وزارة التربية

الفيزياء 10

الصف العاشر

الجزء الثاني

كتاب الطالب

المرحلة الثانوية

الطبعة الثانية

وزارة التربية

الفيزياء

كتاب الطالب

10

الصفّ العاشر

الجزء الثاني

المرحلة الثانويّة

اللجنة الإشرافية لدراسة ومواءمة سلسلة كتب العلوم

أ. برّاك مهدي برّاك (رئيسا)

أ. راشد طاهر الشمالي

أ. مصطفى محمد مصطفى علي

أ. فتوح عبد الله طاهر الشمالي

أ. سعاد عبد العزيز الرشود

أ. تهاني ذعار المطيري

الطبعة الثانية

1437 - 1438 هـ

2016 - 2017 م

فريق عمل دراسة ومواءمة كتب الفيزياء للصف العاشر الثانوي

أ. عاصي محمد نوري العاشور

أ. سامي عبد القوي محمد　　أ. عادل عبد العليم العوضي

أ. عنود محمد يوسف الكندري　　أ. عنود الطرقي حسيكان الذايدي

دار التَّربَويّون House of Education ش.م.م. وبيرسون إديوكيشن 2012

© جَميع الحقوق مَحفوظة: لا يَجوز نشْر أيّ جُزء من هذا الكِتاب أو تَصويره أو تَخزينه أو تَسجيله بأيّ وَسيلَة دُون مُوَافقَة خطّيَّة مِنَ النّاشِر.

الطبعة الأولى 2013/2012 م
الطبعة الثانية 2015/2014 م
2017/2016 م

صاحب السمو الشيخ صباح الأحمد الجابر الصباح

أمير دولة الكويت

سمو الشيخ نواف الأحمد الجابر الصباح

ولي عهد دولة الكويت

مقدمـــة

الحمدلله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيد المرسلين، محمد بن عبدالله وصحبه أجمعين.

عندما شرعت وزارة التربية في عملية تطوير المناهج، استندت في ذلك إلى جملة من الأسس والمرتكزات العلمية والفنية والمهنية، حيث راعت متطلبات الدولة وارتباط ذلك بسوق العمل، وحاجات المتعلمين والتطور المعرفي والعلمي، بالإضافة إلى جملة من التحديات التي تمثلت بالتحدي القيمي والاجتماعي والاقتصادي والتكنولوجي وغيرها، وإن كنا ندرك أن هذه الجوانب لها صلة وثيقة بالنظام التعليمي بشكل عام وليس المناهج بشكل خاص.

ومما يجب التأكيد عليه، أن المنهج عبارة عن كم الخبرات التربوية والتعليمية التي تُقدم للمتعلم، وهذا يرتبط أيضًا بعمليات التخطط والتنفيذ، والتي في محصلتها النهائية تأتي لتحقيق الأهداف التربوية، وعليه أصبحت عملية بناء المناهج الدراسية من أهم مكونات النظام التعليمي، لأنها تأتي في جانبين مهمين لقياس كفاءة النظام التعليمي، فهي من جهة تمثل أحد المدخلات الأساسية ومقياسًا أو معيارًا من معايير كفاءته من جهة أخرى، عدا أن المناهج تدخل في عملية إنماء شخصية المتعلم في جميع جوانبها الجسمية والعقلية والوجدانية والروحية والاجتماعية.

من جانب آخر، فنحن في قطاع البحوث التربوية والمناهج، عندما نبدأ في عملية تطوير المناهج الدراسية، ننطلق من كل الأسس والمرتكزات التي سبق ذكرها، بل إننا نراها محفزات واقعية تدفعنا لبذل قصارى جهدنا والمضي قدمًا في البحث في المستجدات التربوية سواء في شكل المناهج أم في مضامينها، وهذا ما قام به القطاع خلال السنوات الماضية، حيث البحث عن أفضل ما توصلت إليه عملية صناعة المناهج الدراسية، ومن ثم إعدادها وتأليفها وفق معايير عالمية استعدادًا لتطبيقها في البيئة التعليمية.

