الأكاديمية العربية الدولية
Arab International Academy

الأكاديمية العربية الدولية

المقررات الجامعية

www.aiacademy.info | care@aiacademy.info

الوحدة الأولى: الميكانيكا

ما دور الفيزياء في فهم العوامل المؤثرة في التصادمات وآثارها؟

الميكانيكا Mechanics

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

١. اكتساب مهارة إجراء التجارب العلمية وحل المشكلات الفيزيائية.

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

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

الفصل الأول:

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

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

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

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

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

1-1 الزخم الخطي (Linear Momentum)

أفكر؟

ما العوامل التي تؤثر في إيقاف كرة مندفعة تجاهي؟

نشاط (1-1): الزخم الخطي

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

الخطوات:

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

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

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

الزخم = كتلة الجسم × سرعته

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

أناقش:

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

مثال (1): احسب الزخم لكل مما يأتي:

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

الحل:

للسيارة : $\mathbf{P} = m\,\mathbf{v}$

$= 1000 \times 20$

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

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

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

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

$= \sqrt{64}$

$\mathbf{p} = 8$ kg.m/s (جنوباً)

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

2-1 الدفع (Impulse)

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

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

الدفع = متوسط القوة المؤثرة × زمن تأثيرها

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

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

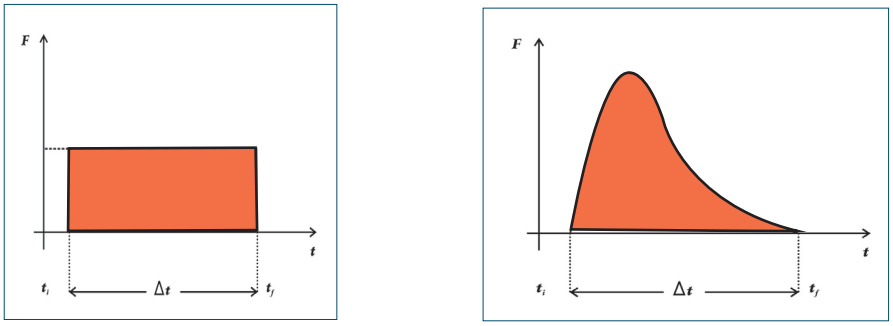
أناقش:

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

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

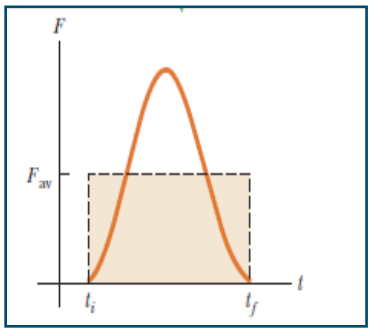
$$\mathbf{I} = \sum \mathbf{F}\, \Delta t \qquad (1\text{-}3)$$

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



الشكل (1-1)

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



الشكل (1-2)

نشاط (1-2): الدفع

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

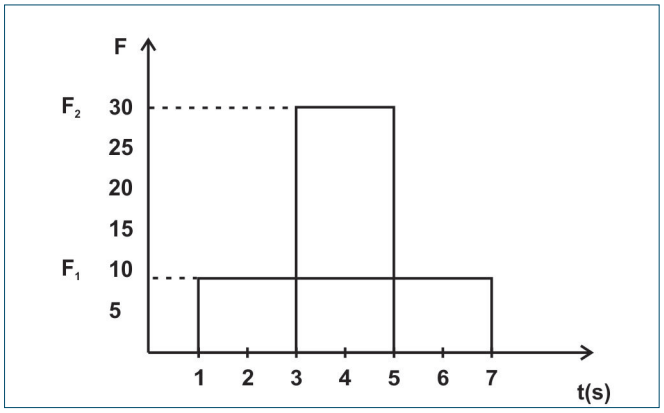
دفع القوة F_1 = ...

زمن تأثير القوة F_1 = ...

دفع القوة F_2 = ...

زمن تأثير القوة F_2 = ...

ماذا تستنتج؟ .....



الشكل (1-3)

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

3-1 نظرية الدفع - الزخم Momentum- Impulse Theorem

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

نفرض أن قوة محصلة **F** أثرت في جسم ما كتلته (m) في زمن مقداره (Δt) فغيرت سرعته بمقدار Δv ، فإن التغير في زخمه $\Delta \mathbf{P}$:

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

وبقسمة طرفي المعادلة على الزمن ينتج:

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

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

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

أي أن:

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

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

وبالضرب التبادلي تستنتج أن:

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

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

سؤال:

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

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

مثال (2):

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

الحل:

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

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

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

$$F \times 6 = -14400$$

$$F = -2400\ N$$

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

4-1 حفظ الزخم Conservation of Momentum

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

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

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

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

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

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

قانون حفظ الزخم:

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

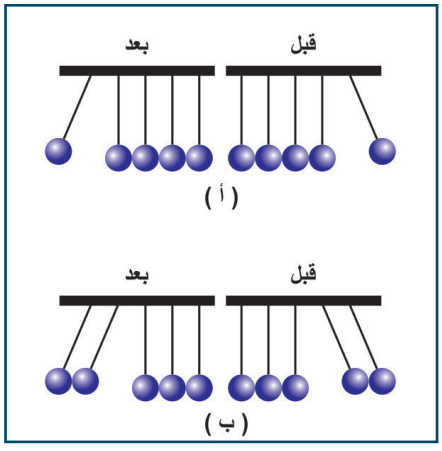
$$\sum \mathbf{P}_i = \sum \mathbf{P}_f \qquad (1\text{-}6)$$

نشاط (1-3): حفظ الزخم

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

الخطوات:

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



الشكل (1-4)

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

مثال (3):

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

الحل:

$$\sum P_i = \sum P_f$$

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

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

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

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

أسئلة الفصل

س١: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

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

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

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

أ) 8 ب) 16 جـ) 0 د) 32

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

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

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

أ) 5 ب) 6 جـ) 3 د) 9

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

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

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

أ) 32 ب) 8 جـ) 40 د) 48

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

أ) 18 ب) 10 جـ) 90 د) 2

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

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

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

أ) 0　　ب) 100　　جـ) 140　　د) 240

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

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

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

أ) 1.25　　ب) 0.75　　جـ) 0.8　　د) 2.5

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

س٣: علل:

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

٢. تكون مواسير بنادق الصيد طويلة.

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

س٤: أثرت قوة مقدارها 15 N في جسم، ودام تأثيرها 7s، احسب:

أ- الدفع الذي أثر في الجسم.

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

س٥: ضرب لاعب كرة ساكنة كتلتها 0.6 kg ، فانطلقت بسرعة 15 m/s، احسب:

أ- التغير في زخم الكرة.

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

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

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

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

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

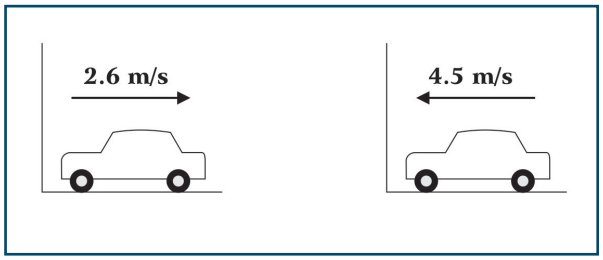
٣. ماذا تستنتج من خلال إجابتك عن الفرعين السابقين؟

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

- ما مقدار زخم كل من السيارة والمتسابق؟

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

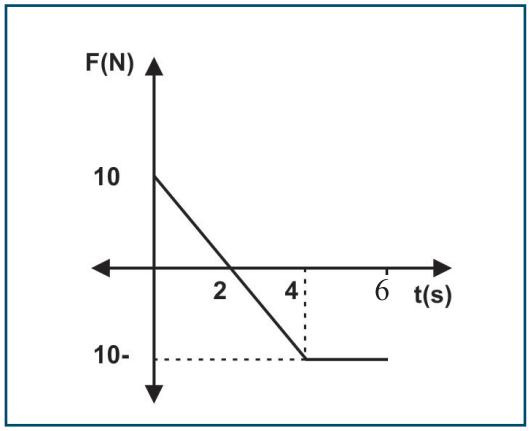
س٩: في الشكل تقترب سيارة كتلتها 1600 kg من جدار وترتد عنه في الإتجاه المعاكس، فما:



١. التغير في زخم السيارة.

٢. الطاقة الحركية المفقودة.

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



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

٢. زمن توقف الجسم.

٣. دفع القوة خلال 4 s ، 6 s.

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

التصادمات (Collisions)

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

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

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

1-2 التصادم Collision

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

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

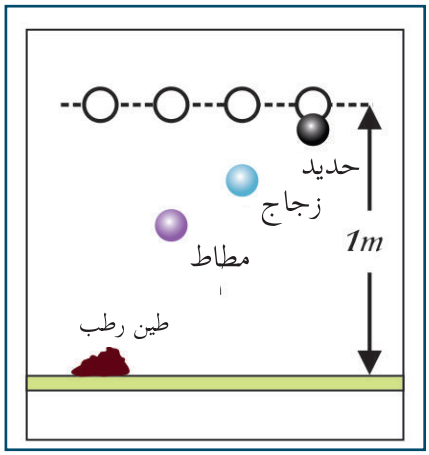
وتأتي أهمية دراسة التصادم بين الأجسام المختلفة في الحياة العملية كونه أساساً لكثير من الألعاب الرياضية والترفيهية، كما تفيد في تحليل حوادث السير، وتعطي معلومات عن طبيعة الأجسام المتصادمة ومرونتها. وأسهمت دراسة نتائج تصادم الجسيمات الأولية في بناء النماذج الذرية.

2-2 أنواع التصادمات Types of Collisions

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

نشاط (2- 1): أنواع التصادمات

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



الخطوات:

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

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

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

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

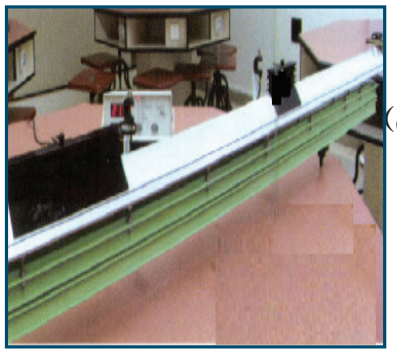
أناقش:

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

نشاط (2-2) التصادم المرن Elastic Collision

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

الخطوات:



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

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

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

٤. قم بتشغيل مضخة الهواء لتقليل الاحتكاك.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

إن مقدار التغير في الزخم لكل من العربتين:

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

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

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

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

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

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

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

إذن: وحسب القانون الثالث لنيوتن:

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

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

أي أن التغير في زخم كلتا العربتين:

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

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

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

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

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

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

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

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

وكتابة معادلة الطاقة الحركية بالصورة:

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

لكن، $(a^2 - b^2) = (a - b)(a + b)$

يمكن كتابة المعادلة (2-B) على الصورة:

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

وبقسمة طرفي المعادلة (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:

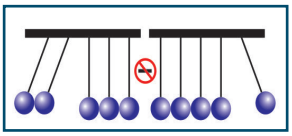
v_{12i}: تعني سرعة الجسم الأول بالنسبة للجسم الثاني قبل التصادم مباشرة.

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

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

* إشتقاق العلاقة (2-3) غير مطلوب.

