف الثانوي أكبر من عدد لفات الملف الابتدائي $N_2 > N_1$ فيكون المحول رافعاً للجهد. أي يكون جهد الملف الثانوي أكبر من جهد الملف الابتدائي $V_2 > V_1$، بينما إذا كان عدد لفات الملف الثانوي أقل من عدد لفات الملف الابتدائي $N_2 < N_1$ ، يكون المحول خافضاً للجهد، أي يكون جهد الملف الثانوي أقل من جهد الملف الابتدائي $V_2 < V_1$. وعليه، فإن فرق الجهد المتردد يمكن أن يزداد (أو ينقص) باستخدام المحولات. وهذا لا يحصل من دون مقابل، فقانون حفظ الطاقة يشير إلى أن القدرة الناتجة لا يمكن أن تكون أكبر من القدرة الداخلة، وأن القدرة الكهربائية تنتقل من الملف الابتدائي في المحول إلى الثانوي فيه، نتيجة للتغير في التدفق المغناطيسي الناشئ في الملف الابتدائي الذي يخترق لفات الملف الثانوي، وهذا يوضح أن المحول لا ينتج طاقة. ويعبر عن معدل انتقال الطاقة بالنسبة للزمن (أو القدرة) في المحول بكفاءة المحول.

وتعرف بالنسبة بين القدرة الكهربائية في الملف الثانوي (القدرة الناتجة) إلى القدرة الكهربائية في الملف الابتدائي (القدرة الداخلة)، ويعبر عنها رياضياً كالتالي:

$$\text{كفادة المحول} = \frac{\text{قدرة الثانوي}}{\text{قدرة الإبتدائي}} \times 100\%$$

$$e = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \qquad (8\text{-}16)$$

ويعد المحول مثالياً (نظرياً) إذا كانت كفاءته 100%، أما في الواقع العملي فلا تصل كفاءة المحول إلى 100%؛ وذلك للأسباب الآتية:

1. تحول جزء من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية في الأسلاك.
2. تحول جزء من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية في القلب الحديدي.
3. تحول جزء من الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية تستنفد في تحريك الجزيئات المغناطيسية للقلب.
4. عدم دخول بعض خطوط المجال المغناطيسي لقلب المحول فلا تقطع الملف الثانوي.

عندما تكون دارة الملف الثانوي مفتوحة، فإنها لا تسحب قدرة كهربائية من الملف الابتدائي؛ وذلك لأنه في لحظة مرور التيار في الملف الابتدائي تتولد فيه قوة دافعة كهربائية حثية ذاتية عكسية بالحث الذاتي تساوي وتعاكس القوة الدافعة الكهربائية للمصدر، فينعدم التيار في الملف الابتدائي، ولا يحدث استهلاك في الطاقة.

draft

وعند إغلاق دارة الملف الثانوي ينشأ تيار حثي في الملف الثانوي، وبذلك نحصل على قدرة كهربائية معينة من هذا الملف، فيتولد تدفق مغناطيسي داخل القلب الحديدي من كلا التيارين: تيار الملف الابتدائي، وتيار الملف الثانوي. ويكون اتجاه المجال المغناطيسي لتيار الملف الثانوي حسب قاعدة لنز، بحيث يقاوم التغير في التدفق في الابتدائي، ومن ثم إنقاص القوة الدافعة الكهربائية العكسية في الملف الابتدائي، وبذلك يزداد تيار الملف الابتدائي إلى أن يصل التدفق المغناطيسي في القلب الحديدي لقيمته الأصلية.

ويلاحظ هنا وجود نوعين من الحث في المحول: الأول حث ذاتي في الملف الابتدائي، يظهر أثره عندما تكون دارة الثانوي مفتوحة، والثاني حث متبادل بين الملفين الابتدائي والثانوي، عندما تكون دارة الملف الثانوي ودارة الملف الابتدائي مغلقتين.

مثال (7):

محول كهربائي عدد لفات ملفه الابتدائي 500 لفة، والثانوي 100 لفة. إذا كان فرق الجهد بين طرفي الملف الابتدائي 200V، ومقدار شدة التيار المار فيه 0.1 A، احسب فرق الجهد بين طرفي الملف الثانوي، ومقدار شدة التيار المتولد فيه، إذا كانت كفاءة المحول:

1) 100% 2) 70 %

الحل:

1) إذا كانت كفاءة المحول 100%، أي أن المحول مثالي.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$\frac{V_2}{200} = \frac{100}{500}$$

$$V_2 \times 500 = 200 \times 100 \longrightarrow V_2 = 40\ V$$

$$P_1 = P_2$$

$$I_1\ V_1 = I_2\ V_2$$

$$0.1 \times 200 = I_2 \times 40$$

$$I_2 = 0.5\ A$$

2) إذا كانت كفاءة المحول 70%، فإن قدرة الملف الثانوي تحسب من المعادلة:

$$e = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

$$70\% = \frac{I_2\ 40}{0.1 \times 200} \times 100\%$$

$$70\% = \frac{I_2\ V_2}{I_1\ V_1} \times 100\%$$

$$I_2 = 0.35\ A$$

draft

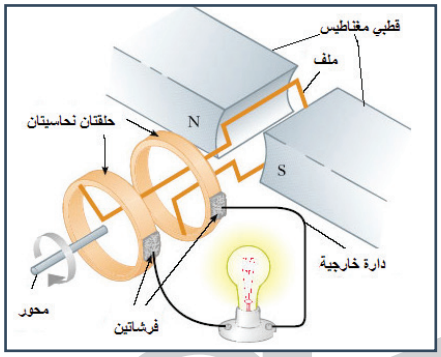
سؤال: محول كهربائي خافض للجهد كفاءته (100 %)، يراد استخدامه لتشغيل مصباح كهربائي قدرته 24 W، ويعمل بفرق جهد 12 V باستخدام مصدر كهربائي قوته الدافعة الكهربائية 240 V فإذا كان عدد لفات الملف الثانوي 480 لفة، احسب:

أ. شدة التيار المار في الملف الثانوي.

ب. شدة التيار المار في الملف الابتدائي.

جـ. عدد لفات الملف الابتدائي.

B -7-8 المولد الكهربائي:



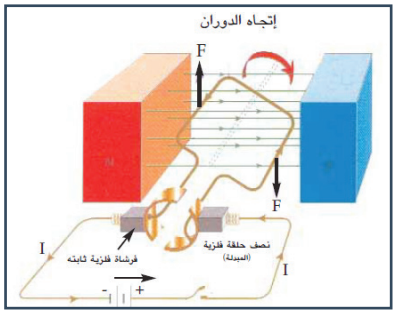
ما مصدر إضاءة مصباح دراجتك الهوائية؟

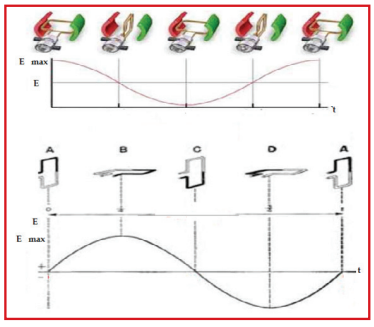
ما مصدر الطاقة الكهربائية التي تدير المصانع والأجهزة الكهربائية؟ هل تكفيها الطاقة الكيميائية الموجودة في البطاريات؟

تعرفت سابقاً أن المحول الكهربائي يعمل على زيادة الجهد المتردد أو إنقاصه. ولكن، 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 (15) الأجزاء الرئيسة لمولد التيار المتردد:

- 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:

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. وهذا التغير في التدفق المغناطيسي يحدث في كل لحظة أثناء دوران الملف، فيعمل على توليد قوة دافعة كهربائية حثية لحظية تساوي:

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

$$\varepsilon_b = -n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -n\frac{\partial BA\cos\theta}{\partial t} = n\ BA\sin\theta\ \frac{\partial\theta}{\partial t}$$

$$\varepsilon = n\ B\ A\omega\ \sin\theta \qquad (8\text{-}17)$$

حيث إن السرعة الزاوية $\frac{\partial\theta}{\partial t}$ ، ولدورة كاملة فإن $\omega = 2\pi f$، f: التردد.

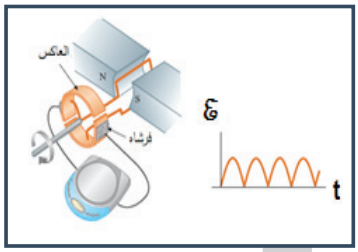
draft

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 المج ال 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 موصلين على التوالي مع عنصر أو جهاز أو مقاومة (R)، فإن التيار الكهربائي المتولد في الدارة يساوي:

$$I = \frac{\varepsilon}{\sum R} \qquad (8\text{-}17)$$

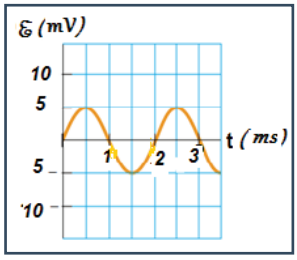


ويلاحظ من المعادلة (17- 8) أن القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف هي اقتران جيبي، ويبين الشكل (16) العلاقة بين القوة الدافعة الكهربائية الحثية وزاوية الدوران أو الزمن، ابتداء من الزاوية (θ = صفر)، أي عندما يكون مستوى الملف متعامداً مع خطوط المجال المغناطيسي.

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.

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 (15). وللحصول على تيار كهربائي شدته ثابتة في المقدار تقريباً، يعدل المولد، بحيث يضم عدة ملفات تحصر بينها زوايا ثابتة صغيرة تدور جميعها على المحور نفسه، على أن يقابل كل ملف صفيحتان في مقوم التيار.

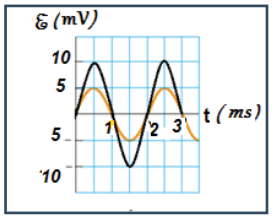
مثال (8):



يبين الشكل (16) 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: _____



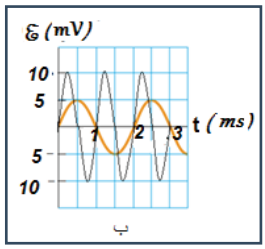
1) عند مضاعفة عدد اللفات يتضاعف الاتساع، ولا يؤثر في الزمن الدوري كما في الشكل (أ).

$\varepsilon = n\,BA\omega\,\sin\theta$

$\varepsilon = (2n)\,BA\omega\,\sin\omega t$

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

draft



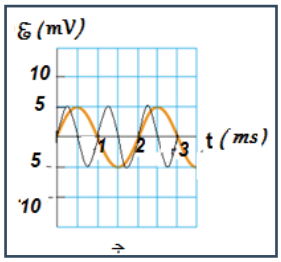
2) عند مضاعفة السرعة الزاوية يتضاعف الاتساع، ويقل الزمن الدوري إلى النصف كما في الشكل (ب).

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

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

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

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



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

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

$\varepsilon = n\ BA\omega\ 2\omega t$

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 المعناطيسي $60°$.

draft

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. محول كهربائي خافض للجهد نسبة عدد لفات ملفيه 5:2، ونسبة تياريه 2:1، فما كفاءة هذا المحول؟

أ- 20% ب- 40% ج- 60% د- 80%

3. أي الآتية يعدّ تطبيقاً على الحث المتبادل؟

أ- الجلفانوميتر ب- الفولتميتر ج- المحرك الكهربائي د- المحول الكهربائي

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

أ- 125 mh ب- 125 H ج- 20 mH د- 20 H

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

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

6. عند وضع مادة فرو مغناطيسية في قلب محث 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.

7. 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، وكفاءة المحول، وقاعدة لنز، والهنري.

س3: علل:

1- لا يعمل المحول إلا بمصدر جهد متردد.

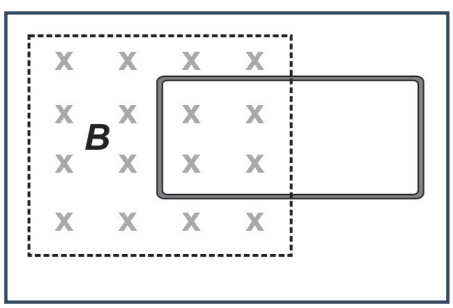
2- يصنع القلب الحديدي للمحول من شرائح معزولة.

3- 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.

2- لحظة ازدياد شدة المجال المغناطيسي.



draft

س5: جرس كهربائي مركب على محول كهربائي مثالي يعطي 8 V، إذا كانت القوة الدافعة الكهربائية في المنزل 220 V، وعدد لفات الملف الابتدائي للمحول 1100 لفة، فما عدد لفات الملف الثانوي؟ وإذا كانت شدة التيار في الملف الابتدائي 0.1 A، فأوجد شدة التيار في الملف الثانوي.

س6: 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، 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.

س7: 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.

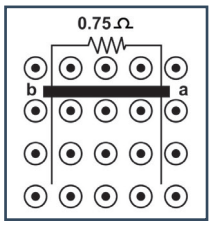
س8: مجال مغناطيسي شدته 0.2 T عمودي على مستوى ملف مكون من 500 لفة مساحة اللفة الواحدة $100\ cm^2$، احسب القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة:

1- عند إخراج الملف من المجال المغناطيسي خلال 0.1s

2- عندما ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي خلال 0.2s

س9: ملف حلزوني به (600) لفة، ومساحة مقطعه ($4 \times 10^{-4}\ m^2$) قلبه من الحديد، 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).



س10: موصل كتلته 0.15 kg وطوله 1 m ينزلق للأسفل بسرعة ثابتة 2 m/s على سكة موصلة في مجال مغناطيسي منتظم عمودي على الصفحة للخارج، فما شدة المجال المغناطيسي، ومقدار واتجاه التيار الحثي؟

س11: ملف حلزوني هوائي طوله 44 cm، وعدد لفاته 70 لفة، ومساحة مقطعه العرضي $4\ cm^2$ ويحمل تياراً شدته 5 A لف حول ملف ثان عدد لفاته 50 لفة ولا يحمل تياراً. فتحت دارة الملف الأول فأصبح تيارها صفرا خلال 0.01s، احسب:

أ. متوسط القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف الثاني.

ب. المحاثة المتبادلة بين الملفين.

draft

أسئلة الوحدة

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة

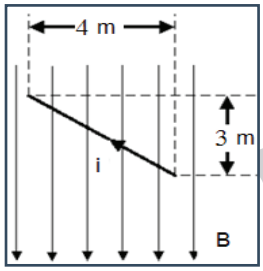
1. أي الآتية من مميزات المجال المغناطيسي؟

أ- لا يؤثر بقوة في الجسيمات المشحونة.
ب- لا يغير في سرعة الجسيم المشحون.
ج- لا يغير في كمية تحرك الجسيم المشحون.
د- لا يغير في طاقة حركة الجسيم المشحون.