ولقد كانت مناهج العلوم والرياضيات من أول المناهج التي بدأنا بها عملية التطوير، إيمانًا بأهميتها وانطلاقًا من أنها ذات صفة عالمية، مع الأخذ بالحسبان خصوصية المجتمع الكويتي وبيئته المحلية، وعندما أدركنا أنها تتضمن جوانب عملية التعلم ونعني بذلك المعرفة والقيم والمهارات، قمنا بدراستها وجعلها تتوافق مع نظام التعليم في دولة الكويت، مركزين ليس فقط على الكتاب المقرر ولكن شمل ذلك طرائق وأساليب التدريس والبيئة التعليمية ودور المتعلم، مؤكدين على أهمية التكامل بين الجوانب العلمية والتطبيقية حتى تكون ذات طبيعة وظيفية مرتبطة بحياة المتعلم.

وفي ضوء ما سبق من معطيات وغيرها من الجوانب ذات الصفة التعليمية والتربوية تم اختيار سلسلة مناهج العلوم والرياضيات التي أكملناها بشكل ووقت مناسبين، ولنحقق نقلة نوعية في مناهج تلك المواد، وهذا كله تزامن مع عملية التقويم والقياس للأثر الذي تركته تلك المناهج، ومن ثم عمليات التعديل التي طرأت أثناء وبعد تنفيذها، مع التأكيد على الاستمرار في القياس المستمر والمتابعة الدائمة حتى تكون مناهجنا أكثر تفاعلية.

د. سعود هلال الحربي

الوكيل المساعد لقطاع البحوث التربوية والمناهج

المحتويات

الجزء الأوّل

الوحدة الأولى: الحركة

الوحدة الثانية: المادّة وخواصّها الميكانيكية

الجزء الثاني

الوحدة الثالثة: الاهتزاز والموجات

الوحدة الرابعة: الكهرباء الساكنة والتيّار المستمرّ

محتويات الجزء الثاني

الوحدة الثالثة: الاهتزاز والموجات	**12**
الفصل الأوّل: الموجات والصوت	**13**
الدرس 1–1: الحركة التوافقية البسيطة	**14**
الدرس 1–2: خصائص الحركة الموجية والصوت	**19**
مراجعة الوحدة الثالثة	**35**

الوحدة الرابعة: الكهرباء الساكنة والتيّار المستمرّ	**41**
الفصل الأوّل: الكهرباء الساكنة	**42**
الدرس 1–1: الشحنات والقوى الكهربائية (قانون كولوم)	**43**
الدرس 1–2: الموصّلات والعوازل وطرق الشحن	**49**
الدرس 1–3: الشحن بالتأثير (الحث) واستقطاب الشحنة	**52**
الفصل الثاني: التيّار الكهربائي والدوائر الكهربائية	**57**
الدرس 2–1: التيّار الكهربائي ومصدر الجهد	**58**
الدرس 2–2: المقاومة الكهربائية – قانون أوم	**62**
الدرس 2–3: القدرة الكهربائية	**67**
الدرس 2–4: الدوائر الكهربائية	**70**
مراجعة الوحدة الرابعة	**80**

الوحدة الثالثة

الاهتزاز والموجات
Oscillations and Waves

يُظهر اصطدام الموجات على الشاطئ الطاقة الكبيرة التي تنقلها الموجة من مكان إلى آخر .

اكتشف بنفسك

ما هي الموجات؟

لكي تعرف أسباب الموجة وخصائصها أجر النشاط التالي:

1. املأ وعاءً قليل الارتفاع بحوالى cm (3) من الماء .
2. بواسطة قلم رصاص ، المس سطح الماء مرّتين في الثانية لمدّة دقيقة . ارسم الشكل الذي تراه .
3. قم بزيادة عدد المرّات التي يلمس بها القلم سطح الماء في الثانية الواحدة . ارسم الشكل الذي تراه .