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



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

أناقش:

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

مثال (1):

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

الحل:

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

$$\sum P_i = \sum P_f$$

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

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

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

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

وكذلك من المعادلة (2-3)

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

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

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

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

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

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

نشاط (2-3) التصادم غير المرن Inelastic Collision

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

الخطوات:

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

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

٣. لاحظ ماذا حدث عند تصادمها؟

٤. هل سمعت صوتا لتصادم كرات الزجاج؟

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

من النشاط السابق، الصوت الذي سمعته عند تصادم كرات الزجاج، والتشوه الذي حدث لكرات الصلصال الرطب يتطلب شغلاً لإنجازه ، ومصدر هذا الشغل هو الطاقة الحركية للنظام قبل التصادم. أي أن الطاقة المفقودة تتحول إلى أشكال أخرى للطاقة وهذا هو التصادم غير المرن. ومن أمثلته تصادم كرات البلياردو، ومعظم التصادمات في الحياة اليومية تصادمات غير مرنة. وكغيره من أنواع التصادمات يحقق قانون حفظ الزخم.

$$\sum P_f = \sum P_i$$

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

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

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

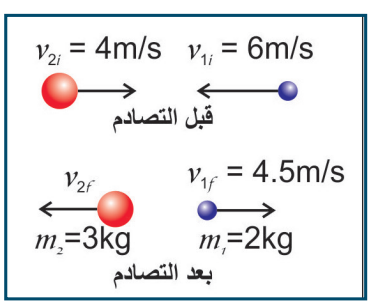
مجموع الطاقة الحركية للجسمين بعد التصادم $= (\frac{1}{2} m_1 v^2_{1f} + \frac{1}{2} m_2 v^2_{2f})$

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

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

مثال (2):

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



١. سرعة الكرة الثانية بعد التصادم مباشرة.

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

٣. حدد نوع التصادم.

الحل:

$$\sum P_i = \sum P_f$$

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

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

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

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

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

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

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

3: لتحديد نوع التصادم نحسب ΔK

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

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

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

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

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

الإشارة السالبة تعني أن النظام فقد طاقة.

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

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

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

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

الخطوات:

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

٨. مستخدما المسطرة المترية قم بقياس الإزاحتين.

٩. كرر المحاولة على ارتفاعات مختلفة.

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

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

- ماذا تلاحظ؟

وبتطبيق قانون حفظ الزخم للجسمين:

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

$$\sum P_i = \sum P_f$$

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

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

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

أي أن المجموعة تتحرك بسرعة تساوي نصف سرعتها قبل التصادم.

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

أي ان: $h' = \frac{1}{4} h$

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

من الأمثلة على التصادم عديم المرونة:

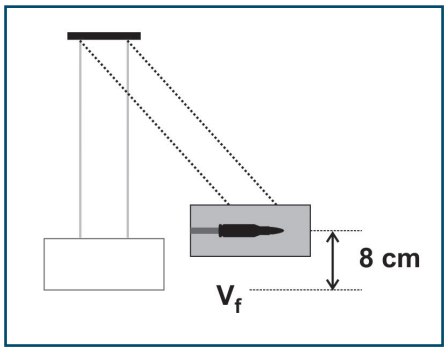
البندول القذفي البسيط المستخدم لحساب سرعة اصطدام رصاصة تستقر في القطعة الخشبية، ويتكون من كتلة خشبية معلقة بحبلين متساويين في الطول متوازيين غير مرنين، حيث كتلة الخشبة المعلقة أكبر بكثير من كتلة الرصاصة.

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

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

مثال (3):

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



١. سرعة المجموعة بعد التصادم مباشرة.

٢. سرعة الرصاصة قبل الاصطدام مباشرة.

٣. مقدار الطاقة الحركية المفقودة.

الحل:

لإيجاد سرعة الجسمين بعد التصادم (من قانون حفظ الطاقةالميكانيكية)

حيث: $m = m_1 + m_2$

1) $U = K$

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

$$v_f = 1.26\ m/s$$

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

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

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

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

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

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

3-2 التصادم في بعدين Two –Dimensional Collision

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

ما المقصود بالتصادم في بعدين؟

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

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

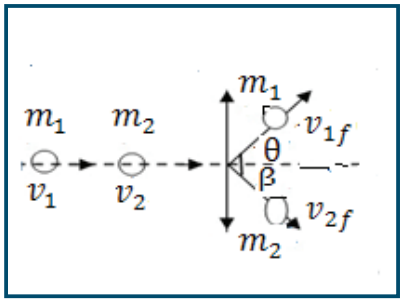
$$m_1 v_{1ix} + m_2 v_{2ix} = m_1 v_{1fx} + m_2 v_{2fx} \qquad (2\text{-}5)$$

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

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

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

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



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

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

وفي حال التحم الجسمان بعد التصادم مباشرة:

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

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

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

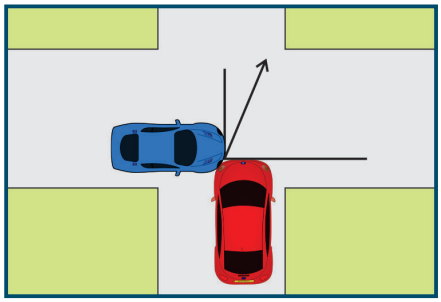
$$m_1 v_{1iy} + m_2 v_{2iy} = (m_1 + m_2) v_{fy}$$

حيث:

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

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

مثال (4):



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

الحل:

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

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

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

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

$$v_f = 11.33 m/s$$

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

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

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

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

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

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

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

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

حزام الأمان:

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

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

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

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

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

أسئلة الفصل

س١: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

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

أ) 165 ب) 330 جـ) 1050 د) 0

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

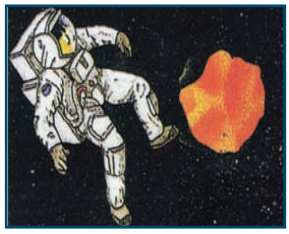
أ) تسكن الكرتان (A) و (B) وتتحرك الكرة (C) بسرعة 6 m/s.

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

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

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

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



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

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

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

د) لا يتحرك أي منهما.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

جـ) متساوٍ لكل أنواع التصادمات.

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

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

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

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

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

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

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

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

س٣: علل:

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

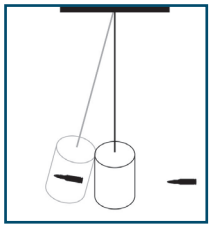
٢- إذا سقطت كرة من الطين تجاه أرضية صلبة فإنها لا ترتد بشكلٍ ملحوظ.

س٤: جسم سرعته 55 m/s وكتلته m_1 تصادم تصادماً مرناً مع جسم آخر ساكن كتلته 5 kg، وبعد التصادم تحرك الجسم الأول في الاتجاه المعاكس بسرعة 20 m/s، احسب كلاً من:

١- كتلة الجسم الاول .

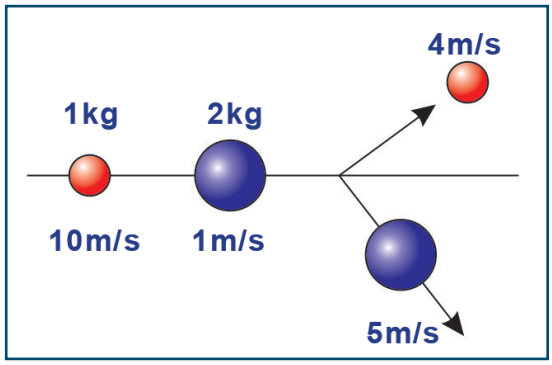
٢- سرعة الجسم الثاني بعد التصادم مباشرة .

س٥: عربة قطار كتلتها 2000 kg تتحرك على قضبان مستقيمة أفقية بسرعة 2 m/s اصطدمت بها عربة أخرى كتلتها 3000 kg تسير بالاتجاه نفسه وبسرعة 5 m/s، وتحركتا معا كجسم واحد، فما مقدار السرعة المشتركة بعد التصادم .



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

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



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

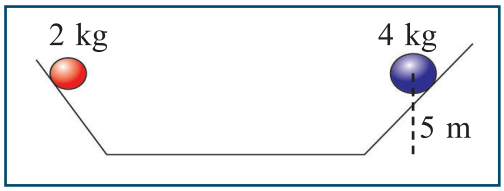
١- الزاوية بين اتجاه حركة الكرتين بعد التصادم مباشرة.

٢- نوع التصادم.

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

١- سرعة القطعة الخشبية بعد الاصطدام مباشرة.

٢- مقدار الطاقة الحركية المفقودة.

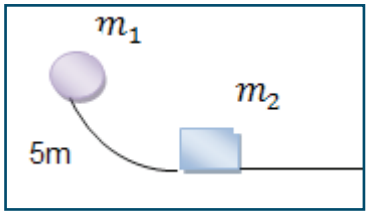


س١٠: في الشكل تنزلق الكتلتان 2 kg، 4 kg من السكون من ارتفاع 5 m على مستوى أملس إذا اصطدمتا تصادماً مرناً، جد:

١- سرعة كل من الكرتين قبل التصادم مباشرة.

٢- سرعة كل من الكرتين بعد التصادم مباشرة.

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



س١١: تنزلق كتلة 5 kg من السكون من ارتفاع 5 m على مسار أملس، وعند أسفل المسار تصطدم اصطداماً مرناً بكرة أخرى ساكنة كتلتها 10 kg،جد أقصى ارتفاع تصل إليه الكتلة الأولى m_1 بعد الاصطدام مباشرة.

الحركة الدورانية Rotational Motion

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

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

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

نشاط (3-1): القوة المركزية

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

الخطوات:

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

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

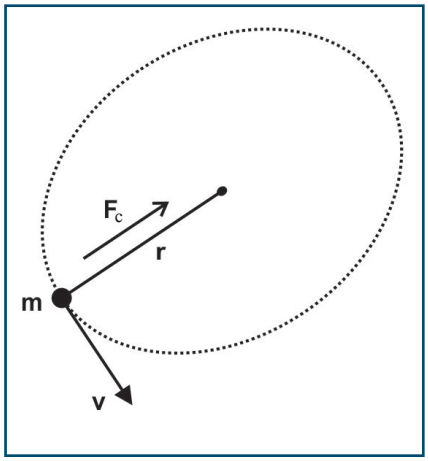
٣. شغل السيارة واتركها تتحرك، ماذا تلاحظ؟

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

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

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

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



الشكل (3-1)

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

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

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

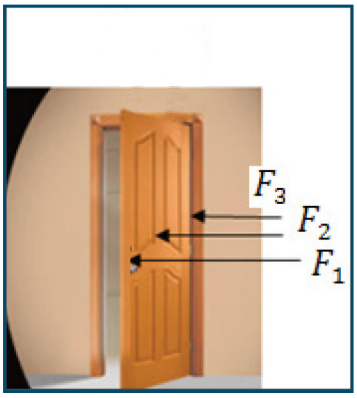
$F_c = m r \omega^2$ ، حيث ω: السرعة الزاوية.

أذكر أمثلة على قوى مركزية في الطبيعة.

1-3 العزم (Torque)

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

نشاط (3-2): فتح الباب وغلقه



المواد والأدوات: باب.

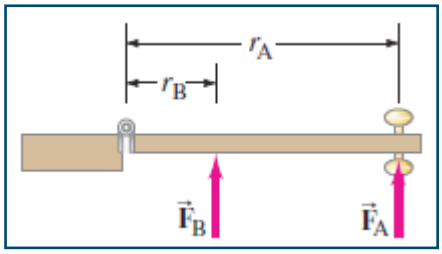
الخطوات:

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

القوة	أثر القوة على فتح الباب أو غلقه
F_1	
F_2	
F_3	

أكتب بعض النتائج التي يمكن التوصل إليها من هذا النشاط.