2. أي من الآتية يمثل وحدة شدة المجال المغناطيسي؟

أ- C.m/s
ب) C.s/m
ج- C.s/kg
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. المادة المغناطيسية التي يتسبب وضعها في مجال مغناطيسي إلى احتفاظ المادة بخواصها المغناطيسية بعد زوال المجال المغناطيسي المؤثر تُعرّف بالمادة:

أ- البارا مغناطيسية
ب- الفرو مغناطيسية
ج- الديا مغناطيسية
د- شبه المغناطيسية

5. 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) ؟

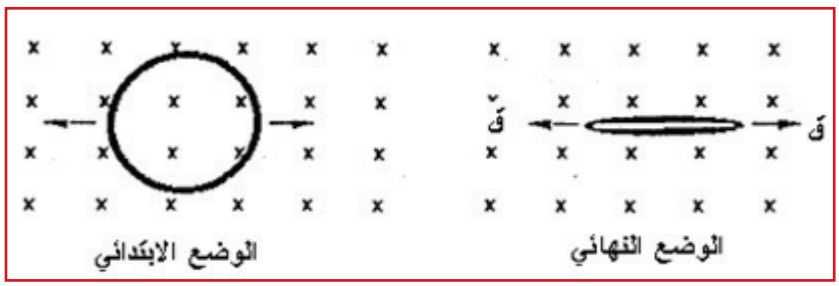
أ- صفر
ب- 1.6×10^4
ج- 4×10^4
د- 6.3×10^4

6. تقاس القوة الدافعة الكهربائية الحثية بوحدة:

أ- $T.m^2/s$
ب- V.m/s
ج- T/s
د- V/s

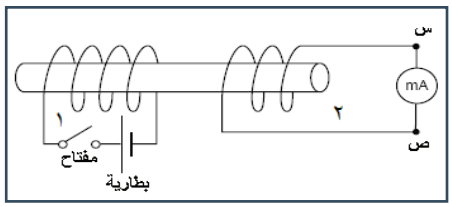
7. يبين الشكل المجاور حلقة معدنية مرنة نصف قطرها (15 cm)، ومقاومتها (4 Ω)، موضوعة في مستوى عمودي على خطوط مجال مغناطيسي منتظم شدته (0.25 T) مبتعد عن الناظر. إذا شدت الحلقة من منتصفيها بقوتين متساويتين ومتعاكستين حتى تلاشت مساحتها خلال زمن قدرة (0.3 s)، فما مقدار متوسط القوة الدافعة الحثية المتولدة فيها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

أ- 0.12
ب- 0.018
ج- 1.8
د- 0.059



draft

8. عند إغلاق المفتاح في الدارة الأولى المبينة في الشكل، فإن العبارة الصحيحة:



أ- يمر تيار لحظي في الملي أميتر اتجاهه من س إلى ص.
ب- يمر تيار لحظي في الملي أميتر اتجاهه من ص إلى س.
ج- يمر تيار مستمر في الملي أميتر اتجاهه من س إلى ص.
د- يمر تيار مستمر في الملي أميتر اتجاهه من ص إلى س.

9. إذا كان معامل الحث المتبادل بين ملفين متجاورين (0.1 H)، وتغيرت شدة التيار المار في أحد الملفين من (2 A) إلى (6 A) خلال زمن (0.01 s)، فما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف الآخر بوحدة V؟

أ- 20 ب- 40 ج- 60 د- 80

10. 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.

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

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

12. إحدى الكميات الآتية تكون قيمتها العظمى لحظة إغلاق دارة حث ذاتي:

أ- القوة الدافعة الحثية الذاتية ب- التيار الكهربائي
الطاقة المغناطيسية المختزنة في المحث د- التدفق المغناطيسي

13. ما وحدة قياس التدفق المغناطيسي

أ- Wb/m^2 ب- $T.m^2$ ج- $T.m$ د- T/m

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

أ) 2 :1 ب) 1 :2 ج)1:1 د)1 :4

15. الأثر الذي يحدثه المجال المغناطيسي على الجسيمات المشحونة داخل المسارع النووي:

تسريعها ب- إكسابها طاقة حركية ج- توجيهها د- إبطاؤها

16. 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 كل من: المولد الكهربائي، والمحول الكهربائي؟

ب- وازن بين:

وظيفة المجال الكهربائي في كل من: السيكلترون، ومنتقي السرعات.
وظيفة المجال المغناطيسي في كل من: السيكلترون، ومنتقي السرعات.

draft

س3: أ- علل ما يأتي:

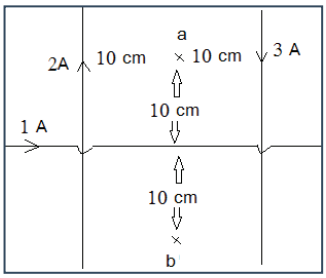
لا تنحرف الجسيمات المشحونة عند دخولها منتقي السرعات بسرعة $v=E/B$

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

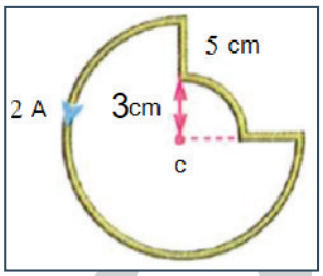
قذف جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم ولم يتأثر بقوة مغناطيسية.

ب- عرف كلا من: التسلا، ودرجة كوري، 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.

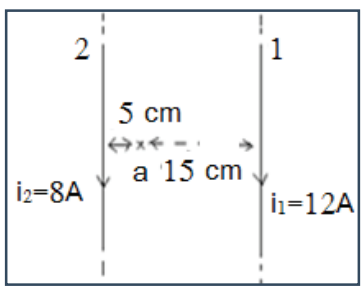
ب- إذا أصبحت شدة المجال المغناطيسي مثلي ما كانت عليه.

س8: يبين الشكل، سلكين لا نهائيين طويلين جدا المسافة بينهما (20 cm)، جد:

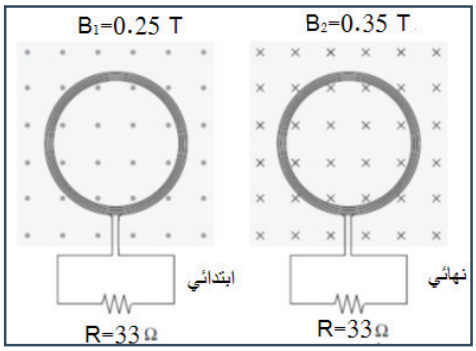
أ. القوة المتبادلة بينهما لوحدة الأطوال.

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

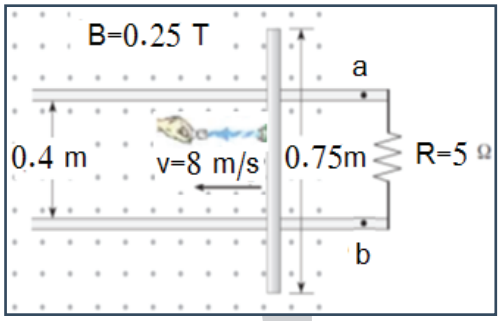
ج. بعد النقطة التي تنعدم فيها شدة المجال المغناطيسي عن أحد السلكيين.



draft



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؟

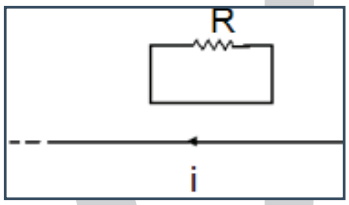


س10: في الشكل المجاور، تسحب قوة خارجية موصلاً أ ب طوله (0.75 m) بسرعة ثابتة مقدارها (8 m/s) باتجاه محور السينات السالب، عمودياً على خطوط مجال مغناطيسي منتظم شدته (0.25 T) يتجه نحو الناظر. أجب عما يأتي:

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 تدريجياً 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: محول كهربائي خافض ذو كفاءة 100% يراد استخدامه لتشغيل مصباح كهربائي قدرته 24 W ويعمل بفرق في الجهد مقداره 12 V باستخدام مصدر كهربائي قوته الدافعة 240 V فإذا كان عدد لفات الملف الثانوي 480 لفة. احسب:

أ – شدة التيار المار في الملف الثانوي.

ب – شدة التيار المار في الملف الابتدائي.

ج – عدد لفات الملف الابتدائي.

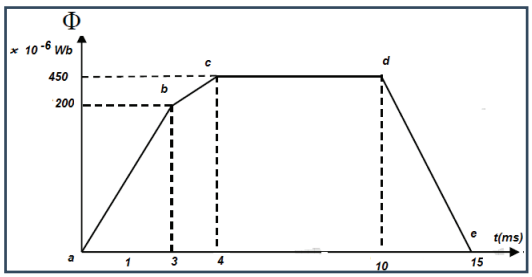
draft

س14: ملف معامل الحث الذاتي له 5H ومقاومته 9 Ω ، وصل طرفاه ببطارية قوتها الدافعة 6 V ومقاومتها الداخلية 1 Ω، احسب:

أ.معدل نمو التيار الابتدائي.

ب.القيمة العظمى للتيار في الدارة.

ج.الطاقة المختزنة في المحث.



س15: 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.

س16: 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.

س17: يبين الشكل المجاور ملفاً حلزونياً قلبه من الحديد، 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 ـ إذا ضُغطت لفات الملف ليصبح طول الملف (0.50 m).

جـ - إذا سُحب القلب الحديدي من داخل الملف.

س18: ملفان حلزونيان مصنوعان من نفس الفلز، ولهما نفس الابعاد الهندسية، أحدهما ملفوف على قالب حديدي، وصل الملفان ببطاريتين متماثلتين كلاً على حدة.

أ- في أي الملفين يحتاج التيار فترة زمنية اطول حتى ينمو، ولماذا؟

ب- في أي الملفين تكون قيمة التيار النهائية أكبر، ولماذا؟

س19: 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؟

draft

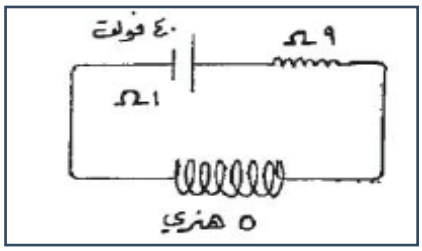
س20: ملف حلزوني طوله 50 cm ومساحة مقطعه العرضي $10\ cm^2$ وعدد لفاته 500 لفة، لف حوله ملف ثان مساحة مقطعه العرضي $20\ cm^2$ وعدد لفاته 300 لفه، فإذا مر تيار كهربائي شدته 3 A في الملف الأول، احسب:

أ . معامل الحث الذاتي للملف الأول.

ب. معامل الحث المتبادل بين الملفين.

ج. القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف الثاني عند انعكاس التيار في الملف الأول خلال 0.2s

س21: 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

س22: 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 30π V،

أولاً- احسب:

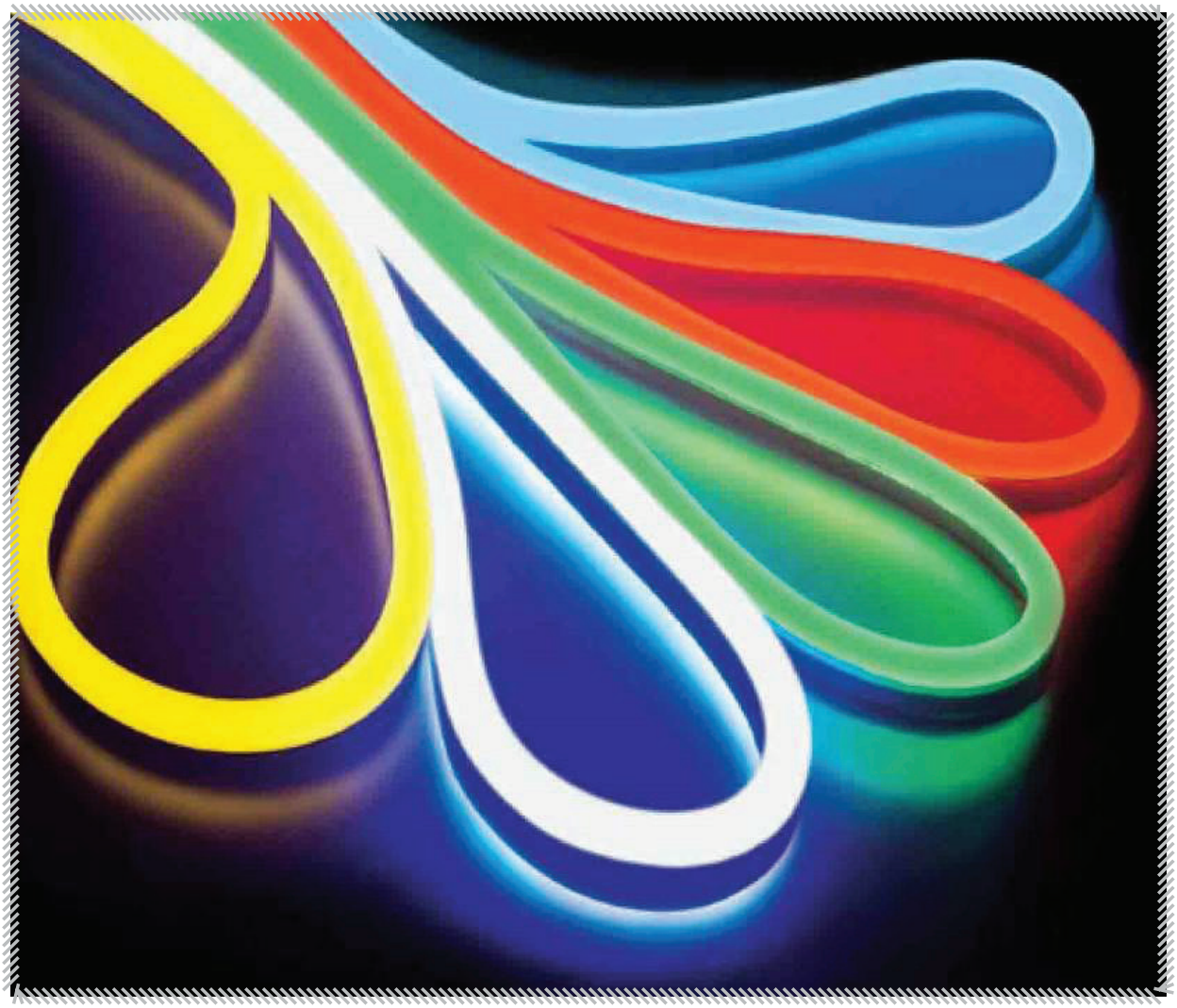
أ. المجال المغناطيسي المؤثر.

ب. القوة الدافعة المتولدة في الملف بعد 0,125 s من بدء الحركة.

ثانياً- ارسم خطاً بيانياً يوضح تغيرات القوة الدافعة المتولدة في الملف مع الزمن خلال دورة واحدة للملف.

draft

الوحدة الرابعة: الفيزياء الحديثة Modern Physics



نشاهد توهج لوحات الإعلانات بألوان مختلفة على أبواب المحلات التجارية وعلى الطرقات، فما السبب في ذلك؟

دخلت الفيزياء في مطلع القرن العشرين عالماً جديداً، هو عالم الذرات ونوى الذرات والجسيمات الأولية، حيث عجزت القوانين الكلاسيكية عن تفسير بعض الظواهر كإشعاع الجسم الأسود، والظاهرة الكهروضوئية وغيرها؛ إذ تصبح الجسيمات لها صفات الموجات، والموجات بدورها تصبح مشابهة للجسيمات.