اعتمادًا على ملاحظتك:

1. قارن بين شكل الموجة التي أحدثتها في الخطوة 2 وشكل الموجة التي أحدثتها في الخطوة 3 .
2. ما هو السبب الرئيسي لحدوث الموجة؟
3. ما هي الخاصّة التي نتجت من حركة القلم عدّة مرّات في زمن محدّد؟
4. متى كانت قمم الموجات أقرب إلى بعضها؟ هل عندما كان عدد الاهتزازات في الثانية أكثر أم أقلّ؟
5. ما العلاقة التي يُمكن أن تستنتجها بين عدد الاهتزازات الحادثة خلال الثانية والمسافة بين قمّتين متتاليتين؟

فصول الوحدة

الفصل الأوّل

- الموجات والصوت

أهداف الوحدة

- يُعرّف الحركة التوافقية البسيطة ويصفها .
- يعدد بعض تطبيقات الحركة التوافقية البسيطة .
- يستنتج الخصائص العامّة للموجات .
- يُعرّف انعكاس الصوت وانكساره .
- يُعرّف تداخل الصوت وحيوده .
- يُعرّف الموجات الموقوفة (الساكنة) .
- يصف اهتزاز الأوتار ويذكر العوامل التي يتوقّف عليها تردّد الوتر المهتزّ .
- يصف اهتزاز الأعمدة الهوائية ويعرف الرنين .
- يكتسب مهارة القيام ببعض الأنشطة المخبرية .

معالم الوحدة

اكتشف بنفسك! ما هي الموجات؟

توظيف الفيزياء: اختصاصيّو الزلازل

العلوم والتكنولوجيا والمجتمع: تطبيقات على انعكاس الصوت

توظيف الفيزياء: ضابط الشرطة

العلوم والتكنولوجيا والمجتمع: صحّتك والضوضاء

توظيف الفيزياء: الخفّاش

توظيف الفيزياء: الفيزياء تُخفّف الضوضاء أو تُلغيها

نشاط إثرائي: الضربات

الاهتزازات تحمل طاقة

معظم الأشياء من حولنا تتذبذب وتهتزّ، حتّى الأشياء الصغيرة جدًّا مثل جزيئات المادّة تهتزّ وتحتاج إلى وقت لتتحرّك بين نقطتين. عندما تطرق جرس مثلًا، ستتابع الاهتزازات لفترة معيّنة قبل أن تتلاشى.

الموجة هي إنتقال الحركة الإهتزازية عبر جزيئات الوسط.
فالموجة تنتشر في وسط ما حيث تنتقل من مكان إلى آخر. عندما تتحرّك الموجة، ما الذي ينتقل بالفعل؟ هل تنتشر جزيئات الوسط المادّي؟ أم شيء آخر؟
إذا رميت حجرًا في بركة ماء ستُلاحظ تشكّل دوائر عند نقطة ملامسة الحجر للسطح، ثمّ تتّسع هذه الدوائر تدريجيًّا منتشرة في اتّجاه جوانب البركة، فهل تنتقل جزيئات الماء؟ بالطبع لا تنتقل جزيئات الوسط، ولكنّ طاقة الاضطراب الحاصل في الوسط هي التي تنتقل من مكان إلى آخر.
تجدر الإشارة إلى أنّ الصوت والضوء هما شكلان من أشكال الطاقة التي تنتشر في الوسط بشكل موجي.

في هذا الفصل، سوف نشرح خصائص الموجات بشكل عامّ، من انتشار وانعكاس وانكسار وحيود وتداخل. وسنتطرّق إلى الصوت كتطبيق خاصّ على الموجات، وسنُعيّن سرعته، من اهتزاز الأوتار والرنين في الأعمدة الهوائية، من خلال تجارب وأنشطة وعلاقات فيزيائية بسيطة.