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



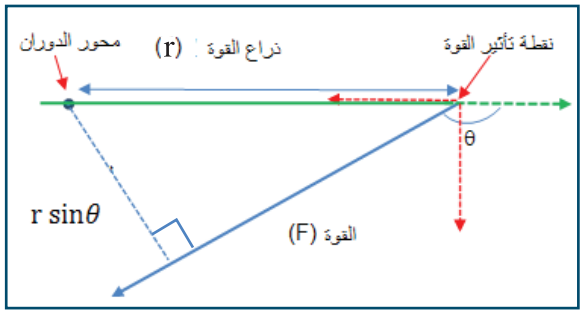
ولكن، لو أثرت بمقدار القوة نفسها عند نقطة أخرى، F_B مثلاً، فإن الباب لا يفتح بهذه السرعة. أي أن أثر القوة يصبح أقل. وبذلك نستنتج أن نقطة تأثير القوة بالإضافة إلى مقدارها واتجاهها تؤثر في سرعة فتح الباب. في الواقع، إذا أثرت هذه القوة في الباب فقط، فإن التسارع الزاوي للباب يتناسب طردياً مع كل من مقدار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

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

نشاط (3-3): عزم القوة (Torque)

نؤثر في بعض الأحيان بقوة على جسم فتسبب له دورانا بدلا من تحريكه في خط مستقيم، ولمعرفة متغيرات عزم القوة

تأمل الشكل (3-2) ثم ناقش المفاهيم الآتية.



الشكل (3-2)

1- محور دوران الجسم.

2- نقطة تأثير القوة.

3- 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: $\boldsymbol{\tau} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$

أو

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

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

8- استنتج وحدة قياس عزم القوة.

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

10- هل عزم القوة كمية قياسية أم كمية متجهة؟

11- كيف نحدد اتجاه عزم القوة؟

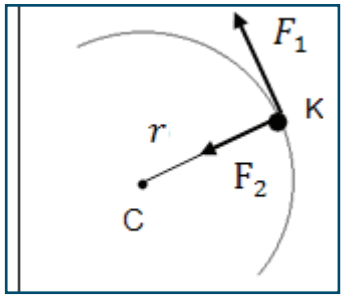
قاعدة اليد اليمنى

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

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

مثال (1):

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



الشكل (3-3)

الحل: _____

القوة F_1 قوة مماسية

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

اتجاه العزم حسب قاعدة اليد اليمنى خارج الورقة

القوة F_2 قوة مركزية

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

2-3 القصور الدوراني (Moment of Inertia)

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

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

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

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

وهو مقدار موجب دائماً

أناقش:

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

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

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

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

والجدول الآتي يبين القصور الدوراني لبعض الأجسام.

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

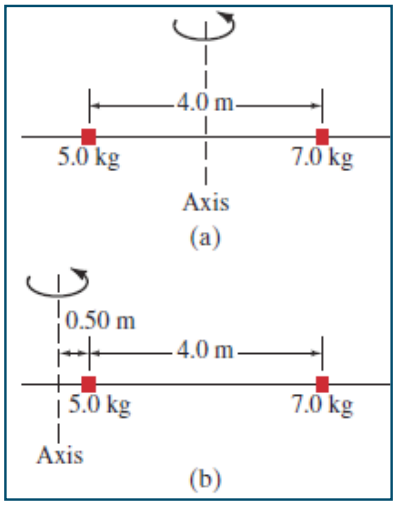
الجسم	محور الدوران	القصور الدوراني
سلك رفيع طوله L	عمودي على السلك عند المركز	$\frac{1}{12}ML^2$
	عمودي على السلك عند الطرف	$\frac{1}{3}ML^2$
طوق نصف قطره R	يمر من المركز في مستواه	$\frac{1}{2}MR^2$
	يمر من المركز عموديا على مستواه	MR^2
قرص رقيق مصمت نصف قطره R	يمر من المركز في مستواه	$\frac{1}{4}MR^2$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

مثال (2):

وضع جسمان كتلتاهما (5 kg)، (7 kg) على بُعد (4 m) على ساق معدني خفيف (مهمل الوزن) كما في الشكل (a-4-3)، 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-4-3).



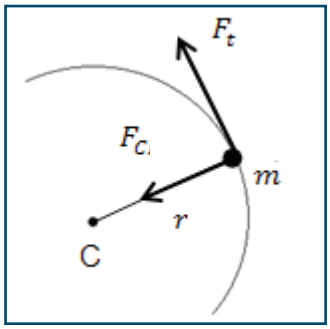
الحل:

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

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

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

القانون الثاني لنيوتن في الحركة الدورانية



الشكل (3- 5)

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

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

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

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

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

حيث: I تشير للقصور الدوراني.

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

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

ونلاحظ هنا التناظر الواضح بين الحركة الانتقالية والحركة الدورانية.

نشاط (3-4): المعنى الفيزيائي لعزم القصور

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

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

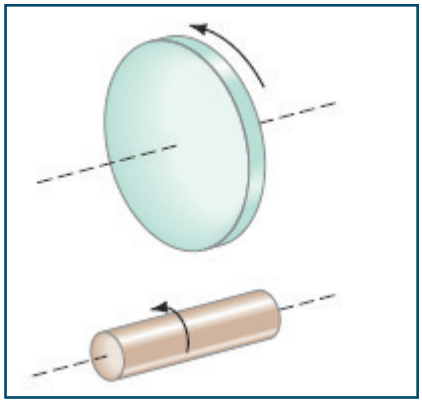
نستنتج من النشاط السابق أن الكتلة هي: ممانعة الجسم لأي تغيير في حالته الحركية الانتقالية، وأن القصور الدوراني: ممانعة الجسم لأي تغيير في حالته الحركية الدورانية، إلا أن هناك فرقاً أساسياً ففي حين تبقى كتلة الجسم ثابتة كيفما تحرك الجسم، إلا أن القصور الدوراني يعتمد على طريقة دوران الجسم والمحور الذي يدور 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 (2-3) لكل جسيم، ومن ثم نجد مجموع عزوم الدوران الناتجة عن كل جسيم. أي:

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

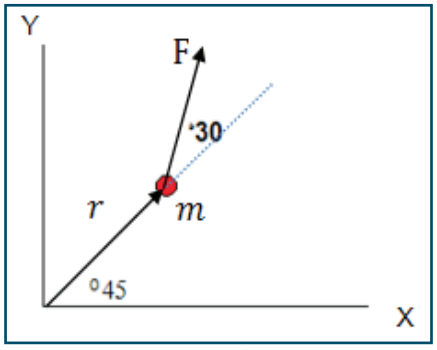
$$\tau_{net} = I\alpha$$

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



مثال (3):

يتحرك جسيم نقطي كتلته 2 kg في المستوى xy الأفقي بحيث يعطى موضعه 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 (3- 6)

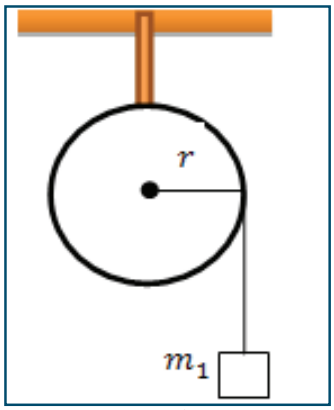
الحل:

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

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

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

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



الشكل (3-7)

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

١) ما عزم القوة المؤثرة على البكرة؟

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

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

الطاقة الحركية الدورانية

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

ولكن السرعة الخطية $v = r\,\omega$

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

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

بالتعويض عن I

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

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

مثال (4):

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

الحل:

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

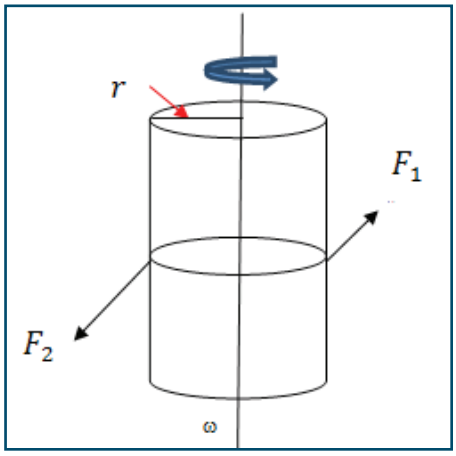
$$K = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} \times 1.12 \times (12\ \pi)^2 = 795\ J$$

مثال (5):

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

الحل:

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



الشكل (3-8)

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

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

$$\tau = I\alpha$$

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

التسارع الزاوي ثابت

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

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

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

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

مثال (6):

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

1) التسارع الزاوي.

2) عزم الدوران المؤثر.

3) الزاوية التي يدورها حجر الرحى خلال 15 s.

الحل:

1) $\omega_1 = 0$

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

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

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

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

4-3 الزخم الزاوي (Angular Momentum)

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

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

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

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

نحصل على: $L = m\ r^2\ \omega$

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

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

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

أناقش:

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

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

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

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

حيث:

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

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

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

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

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

وينص قانون حفظ الزخم الزاوي على:

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

ومن شروط حفظ الزخم الزاوي:

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

٢- أن يبقى محور الدوران ثابتا من دون تغيير.

أناقش:

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

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

مثال (7):

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

الحل:

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

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

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

باعتبار أن كثافة الأرض منتظمة وكتلتها لم تتغير.

لكن $r_1 = 2r_2$

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

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

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

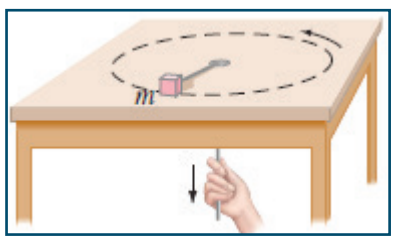
$$\omega_1 = \frac{1}{4} \omega_2$$

$$\omega_2 = 4\omega_1$$

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

ب- الزخم الزاوي

مثال (8):



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 ؟

الحل:

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

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

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

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

مثال (9):

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

الحل:

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

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

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

أ) السرعة الزاوية للقمر الصناعي.

ب) الزخم الزاوي للقمر الصناعي.

أسئلة الفصل

س١: اختر الإجابة الصحيحة فيما يلي:

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

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

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

أ) 0.75 ب) 7.5 جـ) 75 د) 300

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

أ) 10 ب) 7.5 جـ) 5 د) 2.5

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

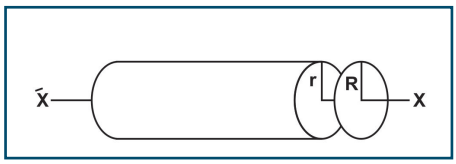
أ) طردياً مع السرعة الزاوية للجسم (ω) ب) عكسياً مع مربع السرعة الزاوية (ω^2)

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

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

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

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



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

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

أ) 0.125 ب) 0.1 جـ) 0.075 د) 0.025

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

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

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

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

س٤: فسر ما يأتي:

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

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

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

- طاقته الحركية الدورانية الابتدائية.
- العزم اللازم لإيقاف القرص

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

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

أ- متوسط العزم المؤثر على الإطار.

ب- عدد الدورات التي دارها خلال هذه المدة الزمنية.

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

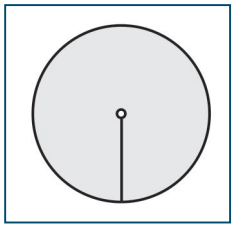
أ - بعد النقطة المادية عن محور الدوران.

ب - السرعة الخطية للنقطة.

جـ - زخم النقطة أثناء دورانها.

د - الزخم الزاوي لهذه النقطة حول محور الدوران.

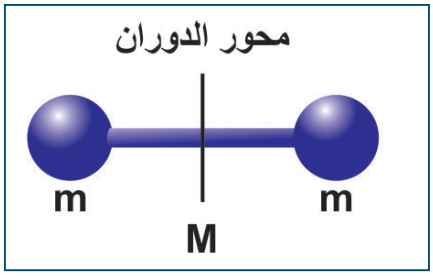
هـ - الطاقة الحركية لهذه النقطة أثناء دورانها.