فقد أعادت الفيزياء الحديثة النظر في نماذج الذرة المعروفة سابقاً، وقدمت نماذج جديدة أكثر عمقاً، واهتمت بدراسة نواة الذرة ومكوناتها وأهميتها في الفيزياء النووية، وأطلقت فيزياء الكم التي اعتبرت ثورة عظيمة في علم الفيزياء الحديثة، وفسرت العديد من الظواهر التي عجزت الفيزياء الكلاسيكية عن تفسيرها. فما نظريات الفيزياء الحديثة؟ وكيف تمكنت من تفسير هذه الظواهر؟

يتوقع من الطلبة، بعد دراسة هذه الوحدة، أن يجيبوا عن هذه الأسئلة وغيرها، وأن يحققوا النتاجات الآتية:

- تفسير الظواهر الفيزيائية التي عجزت الفيزياء الكلاسيكية عن تفسيرها.
- التعرف إلى النماذج الذرية وتفسيرها لتركيب الذرة.
- دراسة ظاهرة النشاط الإشعاعي وأنواع الإشعاعات.
- تقدير جهود العلماء في اكتشاف القوانين الفيزيائية التي تفسر بعض الظواهر.

draft

الفصل التاسيع:

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؟

draft

ويتوقع من الطلبة بعد دراسة هذا الفصل، أن يجيبوا عن هذه الأسئلة وغيرها، وأن يكونوا قادرين على:

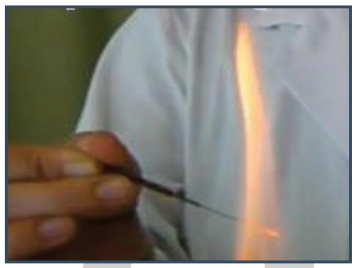
- التعرف إلى ظاهرة إشعاع الجسم الأسود وتفسيرها.
- التعرف إلى نظرية الكم.
- تفسير الظاهرة الكهروضوئية.
- الموازنة بين النماذج الذرية.
- تفسير الأطياف الذرية بدلالة نموذج بور لذرة الهيدروجين.
- توضيح المقصود بمبدأ اللا يقين.
- حل مسائل متنوعة على القوانين والعلاقات الرياضية.

أناقش:

- ما المقصود بالطبيعة المزدوجة للضوء؟
- اذكر ظاهرتين للضوء فشلت الفيزياء الكلاسيكية في تفسيرها؟
- رتب ألوان الطيف المرئي تنازلياً من حيث طول الموجة؟
- لماذا يظهر الجسم أسود؟

1-9 إشعاع الجسم الأسود Black Body Radiation

نشاط (9-1): ألوان التوهج



المواد والأدوات: موقد، وإبرة فلزية رفيعة، وملقط خشبي.

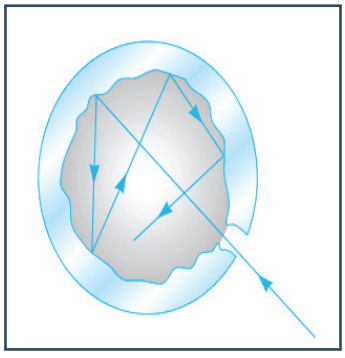
الخطوات: قم بتسخين الإبرة على اللهب، ولاحظ التدرج في ألوان التوهج الصادر عنها مع الاستمرار بعملية التسخين.

- وضح تسلسل ألوان التوهج الصادرة عن الإبرة.
- ما سبب اختلاف لون التوهج؟

نشاهد اختلاف التوهج في كثير من التطبيقات الحياتية مثل ماكينة اللحام، كما في الشكل (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 نوع مادته، 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.

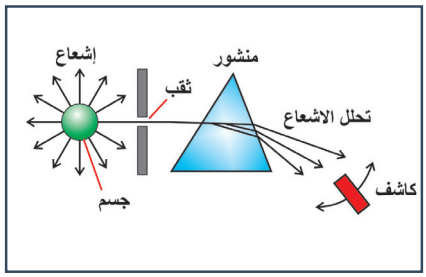


لا شك أن ظاهرة إشعاع الجسم الأسود نلاحظها في حياتنا اليومية، فعند تسخين جسم ما مثل الحديد نلاحظ أن الجسم عندما ترتفع حرارته يبدأ في إشعاع لون قريب من اللون الأحمر، عندها تكون درجة حرارة الجسم تقارب 700 درجة سلسيوس، ثم بزيادة الحرارة يتحول إلى اللون البرتقالي، وهكذا حتى يصل إلى اللون الأبيض، الذي يدل على أن الجسم وصل إلى درجة حرارة 1200 درجة مئوية، كما في فتيلة المصباح الكهربائي التي تعطي الضوء الأبيض.

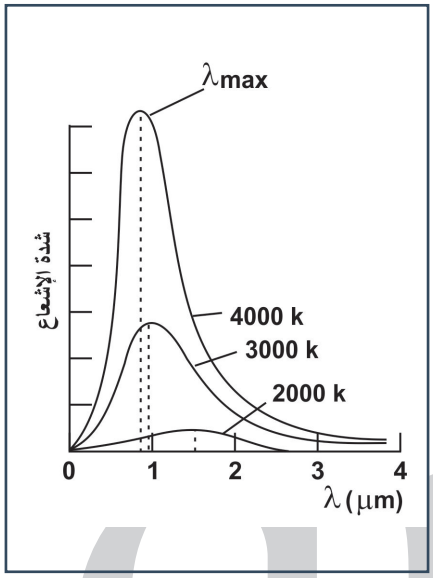
إن طبيعة الإشعاع الصادر عن الجسم الأسود المثالي يعتمد فقط على درجة

draft

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 (9-2)، ومن ثم نرسم النتائج بيانياً فنحصل على المنحنى الموضح بالشكل (9 - 3)، 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 إلى الصفر في منطقة الأمواج القصيرة والأمواج الطويلة.

2- ينزاح طول موجة الإشعاع القصوى نحو اليسار باتجاه الطول الموجي الأقصر، وذلك بارتفاع درجة الحرارة.

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.

$$\lambda_{max}\, T = 2.898\times10^{-3}\ m.k \qquad (9\text{-}1)$$

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، وتزداد المساحة (الطاقة) تحت المنحنى.
وقد تم توضيح هذا التأثير بوساطة **قانون ستيفان- بولتزمان**

$$I = \sigma\, e T^4 \qquad (9\text{-}2)$$

حيث I: شدة الإشعاع (الإشعاعية) وهي الطاقة الكلية المشعة من المتر المربع الواحد من سطح الجسم في الثانية الواحدة.

draft

$$I = \frac{\text{معدل طاقة الإشعاع}}{\text{المساحة}}$$

$$I = \frac{p}{A} \qquad (9\text{-}3)$$

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 =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 $1m^2$؟

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) $I = \frac{p}{A}$

$459.27 = \frac{p}{I}$

معدل طاقة الإشعاع $= 459.27\ W$

a-1-9 الفيزياء الكلاسيكية وإشعاع الجسم الأسود

كيف فسرت الفيزياء الكلاسيكية ظاهرة إشعاع الجسم الأسود؟ وهل نجحت في ذلك؟

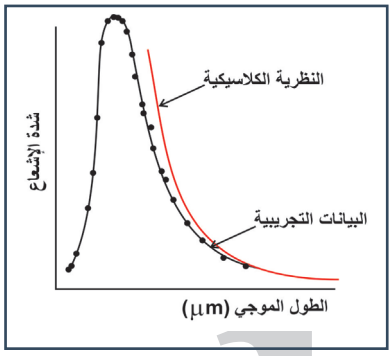
لقد حاول العلماء تفسير النتائج التجريبية التي نتجت عن دراسة إشعاع الجسم الأسود باستخدام النظرية الموجية الكلاسيكية التي طورها العالم ماكسويل، التي تَعدّ أن الضوء عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية، وأثبتت نجاحها في كثير من الظواهر، وقد قام العالمان رايلي وجينز استناداً إلى نظرية ماكسويل بوضع نظرية لتفسير ظاهرة 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،

draft

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:

$$I = \text{constant}\ \frac{T}{\lambda^4}$$

سؤال: ما وحدة الثابت في قانون رايلي وجينز؟



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 (9-4) يمكن الموازنة 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

سؤال: كيف فسر بلانك كارثة الأشعة فوق البنفسجية؟

حاول العالم ماكس بلانك التوصل إلى معادلة تفسر إشعاع الجسم الأسود معتمداً على النظرية الكلاسيكية، التي اعتمد عليها رايلي وجينز، إلا أنه أخفق وتأكد من أن الخلل ليس فيما توصل إليه العلماء من قبله، بل في النظرية الكلاسيكية التي اعتمدوا عليها.

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:

$$E = n\ h\ f \qquad (9\text{-}4)$$

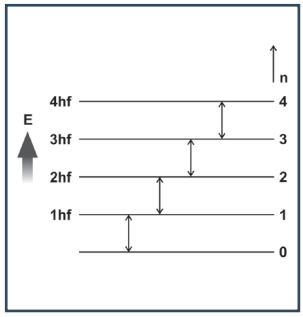
حيث E: طاقة الكمة، وتقاس بالجول (J)، وغالبا ما تستخدم وحدة الإلكترون فولت (eV) لحساب طاقة الكمة حيث $1\ J = 11.6 \times 10^{-19}\ eV$

n: عدد صحيح موجب يعرف بالعدد الكمي (number Quantum) $n = 1,2,3,\ldots\ldots$

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)

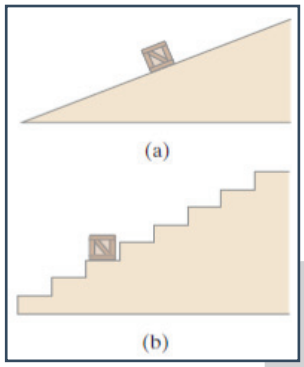
draft



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:

$$\Delta E = h\, f \qquad (9\text{-}5)$$

ويبين الشكل (5) مستويات الطاقة المكماة والانتقالات المسموحة المقترحة بوساطة بلانك .



ولتوضيح هذه الفرضيات، لنفرض أن جسماً موضوعاً على سطح مائل، فإن طاقة وضع هذا الجسم تأخذ أي قيمة بناءً على ارتفاعها عن سطح الأرض. بينما الجسم الموضوع على سطح درج، فإن طاقة وضعه تأخذ قيماً محددة (متقطعة) كما في الشكل (6).

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.

9-2 آينشتاين وتكميم الضوء

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:

$$E = hf = h\frac{c}{\lambda} \qquad (9\text{-}6)$$

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.

draft

مثال (2):

احسب الطاقة بوحدة الجول والإلكترون فولت لفوتون الضوء الأحمر وطوله الموجي 635 nm

الحل:

$$E = hf = h\frac{c}{\lambda}$$

$$E = 6.626 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^{8}}{6.35 \times 10^{-7}} = 3.13 \times 10^{-34}\ J$$

$$E = \frac{3.13 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.96\ eV$$

مثال (3):

في طيف الإشعاع الشمسي فوتون طاقته (2.7 eV)، ما تردد الفوتون؟

الحل:

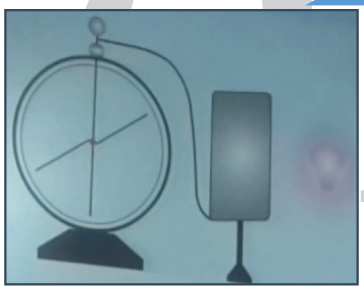
$$E = hf$$

$$2.7 \times 1.6 \times 10^{-19} = 6.626 \times 10^{-34}\ x\ f$$

$$f = 6.6 \times 10^{14}\ Hz$$

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 ضوء 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 المشع على قطعة الخارصين، ماذا تلاحظ؟

5- سلط أشعة المصباح فوق البنفسجية على قطعة الخارصين، ولاحظ انفراج ورقتي الكشاف.

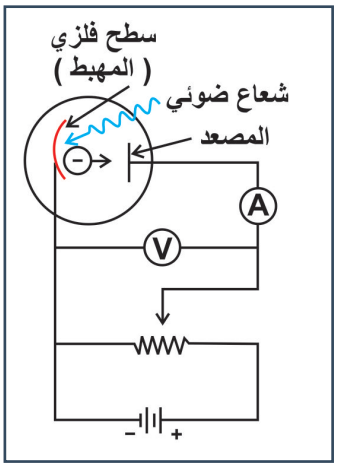
ماذا حدث عندما تم تسليط الأشعة على لوح الخارصين؟ ماذا تستنتج؟ ماذا تسمى هذه الظاهرة؟

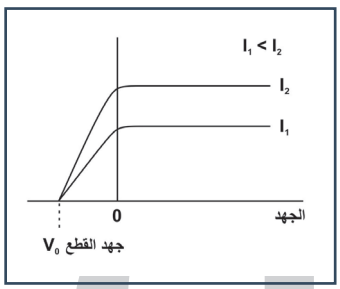
لاحظ العالم هيرتز أثناء إجرائه بعض التجارب للتحقق من نظرية ماكسويل للأمواج الكهرومغناطيسية أنه عند تسليط ضوء فوق بنفسجي على سطح قرص كشاف كهربائي لفلز معين تغير انفراج ورقتي الكشاف، وفسر ذلك بانبعاث إلكترونات من سطح الفلز.

أطلق على هذه الظاهرة ظاهرة التأثير الكهروضوئي: «ظاهرة انبعاث الإلكترونات من أسطح الفلزات عند تعرضها لموجات كهرومغناطيسية بتردد مناسب»، وسميت الإلكترونات المتحررة بالإلكترونات الضوئية.

draft

سؤال: كيف يمكن دراسة هذه الظاهرة عملياً؟ وكيف يمكن تفسيرها؟





عمليا تستخدم الدارة الكهربائية الموضحة بالشكل (7) 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 (8) 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.

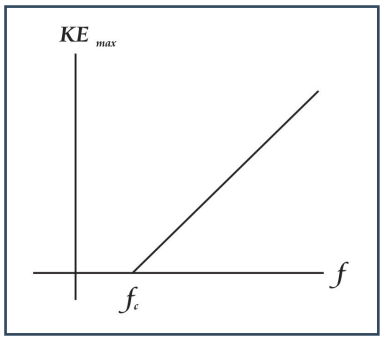
وللتعرف إلى تفسير ظاهرة التأثير الكهروضوئية من وجهة نظر النظرية الموجية للضوء (الكلاسيكية) ونظرية الفوتون (الكمية)، فإن النظرية الموجية تتنبأ (تفترض) ما يأتي:

1. عند زيادة شدة الضوء، يزداد عدد الإلكترونات المنبعثة، وكذلك 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

draft



الساقط (باستبداله بضوء آخر) تزداد الطاقة الحركية القصوى للإلكترونات المنبعثة، والشكل (9-9) 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).