دروس الفصل

الدرس الأوّل
- الحركة التوافقية البسيطة

الدرس الثاني
- خصائص الحركة الموجية والصوت

الدرس 1-1

الحركة التوافقية البسيطة
Simple Harmonic Motion

الأهداف العامة

- يُعرّف الحركة التوافقية البسيطة ويصفها.
- يتعرّف بعض تطبيقات الحركة التوافقية البسيطة.
- يستنتج العلاقة بين الجانب المعرفي للعلوم والجانب التطبيقي منها وأهميّتها في تنمية المجتمع.

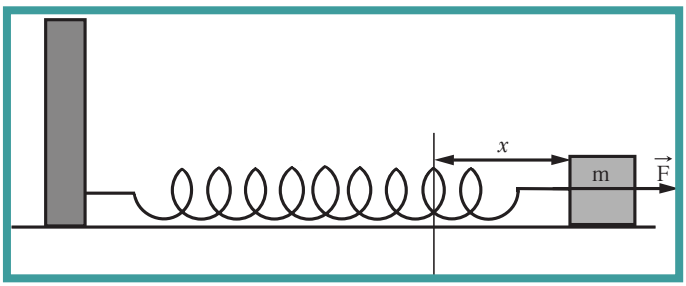
درسنا في سياق سابق أنّ بعض أنواع الحركة قد يُكرر نفسه، مثل حركة أرجوحة الأطفال أو حركة أوتار الآلات الموسيقية. وقد عرّفنا هذه الحركة بالحركة الاهتزازية (Oscillatory motion)، وعرّفنا **الحركة الاهتزازية التي تُكرر نفسها في فترات زمنية متساوية بالحركة الدورية Periodic motion**.

لكن ما هي الحركة التوافقية البسيطة؟ وهل كلّ حركة دورية اهتزازية تُعَدّ حركة توافقية بسيطة؟

في هذا الدرس، سنُجيب عن هذه الأسئلة وسنُعرّف الحركة التوافقية البسيطة ونُمثّلها بيانيًّا ونذكر خصائصها.

1. الحركة التوافقية البسيطة
Simple Harmonic Motion

لنأخذ جسمًا كتلته (m) ونربطه بنهاية نابض ليتحرّك على سطح أفقي أملس كما في (شكل 1).



(شكل 1)

عندما نقوم بشدّ الكتلة بقوّة ($\vec{F}$) فإنّها تتحرّك مبتعدة عن موضع الاتّزان ويستطيل النابض بإزاحة مقدارها (x) عن موضع الاتّزان. وعندما نترك الجسم، يُؤثّر النابض على الكتلة بقوّة تُسمّى قوّة الإرجاع Restoring force ليُعيدها إلى موضع الاتّزان.

وتكون قوّة الارجاع مساوية للقوّة المؤثّرة من حيث المقدار وعكسها من حيث الاتّجاه، كما أنّ هذه القوّة تتناسب طرديًّا مع إزاحة الجسم المهتزّ. تتكرّر هذه الحركة في فترات زمنية متساوية وتستمرّ في غياب الاحتكاك فوق السطح الأملس بسبب قوّة الإرجاع تلك تنشأ حركة اهتزازية تُسمّى الحركة التوافقية البسيطة.

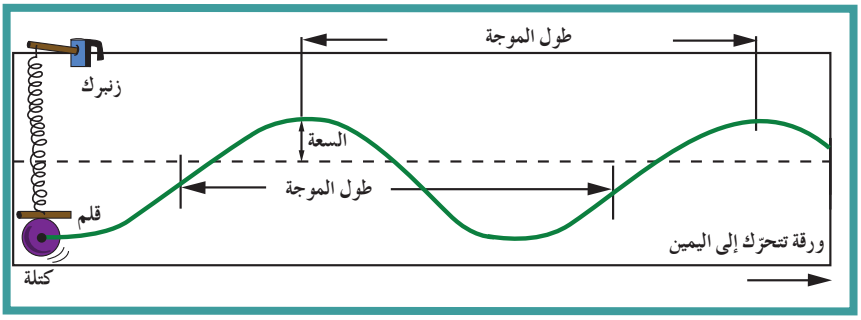
لذا يُمكن تعريف **الحركة التوافقية البسيطة Simple harmonic motion بأنّها حركة اهتزازية تتناسب فيها القوّة المعيدة (قوة الإرجاع) طرديًّا مع الإزاحة الحادثة للجسم وتكون دائماً في اتّجاه معاكس لها (عند إهمال الاحتكاك).**