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 ($I = \frac{1}{12} ML^2$) ، حيث (m = M)



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

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؟

أسئلة الوحدة

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

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

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

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

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

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

أ) 4 ب) 40 جـ) 400 د) 800

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

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

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

أ) 16 ب) 4 جـ) 64 د) 32

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

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

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

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

أ) 3 ب) 6 جـ) 16 د) 26

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

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

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

أ) 10 ب) 75 جـ)25 د) 30

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

أ) mv ب)2mv جـ) 0 د) $\frac{1}{2}$ mv

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

أ) 0.4 ب) 0.8 جـ) 1.6 د) 3.2

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

أ) 2.5 ب) 3 جـ) 4 د) 5

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

أ) 1275 ب) 2550 جـ) 2850 د) 2950

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

أ) 0.2 ب) 0.8 جـ) 1 د) 1.6

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

أ) 25 ب) 12.5 جـ) 2 د) 2×10^{-2}

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

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

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

أ) 0.125 ب) 1.25 جـ) 2.5 د) 5

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

أ) 0.25 ب) 0.05 جـ) 0.75 د) 1

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

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

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

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

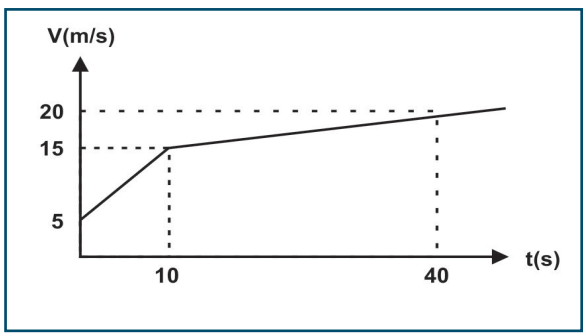
س2: اصطدمت كتلة مقدارها 50 g تسير بسرعة 5 m/s بجدار ، وارتدت عنه بطاقة حركية تعادل ربع طاقتها الحركية الابتدائية وعلى الخط نفسه . احسب كلاً من:

1-الدفع المؤثر على الكرة

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

س3: جسم كتلته 5 kg يتحرك في خط مستقيم أفقي بسرعة 20 m/s ، فإذا سقط عليه عموديا جسم آخر كتلته 10 kg بسرعة 30 m/s، والتصق الجسمان وسارا معا بالسرعة نفسها. فما هي سرعة الجسمين الملتصقين بعد التصادم مباشرة.

س4: الشكل المقابل يمثل العلاقة البيانية بين السرعة والزمن لحركة جسم كتلته 2 kg . احسب كلاً من:



1-الدفع المؤثر على الجسم خلال 40 s

2-قوة الدفع خلال 10 s

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

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

1- كتلة الجسم الثاني

2- سرعة الجسم الأول بعد التصادم مباشرة

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

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

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؟

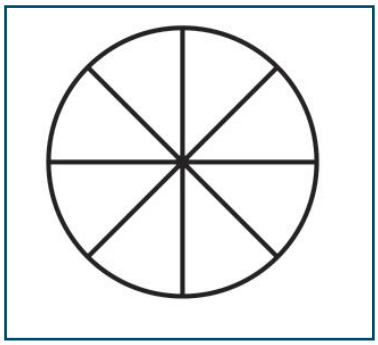
س10: يركب أحمد الذي كتلته (42 kg) لوح تزلج كتلته (2 kg)، ويتحركان بسرعة (1.2 m/s) فإذا قفز أحمد عن اللوح، وتوقف لوح التزلج تماما في مكانه، فما مقدار سرعة قفزه؟ وما اتجاهه؟

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؟



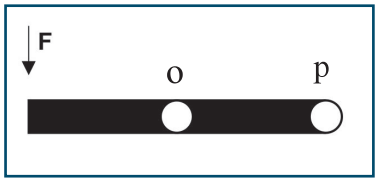
س12: عجلة الدراجة الهوائية الموضحة في الشكل المجاور، طول قطرها (60 cm) وكتلة محيطها (1 kg) وكتلة كل قطر فيها (0.4 kg) وتدور بسرعة زاوية ($\omega = 1$ rev/s). احسب كلاً من:

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

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

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

الوحدة الثانية: الكهرباء المتحركة

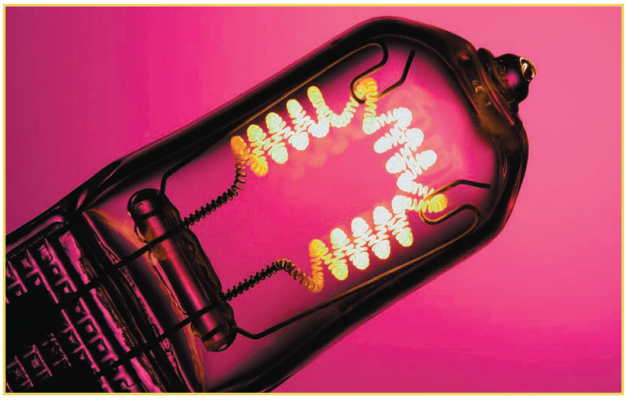
ما علاقة الشمس بأشكال الطاقة المختلفة؟

الكهرباء المتحركة Electricity

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

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

التيار الكهربائي والمقاومة (Electric Current and Resistance)



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

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

1-4 التيار الكهربائي Electric Current

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

لتتعرف إلى مفهوم التيار الكهربائي، نفذ النشاط التالي:

نشاط (1-4): إضاءة مصباح كهربائي

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

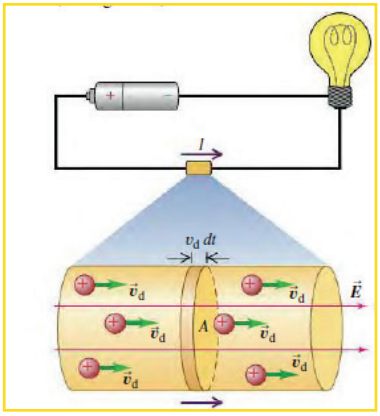
خطوات العمل:

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

أناقش:

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

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



الشكل (1-4)

ولتتوصل إلى تعريف شدة التيار الكهربائي، تصوّر مقطعاً عرضياً مساحته (A) تعبر منه الشحنات الكهربائية على نحوٍ عمودي، كما في الشكل (1-4). فإذا كانت

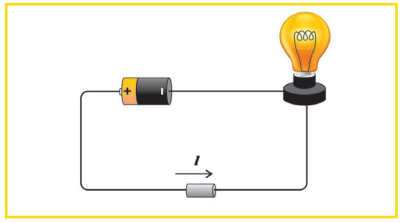
كمية الشحنة الكلية(ΔQ) التي تعبر المقطع في فترة زمنية (Δt)، فإن شدة التيار الكهربائي(I):

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

شدة التيار الكهربائي: معدل تدفق الشحنة الكهربائية بالنسبة للزمن.

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

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



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

مثال (1):

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

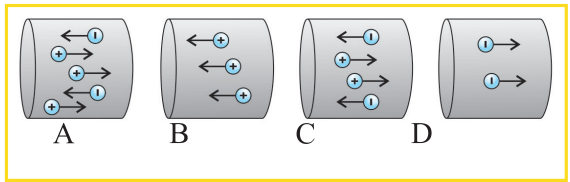
الحل: _____

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

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

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

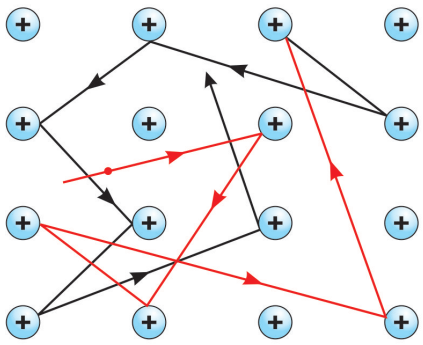
سؤال: يبين الشكل المجاور شحنات كهربائية متساوية المقدار وحرة الحركة تتحرك في مجال كهربائي منتظم:



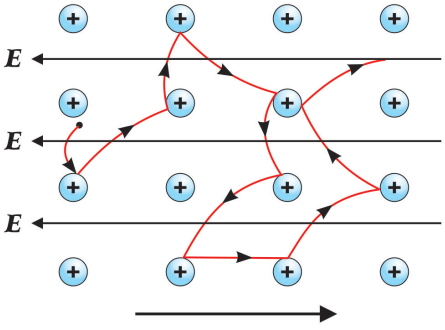
- رتب المقاطع الأربعة من حيث مقدار شدة التيار الكهربائي من الأقل إلى الأكثر.
- حدد اتجاه التيار الكهربائي الاصطلاحي في كل شكل.

السرعة الانسياقية (Drift Velocity):

لتتعرف إلى مفهوم السرعة الانسياقية، لنفترض وجود موصل فلزي معزولٍ عن المجالات الكهربائية، وتحتوي الموصلات الفلزية على الإلكترونات الحرة، وتتحرك الإلكترونات الحرة كالسائل بين ذرات المادة الفلزية، وحركتها في الموصل تشبة حركة جزيئات الغاز المحصور، تتحرك حركة عشوائية في جميع الاتجاهات بسرعة ($1\times10^6\,m/s$)، دون أن يحصل لها إزاحة محددة باتجاه ما، كما في الشكل (4-2-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 يسمى بالتيار الإلكتروني.



الشكل (4-2-a).



الشكل (4-2-b).

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 (4-2-b).

وتعرف السرعة الانسياقية: بمتوسط سرعة الشحنات الحرة التي تشكل التيار الكهربائي في موصل.

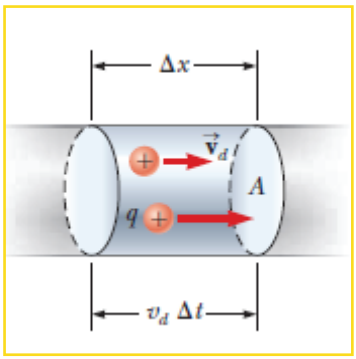
وينتج عن تصادم الإلكترونات بذرات الفلز على نحو متكرر، أن تفقد جزءاً من طاقتها الحركية أو جميعها، ولكن ما تلبث أن تتسارع ثانية في اتجاه معاكس لاتجاه المجال. أما الطاقة الحركية التي تفقدها الإلكترونات أثناء انسياقها، فتنتقل إلى ذرات الفلز؛ ممّا يؤدي إلى زيادة اتساع اهتزازها وارتفاع درجة حرارة الفلز.

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 (V_d). وعلى اعتبار عدد الشحنات الكهربائية الحرة في وحدة الحجم من الموصل تساوي (n_e)، ومقدار الشحنة الحرة (q_e)، فإن حجم جزء من الموصل طوله ((Δx)يساوي ($A\ \Delta x$)، حيث ($\Delta x = V_d\ \Delta t$) وعدد الشحنات الكهربائية الحرة (N) في هذا الحجم يساوي ($n_e\ A\Delta x$)، فإن الشحنة الكلية التي تعبر المساحة بزمن Δt تكون:

ΔQ = عدد الشحنات × مقدار شحنة كل منها.

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

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



وبذلك فإن مقدار شدة التيار الكهربائي المار في السلك يساوي :

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

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

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

مثال (2):

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

الحل:

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

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

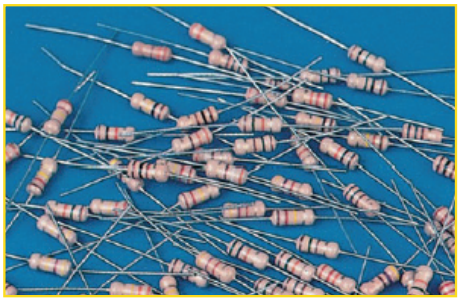
$$200 = 8.5 \times 10^{28} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 3.14 \times 10^{-4}\, v_d$$

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

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

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

نشاط (2-4): المقاومة الكهربائية



للتعرف إلى المقاومة الكهربائية، أجب عن الأسئلة الآتية:

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

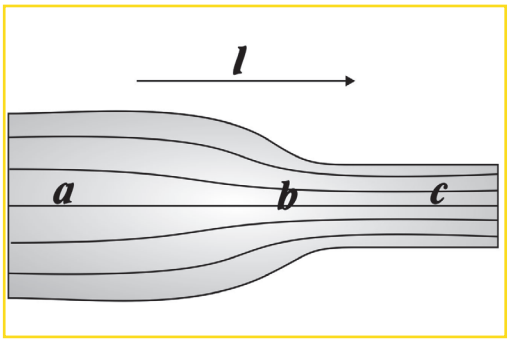
لقد تعرفت سابقاً أن مقدار مقاومة موصل طوله (L)، ومساحة مقطعه (A) ومقاوميته ρ يساوي (ρL/A) ومن هذه العلاقة يمكن تعريف **المقاومية** بأنها: (مقاومة موصل منتظم المقطع، طوله متر واحد، ومساحة مقطعه العرضي 1 متر مربع)، وأن: التيار الكهربائي المار في موصل فلزي يتناسب طردياً مع فرق الجهد بين طرفيه عند ثبوت درجة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

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

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

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

نشاط (3-4): كثافة التيار



تأمل الشكل المجاور، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

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

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

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

حيث:

A: مساحة مقطع الموصل.