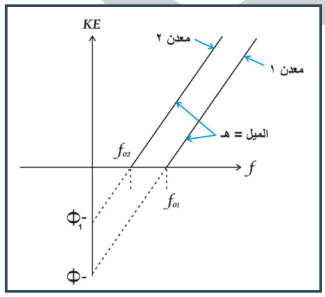
وفقا لنظرية آينشتاين، يتم تحرير الإلكترون من الفلز عن طريق الاصطدام بفوتون واحد خلال فترة زمنية صغيرة جدا، وبما أن الإلكترونات تستقر في الفلز بفعل قوى الجذب، فإنه يلزم حد أدنى من الطاقة لتحرير (أو انبعاث) الإلكترون من خلال السطح تسمى اقتران الشغل (φ)، وإذا كان تردد الضوء الساقط (f) منخفضاً وطاقته (h f) أقل من اقتران الشغل ($\varphi = h f_0$) 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

$$h f = \varphi + K E_{max} \qquad (9\text{-}7)$$

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:



$$K E_{max} \frac{1}{2} mv^2 = q_e V_0 \qquad (9\text{-}8)$$

حيث q_e: شحنة الإلكترون، V_0: جهد الإيقاف (القطع)

أناقش:

اعتماداً على الشكل المجاور:

1- ماذا يمثل المقطع السيني؟

2- ماذا يمثل المقطع الصادي؟

3- لماذا يكون المنحنيان متوازيين؟

ويبين الجدول المجاور بعض القيم لاقتران الشغل لعدة عناصر.

المعدن	اقتران الشغل Φ (eV)
Na	2.28
Al	4.08
Cu	4.70
Zn	4.31
Ag	4.73
Pt	6.35
Pb	4.14
Fe	4.50

draft

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:

$$h f = \varphi + K E_{max}$$

$$6.626 \times 10^{-34} \times 1 \times 10^{15} = \varphi + 1.78 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$\varphi = 3.778 \times 10^{-19} J$$

$$\varphi = h f_0$$

$$3.778 \times 10^{-19} = 6.626 \times 10^{-34} \times f_0$$

$$f_0 = 5.7 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

سؤال: أي الفلزين الآتيين يظهر التأثير الكهروضوئي عندما يسقط عليه ضوء تردده 7×10^{14} Hz الليثيوم ($\varphi = 2.3$ eV) أم الفضة ($\varphi = 4.7$ 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.

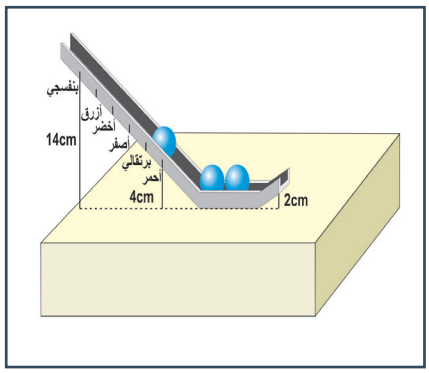
هل عدد الفوتونات في 1 J من الضوء الأحمر أكبر من عدد الفوتونات في (1 J) من الضوء الأزرق أم يساويه، أم أصغر منه؟ وضح ذلك.

ما السبب في تحرر إلكترونات من سطح فلز عند سقوط ضوء معين عليها دون آخر، لتجيب عن ذلك إليك النشاط التالي:

نشاط (3-9): 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)

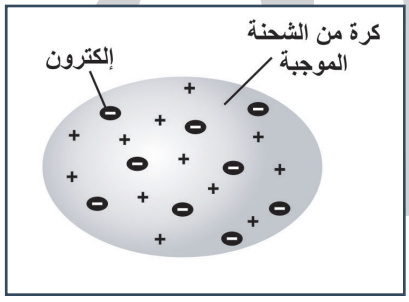
draft



الخطوات:

- ضع المسار المقوس على سطح طاولة كما هو موضح بالشكل.
- 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

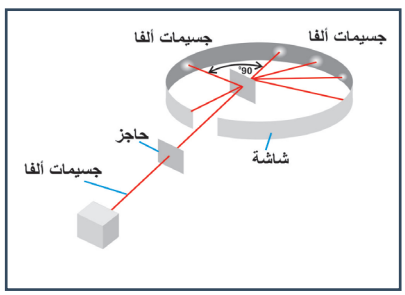


أناقش:

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 موجبة الشحنة، تتوزع داخلها الشحنات السالبة بشكل عشوائي، كما في الشكل (10).

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) $_2He^4$ 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.

draft

- 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:

a-4-9 نموذج بور لذرة الهيدروجين

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.

$$m \frac{v^2}{r} = K \frac{q^2}{r^2} \qquad (9\text{-}9)$$

2- تتواجد الإلكترونات في مدارات 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 مداره إلى مدار آخر أقل طاقة، ويكون مقدار الطاقة المنبعثة مساوياً لفرق طاقة الإلكترون في المدارين، ويكون هذا الإشعاع على هيئة كمات (فوتونات) تحسب طاقتها من العلاقة:

$$\Delta E = E_f - E_i = hf \qquad (9\text{-}10)$$

كمية التحرك الزاوية للإلكترونات كمية مكماة تساوي مضاعفات صحيحة للمقدار $\frac{h}{2\pi}$

$$L = mvr = \frac{nh}{2\pi} \qquad (9\text{-}11)$$

حيث h:ثابت بلانك:L: كمية التحرك الزاوية، r: 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: $mvr = \frac{nh}{2\pi}$

$$m^2v^2r^2 = \frac{n^2h^2}{4\pi^2}$$

وتعويض السرعة من الفرض الأول لبور في المعادلة السابقة $v^2 = k\frac{q^2}{rm}$

$$r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 kq^2 m}$$

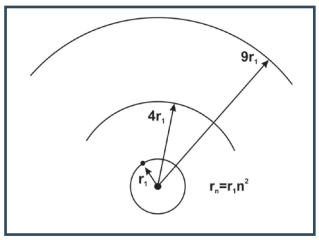
وبتعويض الثوابت ينتج $r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 kq^2 m} = 0.529 \times 10^{-10}m$

$$r_n = n^2 r_1 \qquad (9\text{-}12)$$

draft

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 (11) مدارات بور الثلاثة الأولى.

2- حساب الطاقة الكلية للإلكترون في مداره

إن كل إلكترون يتحرك في مداره يمتلك طاقة محددة تساوي مجموع طاقتي الوضع والحركة، حيث:

$$E_n = KE + U$$

$$E_n = \frac{1}{2} mv^2 + - \frac{kq^2}{r}$$

بتعويض السرعة من الفرض الأول لبور

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

$$E_n = \frac{1}{2} mv^2 + - \frac{kq^2}{r}$$

$$E_n = \frac{1}{2} \frac{kq^2}{r}$$

وبتعويض الثوابت q، k، $r = n^2 r_1$ والقسمة على شحنة الإلكترون q للتحويل من جول إلى إلكترون فولت ينتج

$$E_n = \frac{E_0}{n^2} \qquad (9\text{-}13)$$

حيث طاقة الإلكترون في المستوى الأول (E_0) تساوي (-13.6 eV) وهذه المعادلة تبين أن مدارات الطاقة مكماة أيضاً.

3- حساب الطول الموجي للأطياف المنبعثة من ذرة الهيدروجين

لحساب الطول الموجي للفوتون المنبعث عندما ينطلق إلكترون من مدار لآخر، وبأخذ القيمة الموجبة للفرق في الطاقة بين المدارين:

$$\Delta E = E_i - E_f = hf$$

$$\Delta E = E_i - E_f = h \frac{c}{\lambda}$$

$$\Delta E = \frac{E_0}{n_i^2} - \frac{E_0}{n_f^2} = h \frac{c}{\lambda}$$

$$E_0 \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) = h \frac{c}{\lambda}$$

بالضرب في q_e للتحويل من إلكترون فولت إلى جول

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{E_0 q}{hc} \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) = R \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right)$$

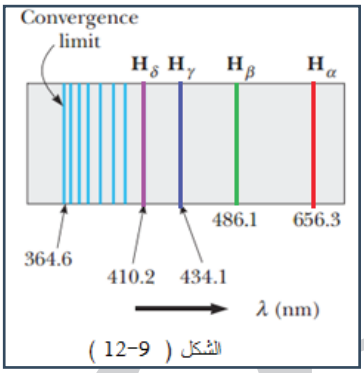
draft

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) \qquad (9\text{-}14)$$

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



الشكل (12-9)

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.
ويبين الشكل (12) 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

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (9\text{-}15)$$

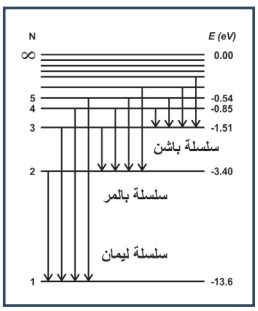
n = 3 , 4 , 5 , ...

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 , ...



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 , ...

draft

والشكل (9- 13) 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

$$\Delta E = E_2 - E_4 = hf$$

$$= (0.850) - (-3.40) = 2.55 \text{ eV}$$

$$= 2.55 \text{ eV} \times (1.6 \times 10^{-19}) = 6.63 \times 10^{-34} \times f$$

$$f = 6.15 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

وهو يتوافق مع الخط الثالث في سلسلة الطيف الخطي المرئي ويظهر بلون أزرق

9-5 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 كمية التحرك. ويمكن حساب الطول الموجي من العلاقة:

$$\lambda = \frac{h}{P} \qquad (9\text{-}17)$$

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:

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv}$$

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{0.2 \times 15} = 2.2 \times 10^{-34} \text{ m}$$

مثال (7):

احسب الطول الموجي المصاحب لإلكترون تم تسريعه تحت فرق جهد 100 V

draft

الحل:

$$\frac{1}{2} mv^2 = q_e V$$

$$\frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} v^2 = 1.6 \times 10^{-19} \times 100$$

$$v = 5.9 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 5.9 \times 10^6} = 7.7 \times 10^{-11} \text{ m}$$

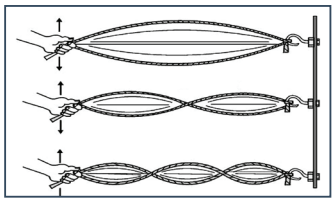
سؤال: إذا اكتسب كل من الإلكترون والبروتون تسارعاً من السكون عند نفس فرق الجهد، أيهما يملك طولاً موجياً أكبر، ولماذا؟

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 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 وأكبر حجما منها في المجهر الضوئي.

6-9 موجات الإلكترون



سؤال: يوضح الشكل المقابل نوع الأمواج المتولدة في حبل مشدود.

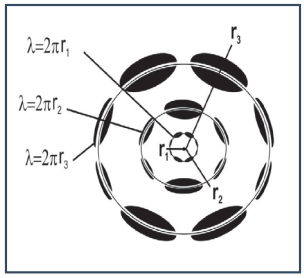
ماذا تسمى الأمواج الموضحة في الشكل المقابل؟ ممّ تتكون هذه الأمواج؟

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، 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 = الطول الموجي المصاحب للإلكترون

$$n \lambda = 2\pi r_n \qquad (9\text{-}18)$$

draft



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 (نموذج شرودنجر)

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 ($mvr = \frac{nh}{2\pi}$)، 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 وكمية تحركه في اللحظة نفسها وبدقة عالية، فكلما كانت دقة القياس لكمية تحركه عالية، قلت الدقة في تحديد الموقع، والعكس صحيح.

ويعبر عنه رياضيا «حاصل ضرب اللا يقين في الموقع (Δx) وكمية الحركة (ΔP) يكون دائما أكبر من قيمة صغرى تساوي $\frac{nh}{2\pi}$

$$\Delta p \Delta x \geq \frac{h}{2\pi} \qquad (9\text{-}19)$$

في الحقيقة يتواجد الطول الموجي لموجة خلال الفضاء، وإن أية منطقة خلال هذه الموجة تكون كأي منطقة أخرى نفسها، ولو أننا سألنا أين موقع الجسيم الذي تمثله الموجة؟ فليس هناك موضع خاص في الفضاء يمكن تحديده للجسيم عبر الموجة، فكل النقاط عبر الموجة متشابهة، لذلك يكون لدينا عدم تيقن لا نهائي في موضع الجسيم، فمعرفتنا لكمية تحركه كلفتنا كل المعلومات حول موضعه.

مثال (8):

تم قياس سرعة انطلاق إلكترون فكانت 5×10^3 m/s، ووصلت إلى دقة 0.003%، احسب أقل لا يقين في موضع هذا الإلكترون.

الحل:

$$P = mv = 9.11 \times 10^{-31} \times 5 \times 10^3 = 4.56 \times 10^{-27} \text{ kg.m/s}$$

$$\Delta p = p \times 0.00003$$

$$\Delta p = 4.56 \times 10^{-27} \times 0.00003 = 1.37 \times 10^{-31} \text{ kg.m/s}$$

$$\Delta p \Delta x = \frac{h}{2\pi}$$

$$1.37 \times 10^{-31} \Delta x = \frac{6.626 \times 10^{-34}}{2\pi}$$

$$\Delta x = 0.77 \text{ mm}$$

draft

أسئلة الفصل:

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة

1. جسم أسود مثالي درجة حرارته (T)، إذا تضاعفت درجة حرارته 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 mA) وجهد القطع (2 V)، فإذا تضاعفت شدة الضوء الساقط يصبح:

أ- طول موجة الفوتون الساقط (λ 2) وجهد القطع (4V)

ب- طول موجة الفوتون الساقط (λ) وجهد القطع (2V)، وتيار الإشباع (20 mA)

ج- طول موجة الفوتون الساقط (λ) وجهد القطع (2V)، وتيار الإشباع (40 mA)

د- طول موجة الفوتون الساقط ($\lambda/2$) وجهد القطع (2V)، وتيار الإشباع (40 mA)

4. مقدار كمية التحرك الخطية 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

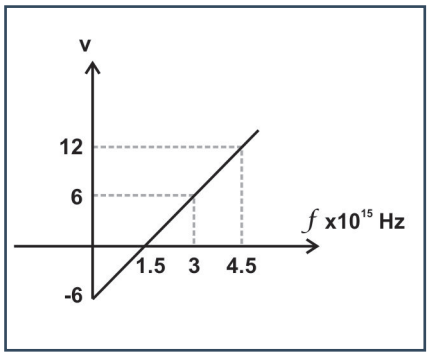
6. وفقاً لنظرية الكم، فإن طاقة الموجة الضوئية تزداد بزيادة:

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؟

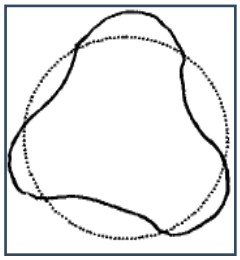
draft

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 للإلكترون المتحرر

2- أكبر طول موجة يحرر الإلكترونات من سطح الخلية الكهروضوئية

draft

الفصل العاشر:

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.