I: شدة التيار الكهربائي المار في الموصل.

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

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

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

وتقاس J بوحدة A/m^2

مثال (3):

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

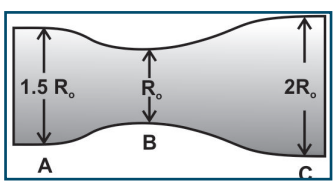
الحل:

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

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

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

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



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

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

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

وبما أن:

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

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

ومن المعادلتين (1) (2) ينتج أن:

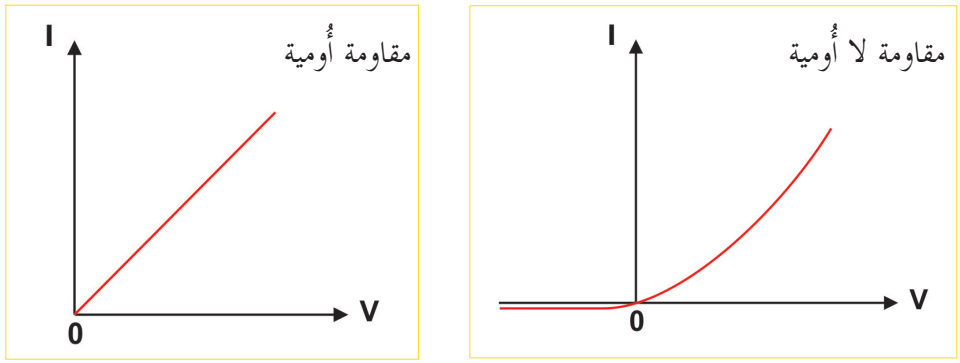
$$J = \sigma E \qquad (4\text{-}6)$$

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

والجدول الآتي يبين قيم المقاومية لبعض العناصر.

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

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



شكل (4-3)

مثال (4):

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

أ. كثافة شدة التيار في الموصل.

ب. السرعة الانسياقية للإلكترونات الحرة فيه.

الحل:

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

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

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

مثال (5):

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

أ. شدة المجال الكهربائي المؤثر في السلك.

ب. فرق الجهد بين طرفي السلك.

ج. مقاومة السلك.

الحل:

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

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

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

سؤال:

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

الأثر الحراري للتيار الكهربائي:

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

إن معدل الشغل المبذول يمثل القدرة الكهربائية. أي أن:

القدرة = الشغل/ الزمن

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

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

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

$$P = I\ V$$

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

$$p = I^2\ R$$

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

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

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

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

وإذا كانت القدرة بالكيلو واط والزمن بالساعة، فإن:

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

مثال (6):

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

الحل:

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

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

مثال (7):

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

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

الحل:

$$P_1 = I_1\ V = 5$$

$$P_2 = I_2\ V = 10$$

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

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

وبقسمة المعادلتين نحصل على: $R_1 = 2R_2$

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

أ. شدة التيار المار فيه.

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

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

طُرق توصيل المقاومات

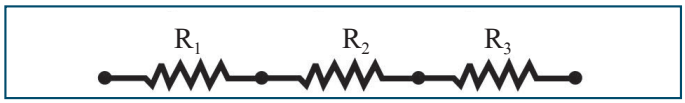
في كثير من الأحيان يتطلب توصيل عدة مقاومات في الدارة الكهربية، لتثبيت مقدار التيار، أو لتجزئة التيار بين عدة مقاومات، أو لتقليل الجهد، أو لتوزيعه. ويتم توصيل المقاومات في الدارات الكهربائية على التوالي أو التوازي أو كليهما معا.

نشاط (4-4) توصيل المقاومات الكهربائية

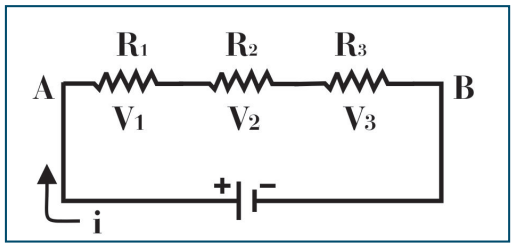
المواد والأدوات: مقاومات كربونية، وبطارية، وأسلاك توصيل، وملتيميتر.

خطوات العمل:

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

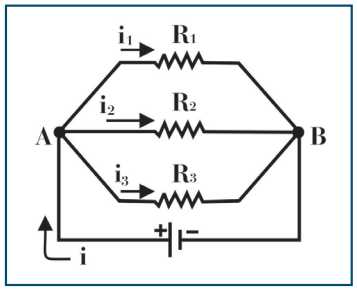


- اربط المقاومات الثلاث مع بطارية كما في الشكل(4-4) واستخدم الملتيميتر لقياس تيار كل منها. ماذا تلاحظ؟
- استخدم الملتيميتر لقياس فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة على حدة وطرفي المقاومات الموصولة.
- ماذا تلاحظ؟
- تحقق أن المقاومة المكافئة $(R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3)$



الشكل(4-4)

- أعد تنفيذ الخطوات السابقة بتوصيل المقاومات السابقة على التوازي. ماذا تلاحظ؟
- تحقق أن مقلوب المقاومة المكافئة: $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$



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

أ- شدة التيار المار في كل مقاومة.

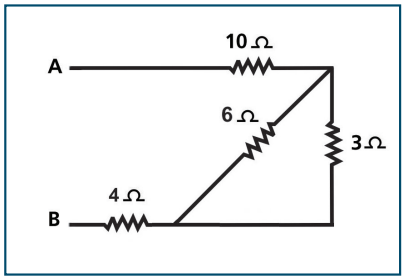
ب - فرق الجهد الكهربائي بين طرفي كل مقاومة.

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

مثال (8):

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

الحل:



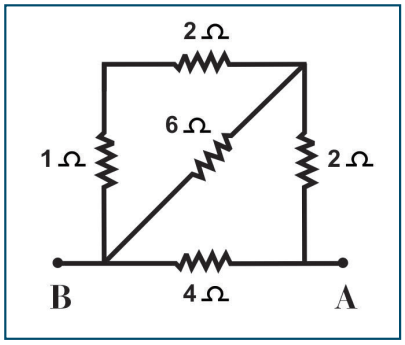
موصولتان على التوازي (3 Ω ، 6 Ω)

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

موصولات على التوالي (2 Ω ، 4 Ω، 10 Ω)

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

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



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

أسئلة الفصل

س1: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

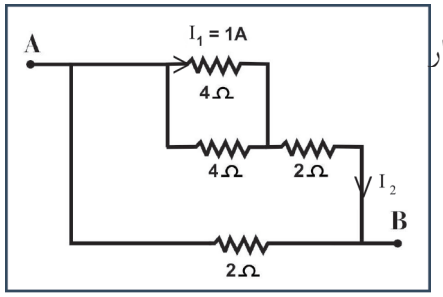
1. تعتمد مقاومية السلك على:

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

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

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

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



أ- 1 ب- 2 جـ- 3 د- 4

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

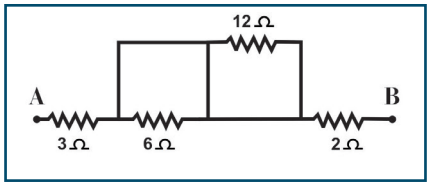
أ- شدة التيار الكهربائي المار فيه تقل ب- مقاومية مادة السلك تزداد

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

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

أ- 63 ب- 80 جـ- 100 د- 175

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



أ- 5 ب- 6 جـ- 2 د- 3

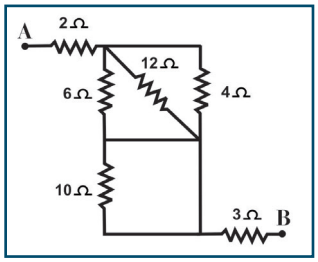
س2: وضح المقصود بالمصطلحات الآتية: السرعة الانسياقية، وكثافة التيار، والموصلية.

س3: علل ما يأتي:

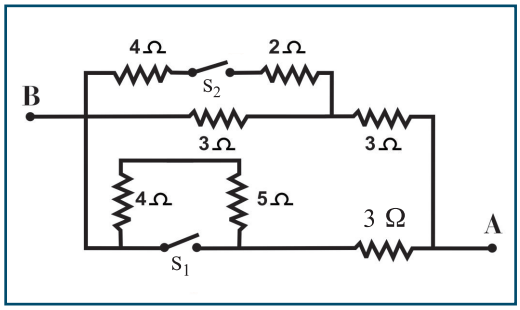
أ- تكون السرعة الإنسياقية للإلكترونات في الموصلات صغيرة جداً.

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

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



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



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

أ. (S_1 ،S_2) مفتوحين.

ب. S_1 مغلقاً فقط.

جـ. S_2 مغلقاً فقط.

د. (S_1 ،S_2) مغلقين.

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

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

أ- شدة التيار المار فيه.

ب- مقاومة سلك السخان الكهربائي.

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

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

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

أ) كثافة شدة التيار في الموصل.

ب) السرعة الإنسياقية

جـ) مقاومة السلك

د) فرق الجهد بين طرفيه.

هـ) شدة المجال الكهربائي

دارات التيار المستمر Direct Current (DC) Circuits

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

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

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

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

1-5 القوة الدافعة الكهربائية:

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

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

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

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

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

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

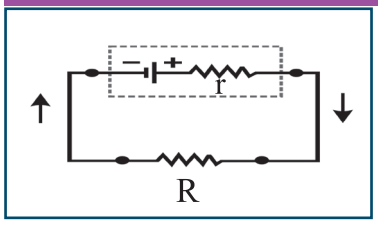
وبافتراض أن الشغل (ΔW) يبذل خلال زمن (Δt)، فبقسمة طرفي المعادلة السابقة على (Δt)، نجد أن:

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

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

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

2-5 معادلة الدارة الكهربائية البسيطة:



تعلمت سابقاً أن البطارية تبذل شغلاً أثناء تحريك الشحنات الكهربائية في دارة مغلقة. وهذا الشغل يستنفد في مقاومات الدارة الداخلية (r) والخارجية (R). وعند غلق المفتاح في الدارة البسيطة المجاورة يسري تيار في الدارة، وحسب قانون حفظ الطاقة فإن 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 البطاريات التي يكون فيها سهم القوة الدافعة للبطارية بعكس اتجاه التيار في الدارة، أي أن:

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

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

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

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

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

حيث،

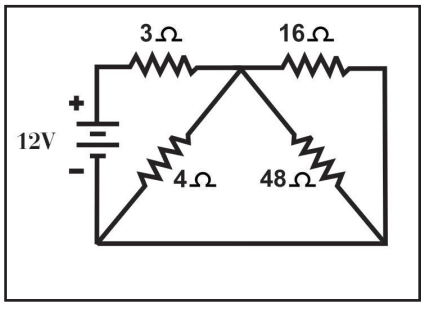
$\sum\varepsilon$: مجموع القوى الدافعة للبطاريات في الدارة.

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

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

ولتطبيق هذه المعادلة نفترض اتجاهاً معيناً للتيار في الدارة، وتعد البطارية ذات قوة دافعة موجبة إذا 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.