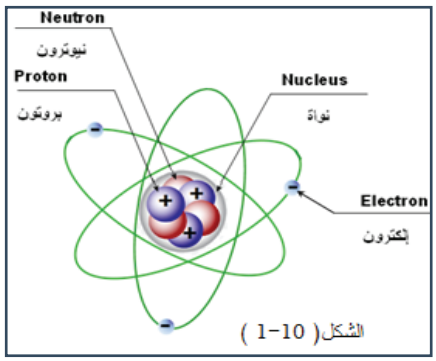
وبعد دراسة هذا الفصل سيكون الطلبة قادرين على تحقيق الأهداف الآتية:

- التعرف إلى مكونات النواة وخصائصها.
- التعرف إلى القوة النووية وخصائصها.
- حساب طاقة الربط النووية لنواة عنصر أو لنيكليون.
- تفسير استقرار بعض أنوية العناصر.
- التعرف إلى ظاهرة النشاط الإشعاعي.
- الموازنة بين أشعة ألفا وبيتا وغاما من حيث خصائصها.
- حساب عمر النصف لبعض العناصر.
- التعرف إلى سلاسل الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي.
- التعرف إلى بعض التفاعلات النووية.

draft

1-10 مكونات النواة

أناقش:



الشكل (10-1)

- ما الذرة الأبسط تركيباً بين العناصر؟
- يرمز للعنصر بالرمز ، 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:

$^{235}_{92}U$	$^{16}_{8}O$	$^{56}_{17}Fe$	$^{35}_{17}CI$	$^{2}_{1}H$	$^{1}_{1}H$

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 $^{56}_{17}Fe$ 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 = $\frac{6.022 \times 10^{23}}{12}$ = 1.993×10^{-23} gm

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

$$E = mc^2 \qquad (10\text{-}1)$$

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)

draft

ويبين الجدول (1) الشحنة والكتل السكونية لمكونات الذرة بالكيلو غرام وبوحدة الكتل الذرية

جدول (1) شحنة وكتل بعض الجسيمات

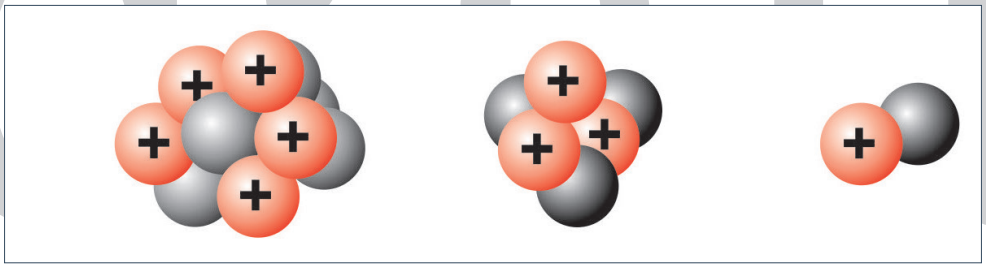
الجسيم	الشحنة	الكتلة (Kg)	الكتلة (u)
النيوترون	متعادل	1.649×10^{-27}	1.008665
البروتون	موجبة	1.6726×10^{-27}	1.007276
الإلكترون	سالب	0.00091×10^{-27}	0.0005486

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)

الفيرمي وحدة صغيرة تستخدم لقياس أبعاد أنوية الذرات (أنصاف أقطارها) = 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 نواة الثاني.
   - حجم نواة الأول إلى الثاني.

مثال (1):

احسب نصف قطر نواة الحديد $({}^{56}_{26}Fe)$ وحجمها.

الحل:

$$r = a_0 A^{1/3} = 1.2 \times 10^{-15} (56)^{\frac{1}{3}} = 4.6 \times 10^{-15} \text{ m}$$

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} 3.14 \times (4.6 \times 10^{-15})^3 = 4 \times 10^{-43} \text{ m}^3$$

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 البروتون 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 كتلة النيوكليون 1.6606×10^{-27} kg ونصف قطره يساوي 1.2 فيرمي، ثم وازن 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

draft

3-10 القوة النووية وطاقة الربط النووية (Nuclear Force and Binding Energy)

تحتوي النواة على عدد من النيكليونات (البروتونات والنيوترونات) المتماسكة بعضها مع بعض، بالرغم من عدم وجود جدار للنواة، وبالرغم من وجود قوة 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. وازن 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 كتلة 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_p).

وبالرموز $M_p < (m_n \times N + m_p \times Z)$

$$\Delta m = (Z \times m_p + N \times m_n) - M_p \qquad (3\text{-}10)$$

$$E_{bin} = \Delta m\, c^2 \qquad (4\text{-}10)$$

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:

$$E_n = \frac{E_{bin}}{A} \qquad (5\text{-}10)$$

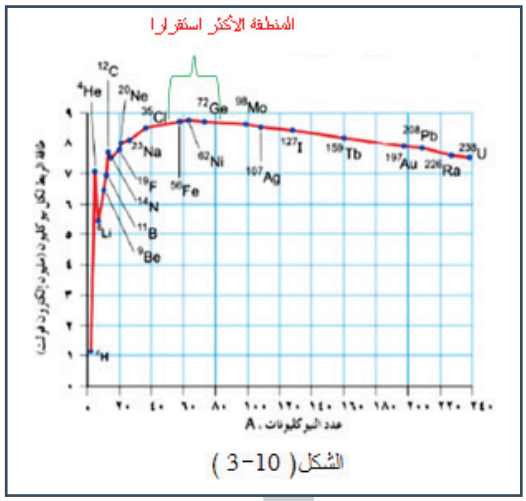
مثال (3):

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 ؟

$$\Delta m = (Z \times m_p + N \times m_n) - M_p$$
$$= (8 \times 1.007276 + 8 \times 1.008665) - 15.9949 = 0.132628\ u$$
$$E_{bin} = 0.1322628u \times 931.5 \frac{MeV}{u} = 123.54\ MeV$$
$$E_n = \frac{E_{bin}}{A} = \frac{123.54MeV}{16} = 7.72\ MeV$$

draft

سؤال: احسب طاقة الربط النووية (E_{bin}) وطاقة الربط النووية لكل نيوكيلون (E_n) بوحدة الإلكترون فولت لنواة البيريليوم ($^{9}_{4}Be$) إذا علمت أن كتلة هذه النواة (9.01219 u).



الشكل (3-10)

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_{bin}) لها ببطء بزيادة العدد الكتلي، ولديها قابلية إلى الانشطار بتوافر الظروف المناسبة، وينتج عن الانشطار نواتان متوسطتان، لهما طاقة ربط أعلى من طاقة ربط النواة الأصلية.

_ النوى الخفيفة (عددها الكتلي قليل) ليست مستقرة وتزداد (E_{bin}) 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: $^{235}_{92}U$ ، $^{2}_{1}H$

النظائر:

نشاط (4-10)

تأمل مجموعات العناصر الآتية (النظائر)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها:

اليورانيوم U: $^{235}_{92}U$,$^{234}_{92}U$, $^{235}_{92}U$, $^{238}_{92}U$,

الأكسجين O: $^{16}_{8}O$, $^{17}_{8}O$, $^{18}_{8}O$

الكربون C: $^{12}_{6}C$ ، $^{13}_{6}C$ ، $^{14}_{6}C$

الهيدروجين H: $^{3}_{1}H$ ، $^{2}_{1}H$، $^{1}_{1}H$

أناقش:

1. المجموعة الواحدة من 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.

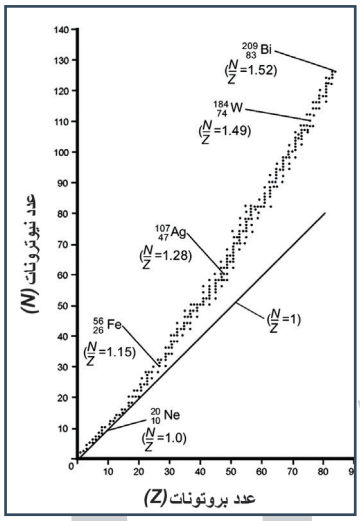
draft

هناك بعض العناصر كالألمنيوم والفلور والذهب والفوسفور ليس لها إلا نظير واحد موجود في الطبيعة، وهناك بعض العناصر لها نظيران أو أكثر كاليورانيوم والأكسجين والكربون والهيدروجين، يوجد في الطبيعة حوالي 270 نظيراً مستقراً، ونحو 50 نظيراً آخر مشعاً، تختلف نسبة شيوع النظائر المستقرة في الطبيعة فمثلاً نظير الكربون المستقر $^{12}_{6}C$ يتواجد في الطبيعة بنسبة 98.9% في حين النظير المستقر $^{13}_{6}C$ بنسبة 1.1% فقط.

بعض النظائر خصوصاً المشع منها مثل $^{108}_{47}Ag$ ،و $^{92}_{36}kr$ وجميع العناصر التي عدد بروتوناتها أكبر من 92 لا تتواجد في الطبيعة، ولكن يقوم العلماء بإنتاجها داخل المختبرات في بعض التفاعلات النووية.

استقرار الأنوية:

الاستقرار يعني أن النواة لا تضمحل، ولا تتحول إلى نواة أخرى تلقائيا؛ وبناء على ذلك تصنف النوى إلى نوى مستقرة (غير مشعة)، ونوى غير مستقرة (مشعة)، ويعود استقرار الأنوية إلى وجود عدد مناسب من النيوترونات في النواة، يجعل القوة النووية تسود على قوة التنافر الكهربائي بين البروتونات، وبالتالي تكون النواة مستقرة، والشكل (4) يبين العلاقة بين عدد البروتونات وعدد النيوترونات للنوى المستقرة، حيث إن جميع العناصر المستقرة تقع ضمن هذه الحزمة والأنوية الأثقل تنحرف أعلى هذه الحزمة، ويمكن تقسيم الأنوية حسب العدد الذري إلى



الشكل (4)

الأنوية الخفيفة (Z < 20)

فيها عدد البروتونات (Z) = عدد النيوترونات (N)

ومن أمثلتها ، $^{32}_{16}S$ ، $^{12}_{6}C$، $^{16}_{8}O$ ... وتقع هذه العناصر على المنحنى N = Z

الأنوية المتوسطة (20 < Z < 82) تقريبا

وفيها عدد النيوترونات أكبر من عدد البروتونات، ولكي تكون النواة مستقرة، يجب أن تكون نسبة $\frac{N}{Z}$ قريبة من الواحد الصحيح ($1 < \frac{N}{Z} \geq 1.52$) كما يتضح من الشكل ومن أمثلتها $^{206}_{82}pb$، $^{107}_{47}Ag$، $^{56}_{26}Fe$.

الأنوية الثقيلة (Z > 82)

وفيها يزداد عدد البروتونات كثيرا؛ مما يزيد من القوة الكهربائية، وزيادة عدد النيوترونات لا تستطيع تعويض الزيادة في القوة الكهربائية، فتصبح نوى (أنوية) هذه العناصر غير مستقرة ومن أمثلتها $^{235}_{92}U$، $^{232}_{90}Th$، $^{226}_{88}Ra$ ، ... ونسبة $\frac{N}{Z} > 1.52$

لاحظ أن النوى غير المستقرة لا تقع ضمن حزمة الاستقرار وإنما تقع فوقها، والاضمحلال الإشعاعي يجعلها تقترب من الحزمة، وذلك بفقد جسيم ألفا أو جسيم بيتا، كما سيأتي في النشاط الإشعاعي.

draft

الأنوية السحرية:

في الجدول التالي تم تمثيل أنوية العناصر بالصورة ${}^{A}_{Z}X_{N}$ حيث A العدد الكتلي وZ العدد الذري وN عدد النيوترونات، ومن خلال التجارب تم تصنيف هذه المجموعات، من أنوية العناصر تأمل أعداد البروتونات والنيوترونات، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

1- أنوية مستقرة	${}^{27}_{13}Al_{14}$	${}^{45}_{21}Sc_{24}$	${}^{56}_{26}Fe_{30}$	${}^{96}_{42}Mo_{54}$	${}^{91}_{40}Zi_{51}$
2- أنوية أكثر استقرارا	${}^{52}_{24}Cr_{28}$	${}^{59}_{28}Ni_{31}$	${}^{88}_{38}Sr_{50}$	${}^{119}_{50}Sn_{69}$	${}^{207}_{82}Pb_{125}$
3- أنوية أكثر استقراراً من المجموعة 2	${}^{4}_{2}He_{2}$	${}^{16}_{8}O_{8}$	${}^{40}_{20}Ca_{20}$	${}^{48}_{20}Ca_{28}$	${}^{208}_{82}Pb_{126}$

لعلك لاحظت في المجموعة الأولى (الأنوية المستقرة) عدد بروتونات نواة العنصر Z أو عدد نيوترونات N أو كلاهما زوجي، أما المجموعة الثانية فإن Z أو N عدد زوجي، وهو أحد الأعداد الآتية (2، 8، 20، 28، 50، 82، 126)، التي سميت بالأرقام السحرية، والأنوية بالأنوية السحرية، أما المجموعة الثالثة فإن Z وN معا تأخذان الأرقام السحرية، وسميت بالأنوية مضاعفة السحرية، ولا يوجد أنوية مضاعفة السحر غير هذه الأنوية الخمسة المذكورة في الجدول.

- تتميز الأنوية السحرية بأنها أكثر استقراراً، ولها عدد من النظائر المستقرة أكثر من جاراتها في الجدول الدوري، فمثلا نواة عنصر القصدير ${}^{119}_{50}Sn$ لها عشرة نظائر مستقرة، أما جاراتها في الجدول الدوري ${}^{115}_{49}In$ ، ${}^{121}_{51}Sb$ فلكل منها نظيران مستقران فقط.

4-10 الإشعاع النووي وتطبيقاته

يعدّ العالم الفيزيائي الفرنسي هنري بيكريل أول من اكتشف ظاهرة النشاط الإشعاعي الطبيعي عام 1896 بمحض الصدفة، أثناء تجاربه على أحد أملاح اليورانيوم، ثم اكتشف الزوجان كوري عنصري البولونيوم والراديوم المشعين، ومع اكتشاف ظاهرة الانشطار النووي لنواة اليورانيوم 235 عام 1938م، وانبعاث كمية هائلة من الطاقة وجهت الأنظار إلى الاستفادة من هذه الطاقة في الأغراض السلمية والعلمية.

ينقسم النشاط الإشعاعي إلى طبيعي (تلقائي) وصناعي (محفز).