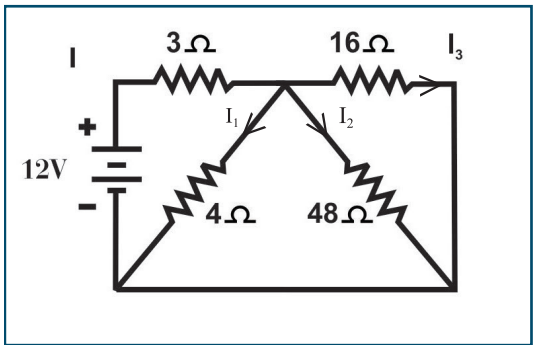
الحل:

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

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

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

المقاومات (R، 3 Ω) موصولة على التوالي:



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

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

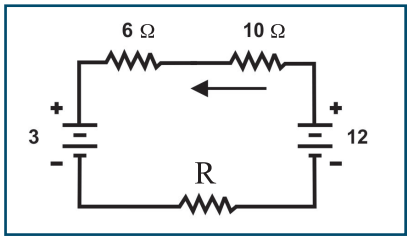
ويساوي تيار المقاومة (3Ω)

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

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

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

مثال (2):



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

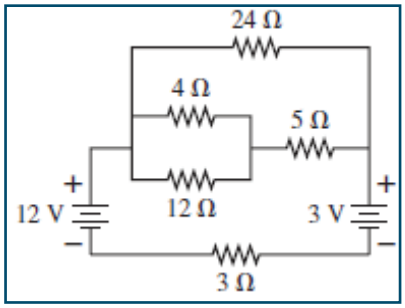
الحل:

القدرة الداخلة = القدرة المستنفدة

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

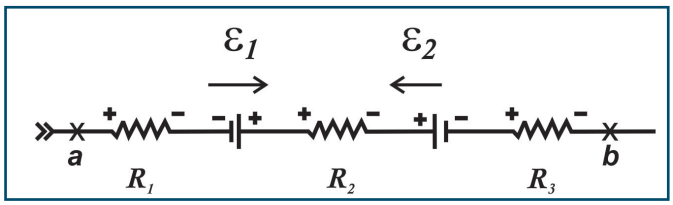
$$0.5 \times 12 = \frac{1}{4} \times 10 + \frac{1}{4} \times 6 + 0.5 \times 3 + P$$

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



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

3-5 فرق الجهد بين نقطتين في دارة كهربائية



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

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

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

ومن مبدأ حفظ الطاقة، فإن:

القدرة الداخلة = القدرة المستنفدة (أو المستهلكة)

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

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

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

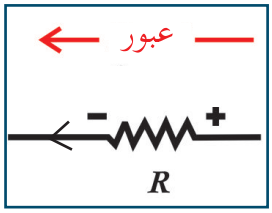
حيث:

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

V_a: جهد النقطة (a).

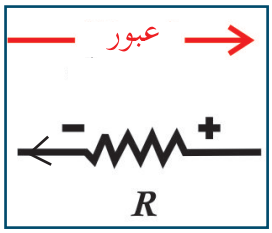
V_b: جهد النقطة (b).

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

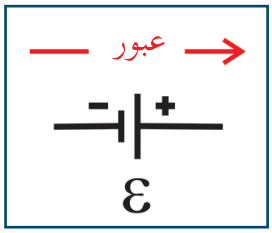


1. إذا كان اتجاه العبور في المقاومة باتجاه التيار، أي من نقطة جهدها عال (+) إلى نقطة أخرى جهدها منخفض (-)، فإن التغير في الجهد يكون سالباً ويساوي (-I R).

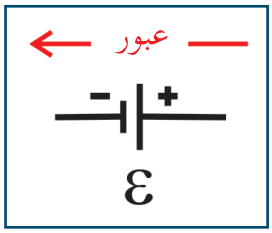
1. إذا كان اتجاه العبور في المقاومة بعكس اتجاه التيار، أي من نقطة جهدها منخفض (-) إلى نقطة أخرى جهدها عال (+)، فإن التغير في الجهد يكون موجباً، ويساوي (+I R).



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



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



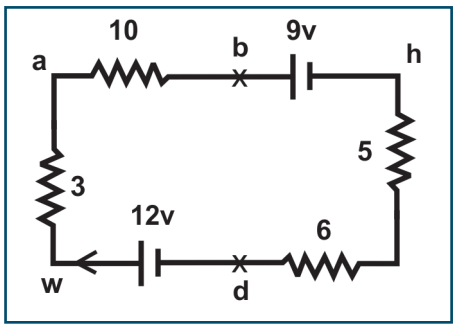
مثال (3):

معتمداً على القيم المبينة في الشكل المجاور جد:

A- شدة التيار المار في الدارة.

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

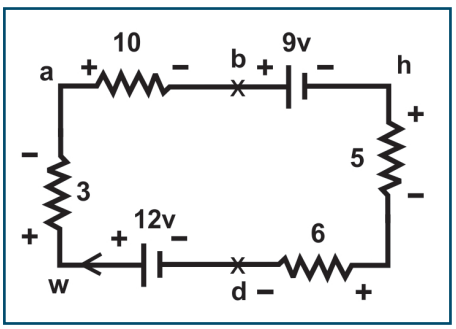
C- مجموع التغيرات في الجهد للمسار المغلق.



الحل:

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

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



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

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

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

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

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

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

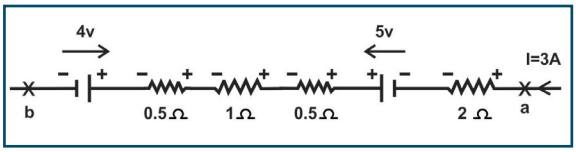
مثال (4):

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

A- فرق الجهد بين النقطتين (a ,b).

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

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



الحل:

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

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

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

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

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

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

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

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

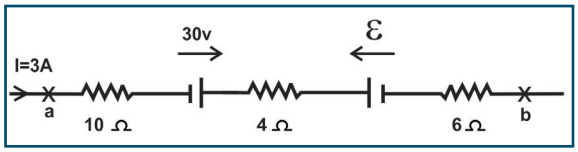
مثال (5):

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

A- القوة الدافعة المجهولة (ε).

B- فرق الجهد بين النقطتين (a , b).

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



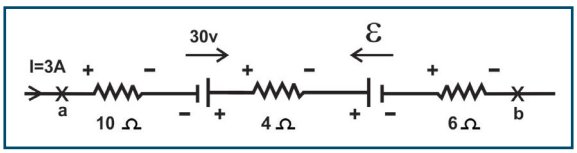
الحل:

A) القدرة المستنفدة بين النقطتين (a , b)

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

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

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



B) فرق الجهد بين النقطتين (a , b)

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

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

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

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

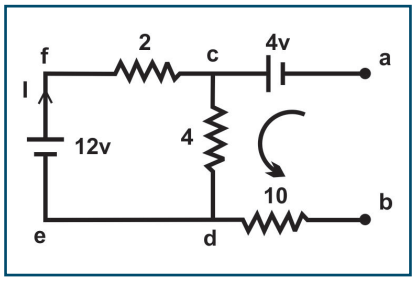
C) القدرة الداخلة بين النقطتين (a ,b) =

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

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

مثال (6):

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

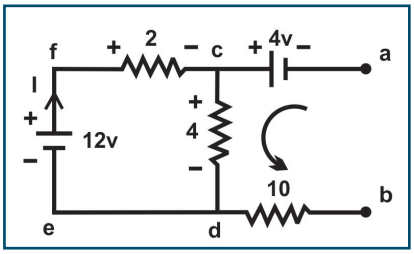


الحل:

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

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

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



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

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

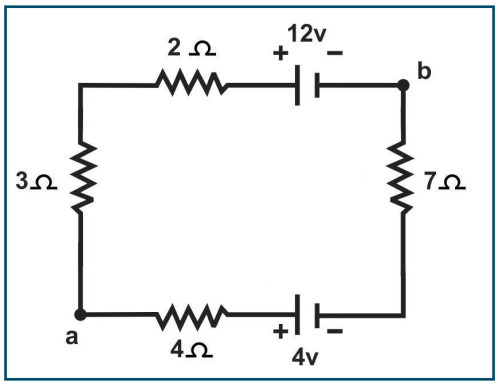
$V_a + 4 - 8 - 0 = V_b \longrightarrow V_a - 4 = V_b$

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

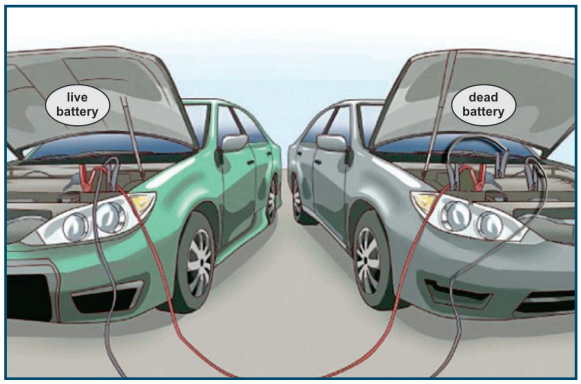
سؤال: احسب فرق الجهد بين النقطتين a ,b من خلال المسار الثاني (a c f e d b).

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

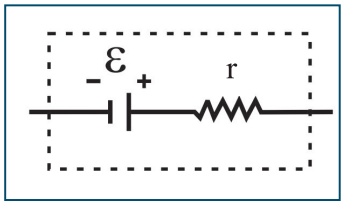
أناقش: يبين الشكل المجاور، دارة شحن بطارية، تتكون من بطاريتين متعاكستين وأربع مقاومات موصولتين على التوالي في دارة بسيطة. أجب عما يأتي:



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

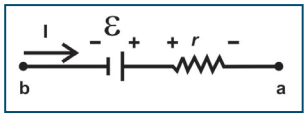


البطارية ليست مصدراً للتيار الكهربائي الثابت في المقدار، بل يتغير مقداره بتغيير المقاومات في الدارة. وتعد البطاريات مصدر جهد ثابت تقريباً، ولكن عند غلق الدارة الكهربائية، يقل فرق الجهد بين طرفي البطارية عنه عندما كانت الدارة مفتوحة، وهذا يسمى بالهبوط في الجهد. ويعزى ذلك إلى أن المقاومة الداخلية للبطارية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



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

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



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

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

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

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

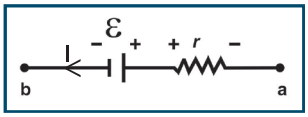
نستنتج من العلاقة السابقة أن فرق الجهد بين النقطتين (a ,b) أقل من القوة الدافعة الكهربائية للمصدر، وذلك لأن جزءاً من القوة الدافعة الكهربائية يُستنفد على شكل حرارة في المقاومة الداخلية للمصدر. ويُسمى المقدار ($I \times r$) الهبوط في الجهد.

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

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

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

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



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

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

مثال (7):

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

A) عندما تُعطي تياراً قدره (8 A).

B) عندما تُشحن بتيار قدره (8 A).