أولا: النشاط الإشعاعي الطبيعي (التلقائي) (Radioactivity)

هناك بعض العناصر الموجودة في الطبيعة ليست مستقرة، وإنما تنحل (تضمحل) ببطء انحلالاً تلقائياً، وذلك بالتخلص من جزء من نواتها، أو بالتخلص من طاقة إثارتها كمحاولة منها للوصول إلى بناء أو تركيب نيوكليوني أكثر استقراراً. وتسمى هذه الظاهرة النشاط الإشعاعي الطبيعي أو التلقائي: « ظاهرة انبعاث إشعاعات من أنوية العناصر غير المستقرة للوصول إلى حالة الاستقرار دون أي تأثير خارجي».

draft

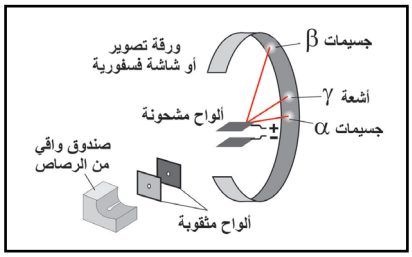
خصائص الأشعة المنبعثة

مع اكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي التلقائي عمد العلماء إلى التعرف إلى طبيعة الجسيمات المنبعثة، التي صنفها رذرفورد إلى ثلاثة أنواع: ألفا (α)، وبيتا (β)، وغاما (γ)، وإليك بعض التجارب التي قام بها العلماء للتعرف إلى طبيعتها وخصائصها:

تجربة 1

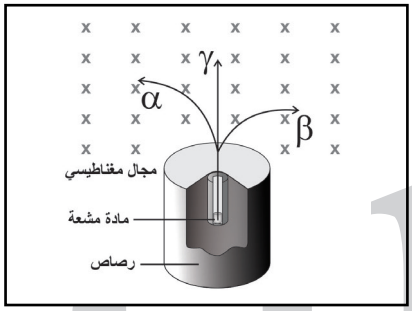
تأثر الإشعاعات بالمجالين الكهربائي والمغناطيسي

تم تعريض الأشعة المنبعثة لمجال كهربائي، فانجذبت ألفا نحو الصفيحة السالبة، وبيتا نحو الصفيحة الموجبة، في حين غاما لم تنحرف، كما أن نصف قطر مسار ألفا أكبر من نصف قطر بيتا، كما هو موضح في الشكل (5)



أناقش:

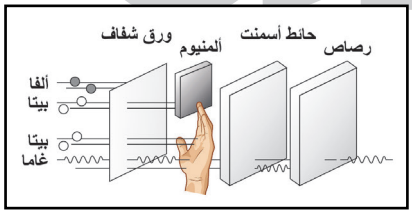
- ما شحنة كل من: ألفا، وبيتا، وغاما؟
- فسر: نصف قطر مسار ألفا أكبر من نصف قطر مسار بيتا.
- الشكل (6) يبين سلوك الإشعاعات الثلاث عند تعريضها لمجال مغناطيسي، معتمدا على بيانات الشكل، اشرح كيف تتأثر الجسيمات بالمجال المغناطيسي؟



تجربة 2

قدرة الإشعاعات على تأيين المواد واختراقها

- تم تعريض الأشعة المنبعثة من عينة مشعة لعدد من المواد كما هو مبين في الشكل (7)، وتبين أن ألفا أوقفتها ورقة شفافة سمكها 0.5 mm وبيتا أوقفتها ورقة من الألمنيوم سمكها 5 mm، في حين أن أشعة غاما نفذت من جدار إسمنتي سمكه 100 mm.



ومن خلال هذه التجارب وغيرها تم التوصل إلى الخصائص الآتية:

- **ألفا (α):** هي في طبيعتها نواة الهيليوم (^4_2He)، وتحمل شحنة موجبة تساوي ضعفي شحنة البروتون، وقدرتها على تأيين المواد عالية؛ لذلك فإن قدرتها على اختراق المواد قليلة، وتنحرف عند تعرضها لمجال مغناطيسي أو كهربائي، وتبلغ سرعتها 0.1 من سرعة الضوء.
- **جسيمات بيتا (β):** وهي إلكترونات سالبة الشحنة أو بوزيترونات موجبة الشحنة تنبعث من داخل النواة، أي أن مقدار شحنتها يساوي 1.6×10^{-19} C، وقدرتها على تأيين المواد متوسطة؛ لذلك فإن قدرتها على اختراق المواد متوسطة، وتنحرف عند تعرضها لمجال مغناطيسي أو كهربائي، وتبلغ سرعتها 0.9 من سرعة الضوء.

draft

- **جسيمات غاما (γ):** عبارة عن موجات كهرومغناطيسية (فوتونات عالية الطاقة) ليس لها كتلة سكونية ولا شحنة، قدرتها على التأيين صغيرة؛ لذا قدرتها على اختراق المواد عالية، وتقل كثافتها إلى النصف عند مرورها خلال (100 mm) رصاص، ولا تتأثر بالمجالين المغناطيسي والكهربائي، وسرعتها تساوي سرعة الضوء.

سؤال: وازن بين أشعة ألفا، وبيتا، وغاما في جدول.

وقد أظهرت التجارب أن مبادئ حفظ الكميات الفيزيائية تنطبق على النشاط الإشعاعي الطبيعي والصناعي وهي: (الطاقة-الكتلة)، وكمية التحرك الخطي، وكمية التحرك الزاوي، وعدد الشحنات الموجبة (العدد الذري Z)، والعدد الكتلي A.

اضمحلال ألفا (α):

جسيم ألفا في طبيعته نواة هيليوم $^{4}_{2}He$ ، فعندما تنبعث ألفا من النواة الأم، يقل العدد الكتلي بمقدار (4)، ويقل العدد الذري بمقدار (2) في النواة البنت (الناتجة)،

الصيغة العامة لاضمحلال النواة التي تبعث جسيم α تُكتب على الشكل

$$^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$$

يطلق على النواة $^{A}_{Z}X$ النواة الأم، والنواة $^{A-4}_{Z-2}Y$ النواة البنت.

ويحدث تحلل ألفا؛ لأن القوة النووية غير قادرة على جذب نيوكليونات الأنوية الكبيرة معاً. حيث إن القوة النووية قوة قصيرة المدى، فهي لا تعمل إلا بين النوكليونات المتجاورة. ولكن مدى القوة الكهربائية كبير، فكلما كان عدد البروتونات في النواة كبيراً، كانت قوى التنافر كبيرة، ولهذا تكون القوة النووية غير كافية لربط النيوكليونات داخل النواة.

أناقش:

عندما تبعث النواة الأم جسيم ألفا، ماذا يحدث لـ:

- عددها الكتلي.
- عدد بروتوناتها.
- عدد نيوتروناتها.

طاقة الاضمحلال للتفاعل (Q)

تعرفت سابقاً إلى العلاقة بين الكتلة والطاقة من خلال معادلة آينشتاين الشهيرة $E = \Delta m\, c^2$

حيث: Δm كتلة المادة المتحولة، c^2: مربع سرعة الضوء ($c^2 = 931.5\ MeV/u$) واعتماداً على حفظ (الكتلة – الطاقة) فإنه عند اضمحلال النواه الأم: $M_p\, c^2 = (M_d\, c^2 + m_\alpha\, c^2 + Q)$

$$Q = (M_p - M_d - m_\alpha)\, c^2 = \Delta m\, c^2 = \Delta m\ (u) \times 931.5\ \frac{MeV}{u} \qquad (6\text{-}10)$$

حيث: M_p: كتلة النواة الأم.

M_d: كتلة النواة البنت.

m_α: كتلة جسيم ألفا.

Q: طاقة الاضمحلال.

draft

إذا كانت Q موجبة يكون التفاعل طارداً للطاقة ويحدث تلقائياً، وإذا كانت Q سالبة فإن التفاعل ماص للطاقة، ولا يمكن أن يحدث تلقائياً.

مثال (4):

احسب مقدار Q بوحدة إلكترون فولت للاضمحلال: $^{231}_{90}\mathrm{Th} \rightarrow {}^{227}_{88}\mathrm{Ra} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$

علماً بأن الكتل الذرية التي تحتاجها مبينة في الجدول أدناه، هل يمكن أن يحدث هذا الاضمحلال تلقائياً؟

الذرة	الكتلة بـ (u)
$^{231}_{90}Th$	228.02873
$^{227}_{88}Ra$	224.1118
$^{4}_{2}He$	4.0026

الحل:

$$Q = (M_p - M_d - m_a)\, c^2$$
$$Q = (228.02873 - 224.118 - 4.0026)\, c^2$$
$$Q = (-0.08567) \times 931.5 = -79.8 \text{ MeV}$$

بما أن Q سالبة فإنها تكون طاقة ممتصة، ولا يمكن لهذا الاضمحلال أن يحدث تلقائياً.

(لاحظ هنا أننا استخدمنا قيم كتل الذرات بدلاً من كتل الأنوية، وهذا لا يؤثر على حساب Q، حيث إن مجموع كتل الإلكترونات يلغى عندما نحسب الفرق بين كتلة المادة الأصلية ومجموع كتل المواد الناتجة).

سؤال: احسب مقدار Q بوحدة المليون إلكترون فولت للاضمحلال:

$$^{210}_{84}\mathrm{Po} \rightarrow {}^{206}_{82}\mathrm{P_b} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

الذرة	الكتلة بـ (u)
$^{210}_{84}Po$	209.98286
$^{206}_{82}Pb$	205.97446
$^{4}_{2}He$	4.0026

علماً بأن الكتل الذرية التي تحتاجها مبينة في الجدول المقابل،

هل Q طاقة منبعثة أم ممتصة؟ هل يمكن أن يحدث هذا الاضمحلال تلقائياً؟

سؤال: هل يمكن أن ينبعث أربعة نيوكلونات (2p، 2n) في الاضمحلال السابق بدلاً من انبعاث ألفا، فسر ذلك من خلال حساب طاقة التفاعل.

الطاقة الحركية للنواة البنت وجسيم α

افترض أن نواة أم اضمحلت إلى نواة بنت وجسيم α ومن خلال تطبيق قانون حفظ كمية التحرك وقانون حفظ الطاقة ينتج أن:

$$KE_\alpha = Q\left(\frac{M_d}{M_d + m_\alpha}\right) \qquad (7\text{-}10)$$

$$KE_d = Q\left(\frac{m_\alpha}{M_d + m_\alpha}\right) \qquad (8\text{-}10)$$

KE_α: الطاقة الحركية لجسيم ألفا

KE_d: الطاقة الحركية للنواة البنت

أناقش:

1- الطاقة الحركية لجسيم α أكبر من الطاقة الحركية للنواة البنت.

2- اتجاه سرعة جسيم ألفا يعاكس اتجاه سرعة النواة البنت.

3- اعتماداً على المعادلات السابقة، هل تختلف طاقة جسيم α من تفاعل إلى تفاعل أخر، وضح ذلك.

draft

مثال (5):

احسب مقدار طاقة الحركة بوحدة المليون إلكترون فولت التي يحملها كل من جسيم ألفا والنواة البنت الناتجة من الاضمحلال التالي $^{223}_{90}\text{Th} \longrightarrow {}^{219}_{88}\text{R}_a + {}^{4}_{2}\text{He}$. معتمدا على بيانات الجدول المقابل

الذرة	الكتلة بـ (u)
$^{223}_{90}Th$	223.01850
$^{219}_{88}Ra$	219.00948
$^{4}_{2}He$	4.002603

الحل:

$$Q = (M_p - M_d - m_\alpha)\, c^2$$

$$Q = (223.01850 - 219.000948 - 4.002603)c^2$$

$$Q = (0.00642) \times 931.5 = 5.98 \text{ MeV}$$

$$KE_\alpha = Q\left(\frac{M_d}{M_d + m_\alpha}\right)$$

$$KE_\alpha = 5.98\left(\frac{219.00948}{219.00948 + 4.002603}\right) = 5.87 \text{ MeV}$$

$$KE_d = Q\left(\frac{m_\alpha}{M_d + m_\alpha}\right)$$

$$KE_d = 5.98\left(\frac{4.002603}{219.00948 + 4.002603}\right) = 0.11 \text{ MeV}$$

ويمكن حساب طاقة البنت من خلال:

$$KE_d = Q - KE_\alpha$$

$$KE_d = 5.98 - 5.87 = 0.11 \text{ MeV}$$

سؤال: احسب مقدار طاقة الحركة بوحدة المليون إلكترون فولت التي يحملها كل من جسيم ألفا والنواة البنت الناتجة من الاضمحلال التالي $^{223}_{90}\text{Th} \longrightarrow {}^{226}_{88}\text{R}_a + {}^{4}_{2}\text{He}$ علما بأن الكتل الذرية التي تحتاج إليها مبينة في الجدول المجاور.

الذرة	الكتلة بـ (u)
$^{223}_{90}Th$	223.01850
$^{226}_{88}Ra$	226.02541
$^{4}_{2}He$	4.002603

مثال (6):

احسب طاقة الاضمحلال عندما تتحلل (تضمحل) نواة اليورانيوم $^{232}_{92}\text{U}$، كتلتها (232.037156 u) إلى نواة الثوريوم $^{228}_{90}\text{Th}$، كتلتها (228.028741 u)، وجسيم ألفا كتلته (4.002603 u).

الحل:

$$^{232}_{92}\text{U} \longrightarrow {}^{228}_{90}\text{Th} + {}^{4}_{2}\text{He}$$

$$\Delta m = M_p - (M_d + m_a) = 232.037156 - 228.028741 - 4.002603 = 0.005812 \text{ u}$$

$$Q = 0.005812 \text{ u} \times 931.5 \frac{\text{MeV}}{\text{u}} = 5.4 \text{ MeV}$$

draft

ولحساب طاقة حركة جسيمات ألفا في التفاعل السابق، فإن:

$$KE_\alpha = Q\left(\frac{M_d}{M_{d+}m_\alpha}\right) = 5.4\left(\frac{228.028741}{228.028741 + 4.002603}\right) = 5.3\ MeV$$

$$KE_d = Q\left(\frac{m_\alpha}{M_{d+}m_\alpha}\right) = 5.4\left(\frac{228.028741}{228.028741 + 4.002603}\right) = 0.1\ MeV$$

$$Q = KE_d + KE_\alpha \longrightarrow 5.4 = KE_d + 5.3 \longrightarrow KE_d = 5.4 - 5.3 = 0.1\ MeV$$

اضمحلال جسيمات بيتا β

جسيمات β إما أن تكون إلكترونات سالبة، وذلك عندما يكون عدد النيوترونات أكبر بكثير من عدد البروتونات، أو بوزيترونات موجبة الشحنة، وذلك عندما يكون عدد البروتونات أكبر بكثير من عدد النيوترونات، وفي الاضمحلالات التي تنتج جسيم بيتا ينتج معه جسيم يسمى النيوترو‌ينو أو ضديد نيوترينو ، لضمان حفظ كمية التحرك، ويمكن تمثيل اضمحلالات جسيمات بيتا إلى جسيمات السالبة، وجسيمات الموجبة، كما هو مبين في الجدول التالي:

اضمحلال جسيمات β الموجبة	اضمحلال جسيمات β السالبة
${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + e^{+} + \nu_e$	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + e^{-} + \overline{\nu_e}$
وهنا يتحول البروتون إلى نيوترون	ومن أشهر الاضمحلالات اضمحلال النيوترون إلى بروتون
${}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{+1}e + \nu_e$	${}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e + \overline{\nu_e}$

أناقش:

ماذا يحدث لكل من العدد الكتلي والعدد الذري في الاضمحلال الذي ينتج:

أ - جسيم β السالب؟

ب -جسيم β الموجب؟

أفكر

يمكن أن يحدث اضمحلال النيوترون داخل النواة وخارجها ، أما تحول البروتون إلى نيوترون فلا يحدث إلا داخل النواة، لماذا؟

سؤال: احسب طاقة التفاعل في اضمحلال الكربون إلى نيتروجين في المعادلة ${}^{14}_{6}C \longrightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e + \upsilon_e$

اضمحلال غاما :

إن جسيمات غاما في طبيعتها فوتونات عالية الطاقة لا شحنة لها ولا كتلة. وتبعث النواة جسيم غاما عندما تكون في حالة تهيج، وتكون النواة في حالة تهيج نتيجة لتصادمها بجسيمات عالية الطاقة، وتكون النواة البنت في حالة تهيج عند اضمحلال جسيم ألفا أو بيتا، وصيغتها العامة ${}^{A}_{Z}Y^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}Y + \gamma$

أناقش:

- هل يتغير العدد الكتلي A أو العدد الذري Z للنواة؟
- هل تتغير الصفات الفيزيائية أو الكيميائية للنواة؟
- ما الحالة التي تكون عليها النواة حتى ينبعث جسيم غاما؟
- ما الحالات التي تتهيج فيها النواة؟
- ما الحالة التي تصل إليها النواة بعد أن تشع جسيم غاما؟

في بعض الحالات التي تضمحل فيها نواة معينة لتنتج جسيم ألفا، يكون جسيم ألفا مصحوباً بجسيم غاما (فوتون ذو طاقة عالية)، ويمكن تمثيل هذا الاضمحلال بصورة عامة على مرحلتين كما يأتي:

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y^{*} + {}^{4}_{2}He $$

$$ {}^{A-4}_{Z-2}Y^{*} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + \gamma $$

سؤال: اعتماداً على بيانات الشكل (8-10)، وضح كيفية اضمحلال الثوريوم ${}^{223}_{90}Th$ إلى راديوم ${}^{226}_{88}R_a$ بطريقتين مع كتابة معادلات التفاعل.