الحل:

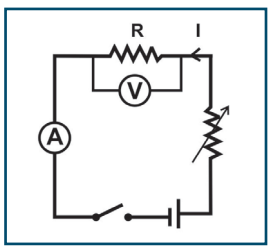
A) $V_{ab} = \varepsilon - I \times r = 25 - 8 \times 0.2 = 25 - 1.6 = 23.4$ V

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

5-5 قياس مقاومة مجهولة:

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

أ. باستخدام قانون أوم:



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

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

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

مثال (8):

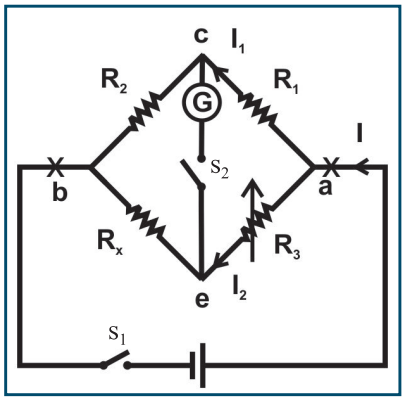
استخدمت دارة أوم لإيجاد مقدار مقاومة مجهولة (R)، فإذا كانت قراءة الأميتر(1.2 A)، وقراءة الفولتميتر (18V) في الدارة، ما مقدار المقاومة المجهولة؟

الحل: _____

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

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

ب. باستخدام قنطرة ويتستون:



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

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

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

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

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

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

$$V_{bc} = V_{be}$$

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

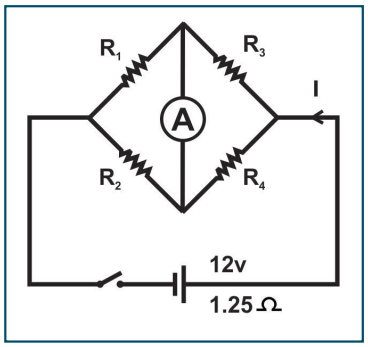
وبقسمة العلاقة الأولى على العلاقة الثانية، ينتج:

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

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

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

مثال (9):



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

أ- مقدار المقاومة (R_1).

ب- شدة التيار الكهربائي المار في البطارية.

الحل:

أ-

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

ب- لإيجاد المقاومة المكافئة:

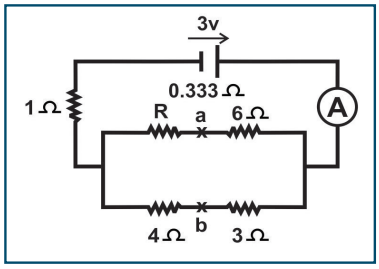
المقاومات (R_1, R_3) موصولة على التوالي: $R`_1 = 5 + 20 = 25\ \Omega$

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

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

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

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



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

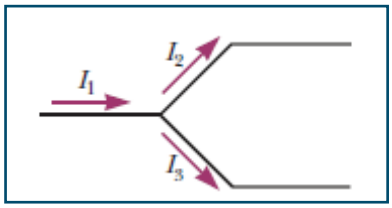
أ. مقدار المقاومة المجهولة (R).

ب. قراءة الأميتر (A).

6-5 قانونا كيرتشوف

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

القانون الأول لكيرتشوف:



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

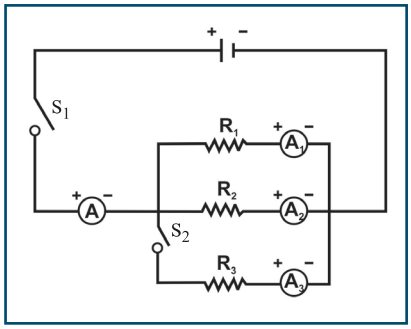
وحدة الزمن. وتُعرف هذه النتيجة بالقانون الأول لكيرتشوف، الذي ينص على أن: **(مجموع التيارات التي تدخل أية نقطة تفرع يساوي مجموع التيارات التي تخرج من نقطة التفرع)**. والصيغة الرياضية لقانون الأول لكيرتشوف هي:

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

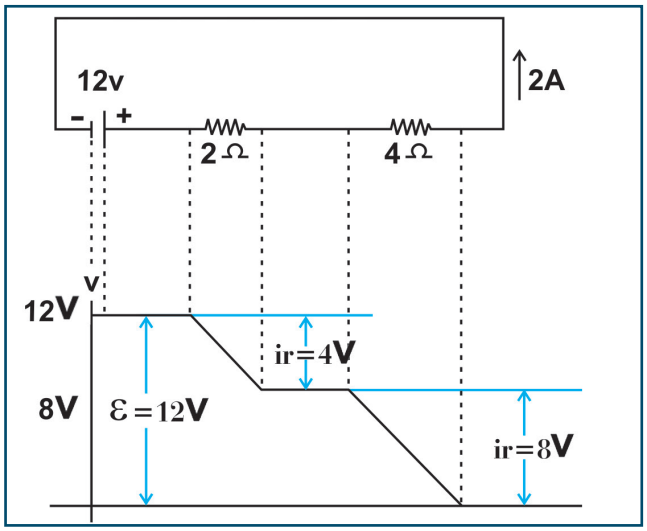
نشاط (5-1): القانون الأول لكيرتشوف

المواد والأدوات: مكونات الدارة في الشكل المجاور.

الخطوات:



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



القانون الثاني لكيرتشوف:

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

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

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

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

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

أي أن:

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

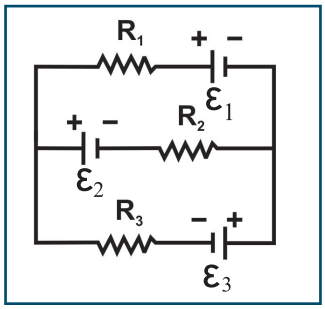
وتُعرف هذه النتيجة بالقانون الثاني لكيرتشوف الذي نصه: «مجموع تغيرات الجهد عبر حلقة مقفلة في الدارة الكهربائية يساوي صفراً». وهو يعبر عن قانون حفظ الطاقة.

لاستخدام قانوني كيرتشوف في حل المسائل، تتبع الخطوات الآتية:

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

نشاط (5-2): القانون الثاني لكيرتشوف

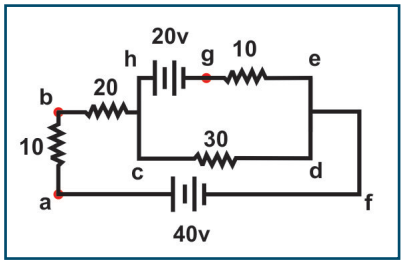
المواد والأدوات: مكونات الدارة في الشكل المجاور.



الخطوات:

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

مثال (10):

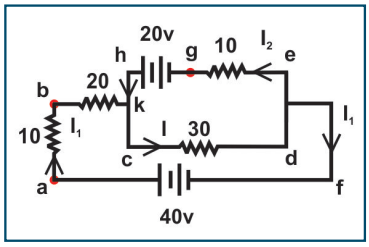


يمثل الشكل المجاور دارة كهربائية مغلقة، جد:

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):

$$\sum \Delta V \text{ حلقة} = 0$$

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

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

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

$$\sum \Delta V \text{ حلقة} = 0$$

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

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

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

$$\sum \Delta V \text{ حلقة} = 0$$

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

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

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

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

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

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

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

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

بتعويض قيمة (I) في المعادلة (3)، فإن:

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

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

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

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

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

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

مثال (11):

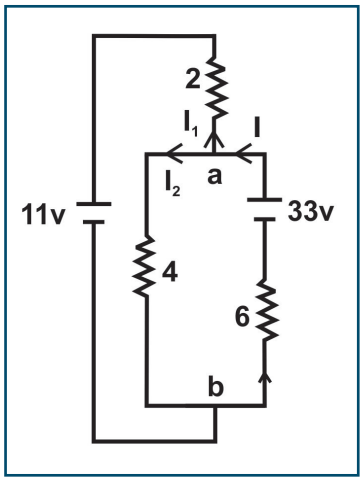
استخدم قانوني كيرتشوف لإثبات قانون حفظ الطاقة في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل الآتي:

الحل:

بتطبيق القانون الأول لكيرتشوف عند نقطة التفرع

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

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



بتطبيق القانون الثاني لكيرتشوف في الحلقة الأولى:

$$\sum \Delta V \text{ حلقة} = 0$$

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

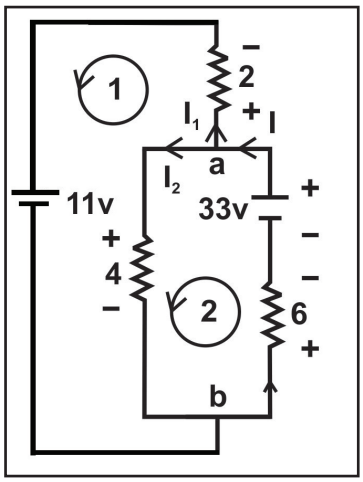
$$4 I_2 _ 2 I_1 = 11 \ldots (2)$$

بتطبيق القانون الثاني لكيرتشوف في الحلقة الثانية:

$$\sum \Delta V \text{ حلقة} = 0$$

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

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



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

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

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

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

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

$$12 I_2 _ 6 I_1 = 33$$

$$10 I_2 + 6 I_1 = 33$$

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

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

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

القدرة المستنفدة في الدارة:

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

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

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

أسئلة الفصل

س1: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

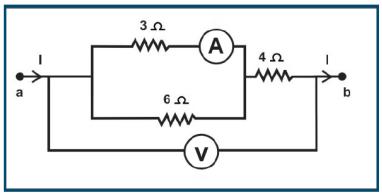
1. عند غلق دارة المصباح الكهربائي في المنزل، فإن الزمن اللازم لإضاءة المصباح يُحدّد:

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

ب- بالسرعة الانسياقية للإلكترونات الحرة في أسلاك التوصيل.

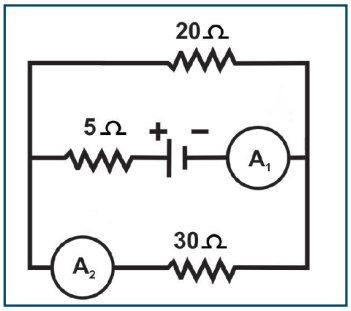
جـ- بسرعة انتشار خطوط المجال الكهربائي في أسلاك التوصيل.

د- بالإضاءة اللحظية للمصباح الكهربائي.



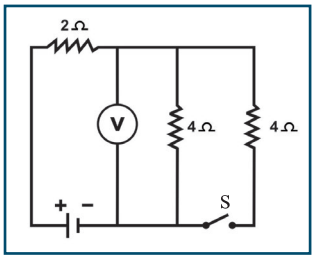
2. يمثل الشكل المجاور جزءاً من دارة كهربائية، إذا كانت قراءة الأميتر 2 A ، فما قراءة الفولتميتر؟

أ- 9 V ب- 12 V جـ- 18 V د- 24 V



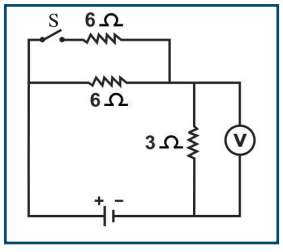
3. الدارة الكهربائية المجاورة، إذا كانت قراءة الأميتر (A_1) تساوي (5A)، فما قراءة الأميتر (A_2)؟

أ- 1.5 A ب- 2 A جـ- 2.5 A د- 3 A



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

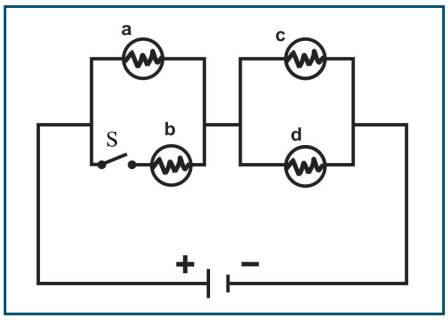
أ- 12 V ب- 14 V جـ- 16 V د- 18 V



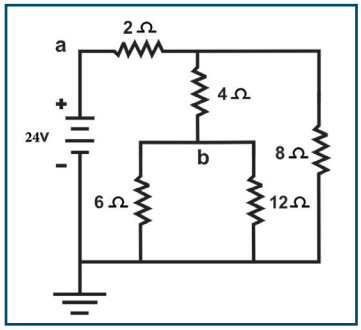
5. في الدارة الكهربائية المجاورة، إذا كانت قراءة الفولتميتر (30 V) والمفتاح (S) مفتوحاً، فكم تصبح قراءته عند غلق المفتاح؟

أ- 30 V ب- 35 V جـ- 40 V د- 45 V

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



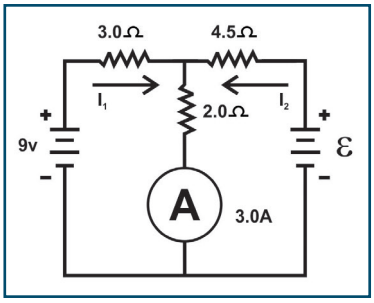
أ- (c)　　ب- (c ,a)　　جـ- (d ,c)　　د- (d ,c ,a)



س2: في الدارة الكهربائية المجاورة، جد:

أ- فرق الجهد بين النقطتين (a , b).