وكما كان الحال في الاضمحلالات المنتجة لجسيم ألفا، فإنه في بعض الاضمحلالات المنتجة لجسيمات بيتا يكون جسيم بيتا مصحوباً بجسيم غاما. وفي هذه الحالة تترك النواة البنت في حالة تهيج وحتى تنتقل إلى حالة الاستقرار فلا بد أن تبعث فوتوناً.

سؤال: تضمحل نواة البورون ${}^{12}_{5}B$ بفقد جسيم بيتا السالب، وتتحول إلى نواة الكربون ${}^{12}_{6}C$ بطريقتين، اشرح الطريقتين مع كتابة معادلات التفاعل معتمداً على بيانات الشكل (9)؟

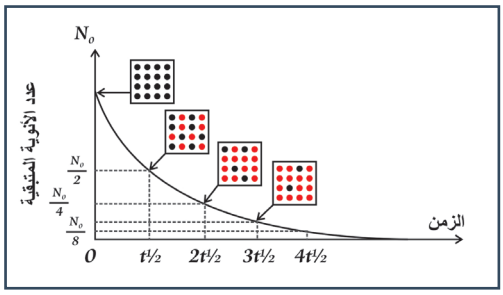
5-10 فترة عمر النصف

عادة ما يقاس النشاط الإشعاعي لعنصر بالمعدل الذي تنحل به نوى ذراته. وتوضح القياسات العملية أن معدل اضمحلال عنصر ما يتغير تغيرا أسيا مع الزمن. فلو فرضنا أن لدينا عنصرا مشعا عدد ذراته (N_0) عند بداية رصد الاضمحلال (t=0)، وبعد فترة زمنية قدرها (t) كان عدد الأنوية المتبقية (N) ويمكن حساب العدد من العلاقة:

$$ N = N_0 e^{-\lambda t} \qquad (9\text{-}10) $$

حيث N_0: عدد الأنوية الأصلي، وe العدد النيبيري، وهو ثابت رياضي = 2.71828، و(λ) ثابت الاضمحلال، ويختلف من عنصر لآخر، و(t) زمن الاضمحلال.

draft



ويمكن تمثيل العلاقة الرياضية السابقة بالمنحنى البياني الممثل في الشكل (10)

أناقش:

اعتماداً على الرسم البياني

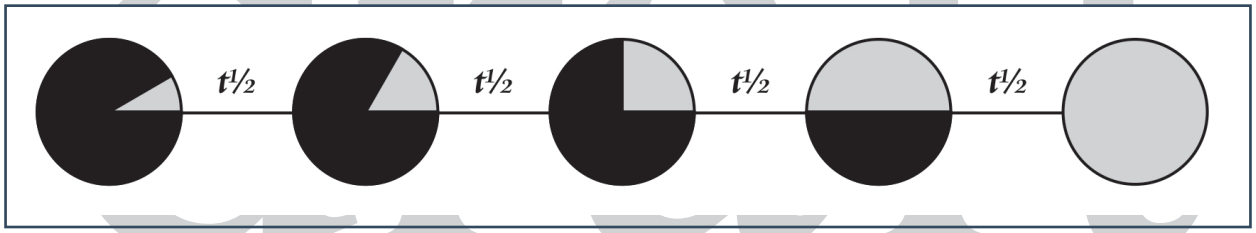
- كم عدد الأنوية المتبقية بعد مرور الفترة الزمنية $T_{1/2}$، 2 $T_{1/2}$، 3 $T_{1/2}$؟
- هل من الممكن أن تنفذ الأنوية المشعة؟

لعلك توصلت أن فترة عمر النصف لعنصر ما: «الزمن اللازم لاضمحلال نصف عدد أنوية العنصر المشع، أو الزمن اللازم ليتناقص فيه النشاط الإشعاعي للعنصر إلى نصف قيمته الأصلية».

سؤال: ما معنى أن فترة عمر النصف لعنصر الراديوم ($^{226}_{88}Ra$) حوالي 1620 سنة؟

نشاط (10-2) تمثيل عمر النصف

في الشكل التالي اللون الرمادي يمثل عدد الأنوية المتبقية من العنصر، واللون الأحمر يمثل عدد الأنوية المضمحلة، تأمل الشكل (11) ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



1. ما عدد الأنوية المتبقية بعد مرور $T_{1/2}$، 2 $T_{1/2}$، 3 $T_{1/2}$؟
2. اكتب معادلة تعمم على عدد n من الفترات؟
3. اكتب علاقة تحسب منها عدد مرات التحول بمعلومية الزمن المار.

نلاحظ من النشاط السابق أنه بعد مرور زمن $T_{1/2}$ فإن $N = \frac{1}{2} N_0$

وبعد مرور زمن ضعفي $2T_{1/2}$ فإن $N_2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} N_0 = (\frac{1}{2})^2 N_0$

وبعد مرور زمن يساوي ثلاثة أمثال $3\ T_{1/2}$ فإن $N_3 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} N_0 = (\frac{1}{2})^3 N_0$

ويمكن تعميم ذلك $N = (\frac{1}{2})^n N_0$

حيث n تمثل عدد مرات التحول (عدد فترات نصف العمر)، N: عدد الأنوية المتبقية بعد n من التحولات، ويحسب عدد مرات التحول من العلاقة

$$n = \frac{t}{T_{1/2}} \qquad (11\text{-}10)$$

العنصر	فترة عمر النصف
$^{238}_{92}U$	4.47×10^{9} سنة
$^{235}_{92}U$	1.2×10^{8} سنة
$^{237}_{93}Np$	2.14×10^{6} سنة
$^{14}_{6}C$	5.7×10^{3} سنة
$^{226}_{88}Ra$	1620 سنة
$^{3}_{1}H$	12.3 سنة
$^{210}_{84}Po$	140 يوما
$^{32}_{15}P$	14.28 يوما
$^{64}_{29}Cu$	12.7 ساعة
$^{210}_{82}Pb$	26.8 دقيقة
$^{30}_{16}S$	3.1 دقيقة
$^{108}_{47}Ag$	2.42 دقيقة
$^{16}_{7}N$	7.2 دقيقة
$^{92}_{36}Kr$	1.84 ثانية

ولحساب العلاقة بين عمر النصف وثابت الاضمحلال $N = N_0 e^{-\lambda t}$

عدد الأنوية المتبقية بعد فترة عمر النصف $N_0 = \frac{1}{2} N$ ومن المعادلة (9 -10) بأخذ اللوغاريتم الطبيعي لطرفي المعادلة ينتج أن:

$$\ln N = -\lambda t + \ln N_0 \qquad (9\text{-}10)$$

من العلاقة السابقة يتبين أن عمر النصف يتناسب عكسياً مع ثابت الاضمحلال، والجدول المجاور يبين عمر النصف لبعض العناصر المشعة، وعمر النصف ثابت للعنصر الواحد ويتوقف على نوع العنصر، علماً بأن بعض العناصر غير موجودة في الطبيعة ويتم إنتاجها في المختبر.

أناقش:

- فترة عمر النصف لليورانيوم كبيرة جداً بينما للكربيتون لا تتجاوز الثانيتين.
- وازن بين ثابت اضمحلال اليورانيوم وثابت اضمحلال النحاس.

ويستفاد من حساب عمر النصف في تقدير عمر الأرض بأخذ عينة من صخور القشرة الأرضية، وتعيين نسبة اليورانيوم والرصاص في العينة، ومن معرفة عمر النصف لليورانيوم تمكن العلماء من تقدير عمر الأرض. ويسمى هذا العمر: «العمر الإشعاعي للأرض» وقد وجد أن عمر الأرض حوالي $4x10^{9}$ سنة.

كما يستفاد منه في معرفة عمر الكائن الحي، فعند وفاة الكائن الحي تبدأ نسبة ($^{14}_{6}C$) المشع في جسمه تتناقص، وبمعرفة نسبة الكربون المشع في عينة معينة، وبالرجوع إلى منحنى التحلل الإشعاعي للكربون المشع (فترة عمر النصف له 5700 سنة)، يمكن معرفة الزمن الذي انقضى على الوفاة.

مثال (8):

إذا كان عمر النصف لليود ^{125}I هو 60 يوماً فاحسب:

1) ثابت الاضمحلال.

2) النسبة المئوية لعدد النوى المتبقية منه بعد 300 يوماً.

الحل: _____

1) $N = N_0 e^{-\lambda t}$

$\ln 2 = \lambda T_{1/2}$

$0.693 = \lambda \times 60$

$\lambda = 0.01155$ يوم$^{-1}$

2) $n = \frac{t}{T_{1/2}} = \frac{300}{60} = 5$

$N = (\frac{1}{2})^{n} N_0$

$N = (\frac{1}{2})^{5} N_0$

$\frac{N}{N_0} = (\frac{1}{32}) = 3.125\%$

draft

سؤال: طلب مستشفى 20 mg من نظير اليود المشع (^{131}I) المستخدم في علاج تضخم الغدة الدرقية، وقام المستشفى بتخزينه لمدة 48 يوماً. فكم كتلة (^{131}I) التي ستبقى بعد هذه المدة، علماً بأن عمر النصف له 8 أيام؟

مثال (9):

وضع 12gm من مادة مشعة في مكان ما، وبعد 50 يوما وجد أن المقدار المتبقي من هذه المادة المشعة هو 0.75gm. احسب ثابت الاضمحلال لهذه المادة.

الحل: _____

$$0.75 = 12\ (\frac{1}{2})^n$$

$$(\frac{1}{2})^n = (\frac{0.75}{12}) = \frac{1}{16} = (\frac{1}{2})^4$$

$$n = 4$$

$$4 = \frac{50}{T_{1/2}} \longrightarrow T_{1/2} = 12.5 \text{ يوم}$$

$$In2 = \lambda\ T_{1/2}$$

$$0.693 = \lambda \times 12.5 \times 24 \times 60 \times 60$$

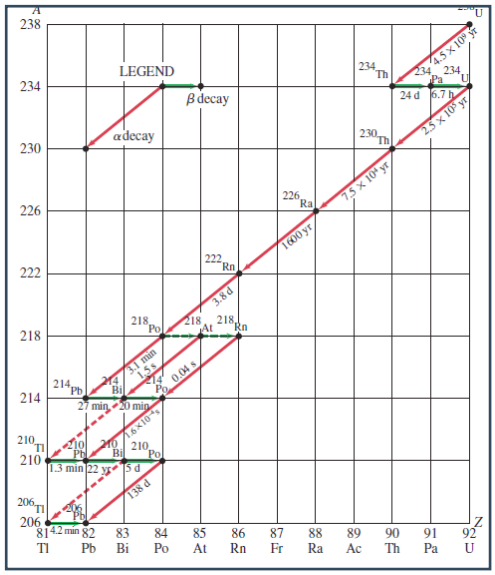
$$\lambda = 6.41 \times 10^{-7}\ s^{-1}$$

سلاسل الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي:

تعرف سلسلة التحلل الإشعاعي: بأنها «مجموعة التحولات التي تحدث لنواة العنصر المشع؛ حتى تتحول في النهاية إلى نواة عنصر مستقر».

وهناك ثلاث سلاسل من الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي، وهي:

- سلسلة اليورانيوم 238 التي تبدأ بنظير اليورانيوم $^{228}_{92}U$ وتنتهي بنظير الرصاص $^{206}_{82}Pb$
- سلسلة اليورانيوم 235 أو (الأكتينيوم) التي تبدأ بنظير اليورانيوم $^{235}_{92}U$ وتنتهي بنظير الرصاص $^{207}_{82}Pb$
- سلسلة الثوريوم 232 التي تبدأ بنظير الثوريوم $^{232}_{90}Th$ وتنتهي بنظير الرصاص $^{208}_{82}Pb$



وهناك سلاسل إشعاعية أخرى تسمى السلاسل المحفزة، حيث تبدأ السلسلة بعنصر مشع لا يتواجد في الطبيعة، وإنما يتم إنتاجه في المختبر، ومن أشهر هذه السلاسل سلسلة النبتونيوم التي تبدأ بعنصر $^{237}_{93}Np$ وتنتهي بعنصر البزموث $^{209}_{83}Bi$

ولتتعرف هذه السلاسل تأمل الشكل (12)، ثم ناقش الأسئلة الآتية:

1- أي من السلاسل الثلاث السابقة تمثل السلسلة في الشكل؟

draft

2- أي عنصر في السلسلة يكون عمر النصف له أكبر؟
3- هل يضمحل جسيم α وجسيم بيتا في آن واحد؟
4- اكتب معادلة لاضمحلال جسيم α
5- اكتب معادلة لاضمحلال جسيم بيتاβ
6- اكتب ثلاث نظائر لكل من: البولونيوم، والرصاص.
7- ما عدد اضمحلالات α و في السلسلة معبراً عن ذلك بمعادلة؟
8- احسب عدد جسيمات ألفا وبيتا في السلسلة التي تبدأ باليورانيوم $^{235}_{92}U$ وتنتهي بنظير الرصاص $^{207}_{82}Pb$

الانشطار النووي (Nuclear Fission)

في الفصل السابق علمت أن الأنوية الثقيلة ($Z>82$) التي تقع على يمين منحنى طاقة الربط النووي تميل إلى أن تستقر، وذلك بأن تنقسم إلى نواتين خفيفتين تقعان في المنطقة الأكثر استقراراً على المنحنى، وتسمى هذه العملية بالانشطار النووي.
ويعرف الانشطار النووي على أنه انقسام لأنوية ذرات العناصر الثقيلة إلى نواتين أو أكثر أخف منها، وتنبعث كمية هائلة من الطاقة نتيجة لهذا الانشطار.
ويمكن الحصول عليه بقذف النواة الثقيلة بجسيمات خفيفة وبطيئة، تستقر فيها فترة قصيرة جداً تسبب تهيجها، ثم تنشطر النواة المتهيجة إلى نواتين أخف، وينتج عن ذلك عدد من النيوترونات.
والمثال الشائع لهذا الانشطار انشطار اليورانيوم 235، الذي يمكن تمثيله بالمعادلة العامة الآتية:

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \longrightarrow {}^{236}_{92}U^{*} \longrightarrow X + Y + \text{neutrons} + \text{energy}$$

الاندماج النووي:

علمت أن بعض الأنوية الثقيلة مثل $^{235}_{92}U$ تنشطر إلى نواتين متوسطتين إذا قذفت بنيوترون بطيء، وعلمت أن مثل هذا التفاعل يسمى «الانشطار النووي»، وعكس هذا التفاعل، أي «دمج نواتين خفيفتين معاً لتكوين نواة أثقل يسمى الاندماج النووي» وهذا ما يحدث للأنوية الموجودة على يسار منحنى طاقة الربط النووية ($Z<20$)، وبالمثل ينبعث في الاندماج النووي طاقة هائلة مصدرها الفرق في الكتلة بين الأنوية المندمجة والناتجة، ومن أمثلة الاندماج النووي التفاعلين التاليين لأنوية الهيدروجين لإنتاج أنوية الهيليوم:

$$^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + 24MeV$$

$$^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{2}He + {}^{1}_{0}n + 17.6MeV$$

ونظراً لقوى التنافر الكهروستاتيكية بين الأنوية الخفيفة المطلوب دمجها معاً، فإنه يكون من الصعب جداً البدء في إحداث اندماج نووي، ولهذا السبب فإنه من أجل إحداث اندماج نووي لا بد من زيادة الضغط الواقع على الأنوية الخفيفة زيادة كبيرة ورفع درجة حرارتها.
وبسبب صعوبة توفير كل هذه الظروف، وبخاصة درجة الحرارة المرتفعة، كان من الصعب تحقيق الاندماجات النووية في المختبرات العلمية، إلا أن الاندماجات النووية تحدث بشكل طبيعي داخل الشمس ومعظم النجوم الأخرى، حيث تبلغ درجة الحرارة ملايين الدرجات.

draft

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 يمثل نظير الرصاص ($_{82}$Pb) الأكثر إستقرارا؟

أ- ^{205}Pb ب- ^{206}Pb ج- ^{207}Pb د- ^{208}Pb

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. العنصر X يتحلل إلى العنصر Y بعد مرور فترة عمر النصف المساوية 3 أيام، فإن نسبة (X:Y) في عينة من العنصر X النقي بعد مرور 6 أيام تساوي:

أ- 1 :1 ب- 1 :2 ج- 1 :3 د- 1 :4

6. تبدأ إحدى سلاسل الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي بنظير $^{232}_{90}$Th وتنتهي بنظير الرصاص $^{207}_{82}$Pb وينتج عن هذا الاضمحلال عدد من جسيمات (α) ألفا، وعدد من جسيمات (β) بيتا السالبة، ما عدد جسيمات ألفا وبيتا الناتجة من هذا الاضمحلال (α، β)؟

أ- (4، 4) ب- (6، 4) ج- (4، 6) د- (6، 6)

7. إذا كان عمر النصف لنظير الصوديوم $^{24}_{11}$Na هو 15 ساعة، ما الزمن الذي يمضي لانحلال $\frac{7}{8}$ كمية معينة منه بالساعة؟

أ- 15 ب- 30 ج- 45 د- 60

8. في التفاعل النووي $^{4}_{2}He + {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A+3}_{Z+2}Y + W$ ما الجسيم W؟

أ- إلكترون ب- بوزيترون ج- بروتون د- نيوترون

9. إذا كانت الصيغة العامة لانشطار اليورانيوم $^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{236}_{92}\mathrm{U}* \rightarrow \mathrm{X} + \mathrm{Y} + 2{}^{1}_{0}\mathrm{n} + \mathrm{energy}$

أي من الأزواج الآتية يمكن أن تكون X ، Y

أ- $^{141}_{54}Xe$ و $^{93}_{38}Sr$ ب- $^{139}_{55}Cs$ و $^{96}_{37}Rb$ ج- $^{156}_{60}Nd$ و $^{79}_{32}Ge$ د- $^{121}_{49}In$ و $^{113}_{44}Ru$

draft

10. 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، والنشاط الإشعاعي، والاندماج النووي.

س3: ما أنواع القوى الموجودة في النواة؟ وما خصائص القوة النووية؟

س4: علل ما يأتي:

أ – انبعاث الإلكترونات السالبة من النواة مع أنها ليست من مكوناتها.

ب- انبعاث جسيم بيتا يغير العدد الذري لنواة العنصر المشعة.

ج- تنحرف جسيمات ألفا وبيتا في حين لا تنحرف أشعة غاما بالمجالين الكهربائي والمغناطيسي.

س5: أكمل المعادلات الآتية:

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow \cdots \quad \rightarrow {}^{139}_{55}Cs + {}^{95}_{37}Rb + \cdots \quad + \cdots$$

$$^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + \cdots \quad + \cdots$$

$$^{27}_{13}Al + \cdots \quad \rightarrow {}^{30}_{15}P + {}^{1}_{0}n$$

$$^{19}_{9}F + {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{4}_{2}He + \cdots$$

$$^{A}_{z}X \rightarrow {}_{z+1}{}^{A}Y + \cdots \quad + \cdots$$

س6: إذا علمت أن عمر النصف لعنصر مشع يساوي 8.04 يوماً، وكان لدينا 48×10^{19} ذرة من هذا العنصر. احسب عدد الذرات التي:

أ – تتبقى دون انحلال بعد مرور 24.12 يوماً. ب – تضمحل بعد مرور 24.12 يوماً.

س7: إذا كانت طاقة الربط النووية لنواة ذرة الكالسيوم تساوي MeV/A8.552، احسب كتلة النواة معتمدا على بيانات الجدول المجاور .

الجسيم	الشحنة	الكتلة (Kg)	الكتلة (u)
النيوترون	متعادل	1.6749×10^{-27}	1.008665
البروتون	موجبة	1.626×10^{-27}	1.007276
الإلكترون	سالب	0.00091×10^{-27}	0.0005486

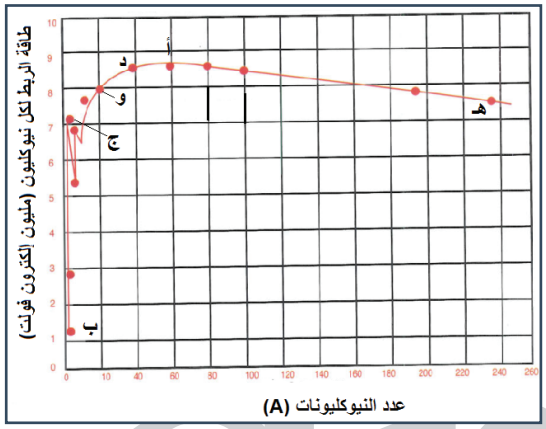
draft

س8: احسب النسبة بين كل من نصفي قطر وحجمي نواتي الهيليوم $^{4}_{2}He$ والكالسيوم $^{40}_{20}Ca$.

س9: احسب مقدار طاقة الحركة بوحدة المليون إلكترون فولت التي يحملها كل من جسيم ألفا والنواة البنت الناتجة من الاضمحلال التالي: $^{210}_{84}Po \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He$
علماً بأن الكتل الذرية التي تحتاجها مبينة في الجدول المقابل.

الذرة	الكتلة بـ (u)
$^{210}_{84}Po$	209.98286
$^{206}_{82}Pb$	205.97446
$^{4}_{2}He$	4.0026

س10: 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؟

draft

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. نواة عنصر مشع يرمز لها بالرمز $^{234}_{90}X$ انحلّت مطلقة جسيم بيتا السالب، فتكون النواة الناتجة هي:

أ- $^{234}_{91}X$ ب- $^{234}_{89}X$ ج- $^{234}_{89}Y$ د- $^{234}_{88}Y$

6. جسيمان لهما نفس طاقة الحركة، فكان طول الموجة المرافقة للأول (λ_1) يساوي ثلاثة أضعاف طول الموجة المرافقة للثاني (λ_2)، فيكون:

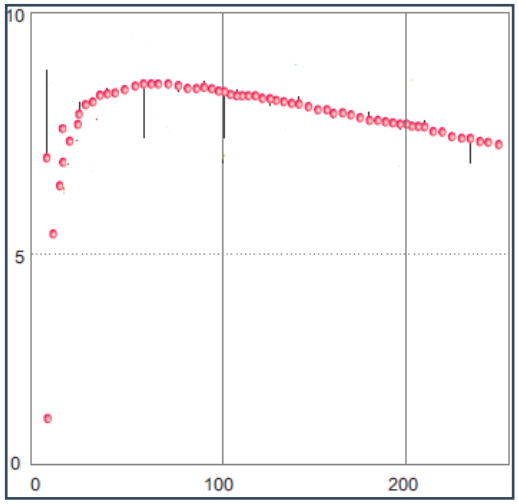
أ- $3m_2 = m_1$ ب- $\frac{1}{3} m_2 = m_1$ ج- $9m_2 = m_1$ د- $\frac{1}{9} m_2 = m_1$

7. 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- $\frac{27}{8}$

draft

8. يوضّح الشكل المجاور العلاقة بين طاقة الربط النووية لكل نيوكليون والعدد الكتلي، العنصر الذي يعدّ أكثر استقرارا هو:



أ- $^{4}_{2}He$ ب- $^{2}_{1}H$

ج- $^{56}_{26}Fe$ د- $^{238}_{92}U$

9. تبدأ سلسلة اضمحلال الثوريوم بنواة $^{232}_{90}Th$ ما العدد الذري والعدد الكتلي للنواة الناتجة بعد انبعاث 3 جسيمات ألفا وجسيمي بيتا؟

أ- $^{218}_{84}Rn$ ب- $^{218}_{86}Rn$ ج- $^{220}_{84}Rn$ د- $^{220}_{86}Rn$

10. 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

11. 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- 2 :1 د-1:1

12. إن انبعاث البوزيترون في المعادلة النووية الآتية، ناتج عن تحلل: $^{14}_{7}N \rightarrow {}^{14}_{6}C + \beta + \upsilon$

أ- بروتون داخل نواة N ب- بروتون داخل نواة C

ج- نيوترون داخل نواة N د- نيوترون داخل نواة C

13. إذا كان عمر النصف لعنصرين مشعين (A)، (B) يساوي (20), (40) دقيقة على الترتيب. إذا احتوت عينتين منهما على نفس العدد من الذرات، فإنه بعد مرور (80) دقيقة على بداية تحلل العينتين تكون النسبة بين عدد النوى المتبقية من العينة (A) إلى تلك المتبقية من (B) تساوي:

أ- (16 :1) ب- (1 :4) ج- (4 :1) د- (1:1)

14. 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

draft

15. 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

16. يسقط ضوء على سطح فلزي اقتران الشغل له (3e V) فتنطلق إلكترونات طاقتها العظمى (2e V) إذا زاد تردد الضوء الساقط للضعف فإن الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات بوحدة (eV) تصبح:

أ- 2 ب-4 ج- 5 د- 7

17. 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:

الأنوية مضاعفة السحرية، والتفاعل الانشطاري، وعمر النصف، وشدة الإشعاع، وقانون ستيفان- بولتزمان

س3: وازن 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: علل ما يأتي:

أ - يفقد جسيم ألفا طاقته بسرعة.

ب- قدرة أشعة غاما على النفاذ أكبر من قدرة بيتا وألفا.

ج- انبعاث أشعة غاما لا يؤثر على العدد الذري والكتلي لنواة العنصر الباعثة له.

د- نواة القصدير $_{50}Sn$ لها نظائر مستقرة أكثر من جاراتها الإنديوم $_{49}In$ والأنتيمون $_{51}Sb$

س5: من خلال دراستك لإشعاع الجسم الأسود، أجب عن الأسئلة الآتية:

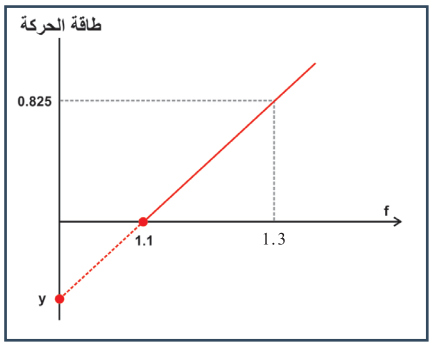
أ. ماذا تمثل المساحة تحت منحنى (شدة الإشعاع - طول الموجة).

ب. اكتب نص قانون فين للإزاحة.

ج. اكتب الصيغة الرياضية لقانون رايلي وجينز موضحا دلالة الرموز.

د. 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).

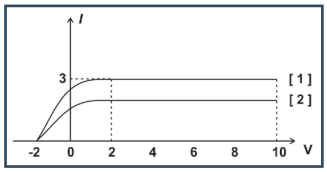
draft



س6: الرسم البياني المجاور يوضّح العلاقة بين الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المتحررة، 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.



س7: 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 (3.2×10^{-19} J) .

ج) إذا استبدل الضوء الساقط بآخر فحصلنا على المنحنى [2] في الشكل، وازن بين المنحنيين من حيث تردد الضوء الساقط وشدته.

س8: 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 (1.68×10^{-19} J)، احسب جهد القطع عندئذ.

س9: إلكترون كتلته (9.11×10^{-31} kg) يتحرك في مدار ما في ذرة الهيدروجين، فإذا كانت كمية التحرك الزاويّة له تساوي (4.2×10^{-34} J.s)، وأن نصف قطر المدار الأول لذرة الهيدروجين (0.529 A)، احسب:

أ- نصف قطر المدار الذي يتحرك فيه الإلكترون.

ب- طول الموجة الموقوفة المصاحبة للإلكترون في هذا المستوى.

س10: احسب مقدار الطاقة التي يجب أن تزود بها نواة ${}^{2}_{1}H$ لفصل مكوناتها علماً بأن $m_p = 1.0073u$ ، $m_n = 1.0087u$ ، $m_H = 2.0135u$

س11: بين أن نوى جميع العناصر متساوية في الكثافة؟

س12: احسب طاقة الربط لنواة الحديد (${}^{56}_{26}Fe$)، ثم احسب طاقة الربط النووية لكل نيوكليون، علما أن كتلة نواة الحديد تساوي (55.9206 u)

س13: صنف الأنوية الآتية من حيث الاستقرار: ${}^{12}_{6}X$ ، ${}^{14}_{7}A$ ، ${}^{90}_{40}Z$ ، ${}^{230}_{90}Y$

draft

draft

ftaft

draft

ftaft

ftaft

ftaft

draft

ftaft

draft