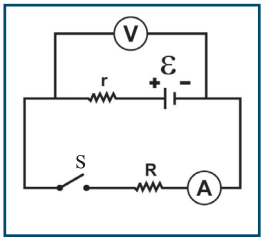
ب- جهد النقطة (b).



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

أ- شدة كل من التيارين (I_1, I_2).

ب- مقدار القوة الدافعة الكهربائية (ε).

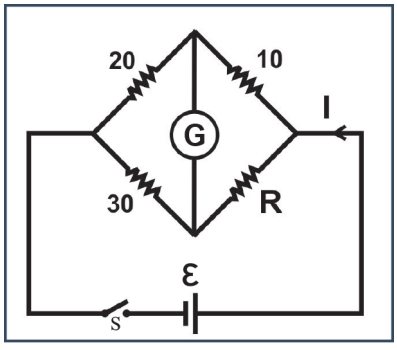


س4: في الدارة الكهربائية المجاورة، إذا كانت قراءة الفولتميتر والمفتاح (s) مفتوح تساوي (3.08 V)، وعند غلق المفتاح تصبح قراءته (2.97 V)، وقراءة الأميتر (1.65 A)، فاحسب:

أ- مقدار القوة الدافعة الكهربائية للبطارية (ε).

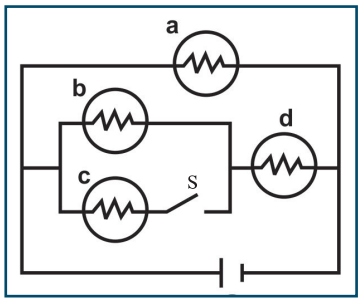
ب- مقدار المقاومة الداخلية للبطارية (r).

ج- مقدار المقاومة الخارجية (R).



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

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

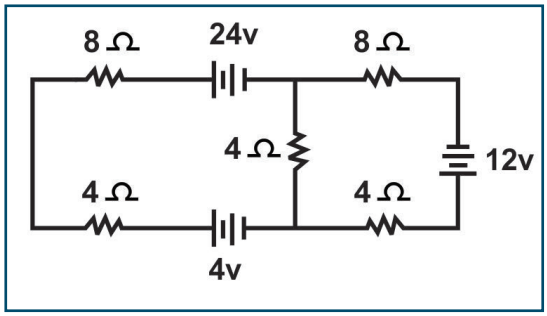


أ- هل يتغير جهد المصباح (a) عند إغلاق المفتاح؟ فسر إجابتك.

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

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

س7: في الدارة الكهربائية المجاورة، جد:

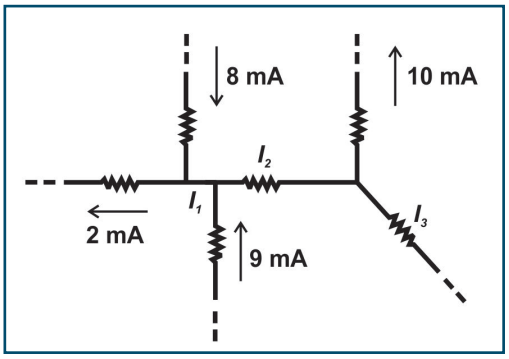


أ- شدة التيار المار في كل بطارية.

ب- القدرة المستنفدة في المقاومات والبطاريات.

ج- القدرة الداخلة في الدارة.

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

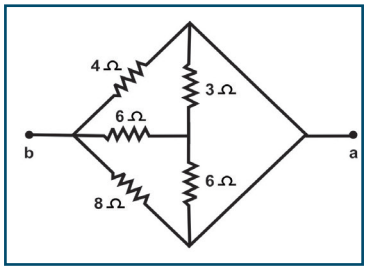


أسئلة الوحدة

س1: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

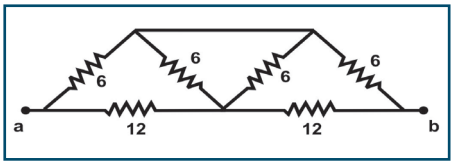
1. سلك فلزي مقاومته (R) ومساحة مقطعه العرضي (A) موصول بين نقطتين، فرق الجهد بينهما (V). إذا أعيد تشكيله ليزداد طوله إلى الضعف، فإن السرعة الانسياقية للإلكترونات الحرة فيه في هذه الحالة:

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



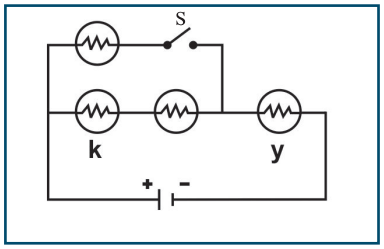
2. في الشكل المجاور، ما مقدار المقاومة المكافئة بين النقطتين (a ,b)؟

أ- 2 Ω ب- 3 Ω جـ- 4 Ω د- 6 Ω



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

أ- 4 Ω ب- 4.5 Ω جـ- 7.2 Ω د- 8 Ω



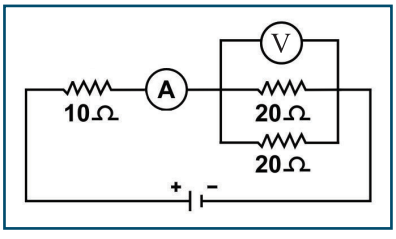
4. في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل المجاور، إذا علمت أن المصابيح متماثلة، فماذا يحصل لشدة إضاءة المصباحين (y ,k) عند غلق المفتاح (s)؟

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

ب- تقل شدة إضاءة المصباحين (y، k).

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

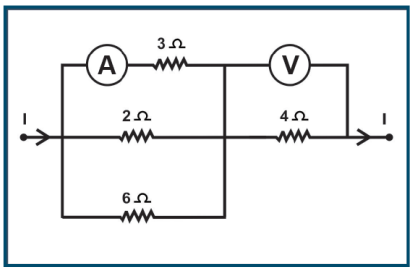
د- تزداد شدة إضاءة المصباح (y)، بينما تقل شدة إضاءة المصباح (k).



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

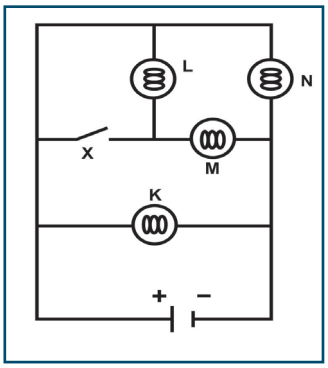
أ- 10 V ب- 20 V جـ- 30 V د- 40 V

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



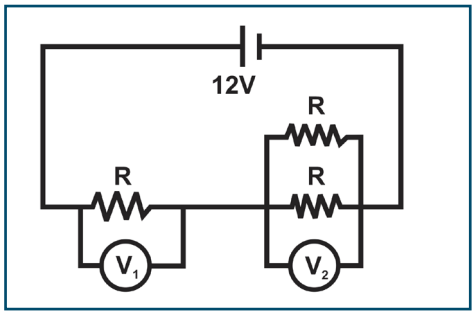
أ- 2A ب- 3 A جـ- 3.5 A د- 4.5 A

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



أ- L,M ب- M,N جـ- K,M د- M

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



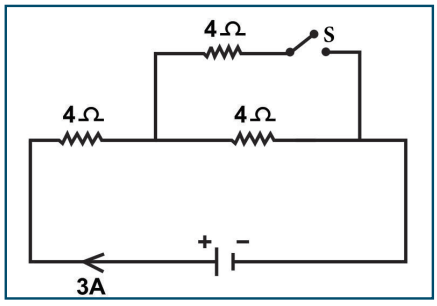
أ- $V_1 = 4\ V$ ، $V_2 = 8\ V$

ب- $V_1 = 6\ V$ ، $V_2 = 6\ V$

جـ- $V_1 = 8\ V$ ، $V_2 = 4\ V$

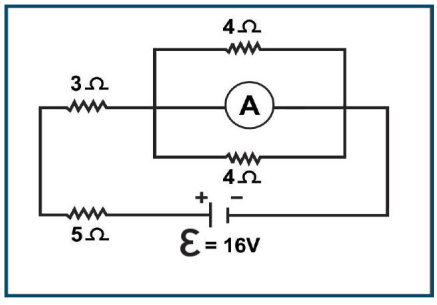
د- $V_1 = 9\ V$ ، $V_2 = 3\ V$

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



أ- 2 A ب- 3 A جـ- 4 A د- 5 A

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



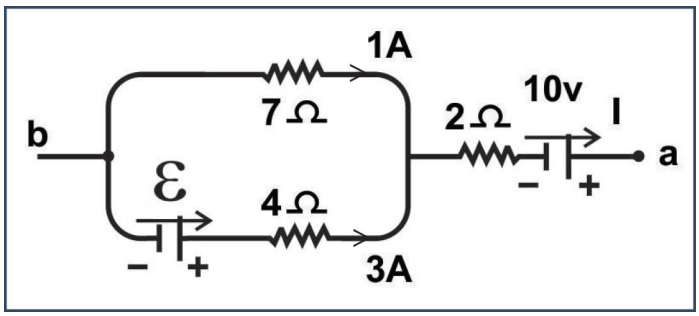
أ- 1 A ب- 1.2 A جـ- 1.6 A د- 2 A

س2: فسر ما يأتي:

أ- توصل الأجهزة في المنازل على التوازي.

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

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



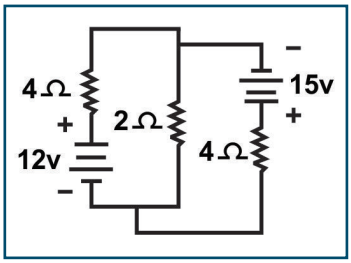
أ- فرق الجهد بين النقطتين (a ,b).

ب- مقدار القوة الدافعة الكهربائية (ε).

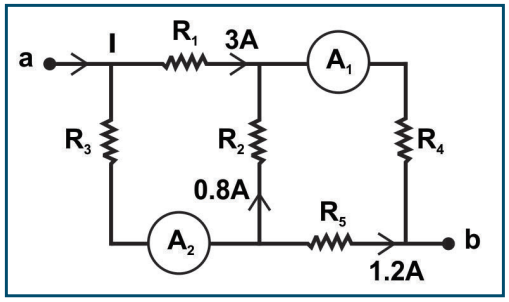
ج- القدرة الداخلة بين النقطتين (a ,b).

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

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



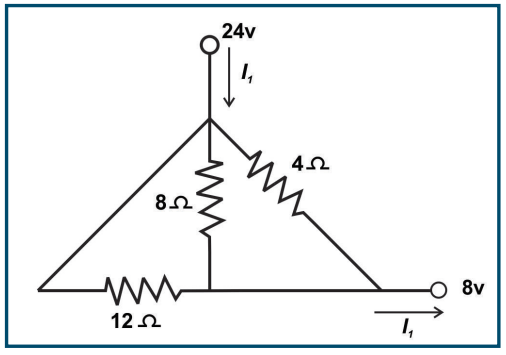
س5: يبين الشكل المجاور جزءاً من دارة كهربائية يسري فيها تيار كهربائي. إذا كان فرق الجهد بين النقطتين (a ,b) يساوي (60 V)، فجد:



أ. قراءة الأميترات (A_1, A_2).

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

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



أ- مقدار شدة التيار I_1.

ب- القدرة المستهلكة في المقاومة (4 Ω).