1.1 تمثيل الحركة التوافقية البسيطة بيانيًّا

Graphic Representation of the Harmonic Motion

اربط كتلة مثبت بها قلم بنابض معلّق بشكل رأسي بحيث إنّ القلم الموجود في الكتلة قادر على تكوين رسم بياني على ورقة موضوعة قرب النظام ،ويُمكن سحبها بشكل أفقي وبسرعة ثابتة كما في (شكل 2).

اسحب الكتلة نحو الأسفل بإزاحة محدّدة واتركها لتهتزّ حول موضع الاتّزان.



(شكل 2)

ستُلاحظ أنّ القلم قد رسم على الورقة رسمًا بيانيًّا للعلاقة بين المسافة والزمن، يتّخذ شكل منحنى جيبي بسيط. وعليه، يمكننا أن نقول أنّ الحركة التوافقية البسيطة هي الحركة التي تُمثَّل بمنحنى جيبي بسيط.

2.1 خصائص الحركة التوافقية البسيطة

Characteristics of the Simple Harmonic Motion

من خلال (شكل 2) الذي يُمثّل الحركة التوافقية البسيطة، يُمكننا أن نستنتج خصائص الحركة التوافقية البسيطة وهي:

- **السعة A: هي نصف المسافة التي تفصل بين أبعد نقطتين يصل إليهما الجسم المهتز، أي أكبر إزاحة للجسم عن موضع سكونه (إتزانه).**
- **التردّد f: هو عدد الاهتزازات الكاملة الحادثة في الثانية الواحدة ويُقاس بوحدة الهرتز Hz.**

- **الزمن الدوري T: هو زمن دورة كاملة ويُقاس بحسب النظام الدولي (SI) بوحدة الثانية.** أظهرت التجارب أنّه يُمكن احتساب الزمن الدوري باستخدام العلاقة التالية:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

علمًا أنّ m هي كتلة الجسم و k هو ثابت هوك.

- **السرعة الزاوية ω: وهي مقدار الزاوية التي يمسحها نصف القطر في الثانية الواحدة. (وتقاس بوحدة rad/s)**
- **زاوية الطور ϕ: وهي الإزاحة الدائرية في لحظة $t = 0$.**

اعتمادًا على الرسم البياني للإزاحة والزمن، ومن شكل اقتران الجيب الذي ندرسه في الرياضيات تُكتَب معادلة الإزاحة في الحركة التوافقية البسيطة على النحو التالي: $y = A \sin(\omega t + \phi)$

مثال (1)

يتحرّك جسم بحركة توافقية بسيطة وتُعطى إزاحته (cm) بالعلاقة التالية: $y = 15\sin(10t + \pi/4)$. حيث تقاس الأبعاد بوحدة (cm) والأزمنة (s) والزوايا (rad)

احسب: (أ) السعة (ب) التردّد (جـ) الزمن الدوري

طريقة التفكير في الحلّ

1. **حلّل:** اذكر المعلوم وغير المعلوم.

المعلوم: الإزاحة بالنسبة إلى الزمن

غير المعلوم: (أ) السعة: $A = ?$ (ب) التردّد: $f = ?$

(جـ) الزمن الدوري: $T = ?$

2. **احسب غير المعلوم:**

بالمقارنة مع المعادلة العامّة يُمكن أن نستنتج أنّ:

(أ) السعة: $A = 15\,cm$

(ب) التردّد: $\omega = 2\pi f \Rightarrow f = \frac{10}{2\pi} = \frac{5}{\pi}\,Hz$

(جـ) الزمن الدوري: $T = ?$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{\pi}{5}\,s$$

3. **قيّم:** هل النتيجة مقبولة؟

نعم، يمكن تحقيق النتائج عمليًّا.

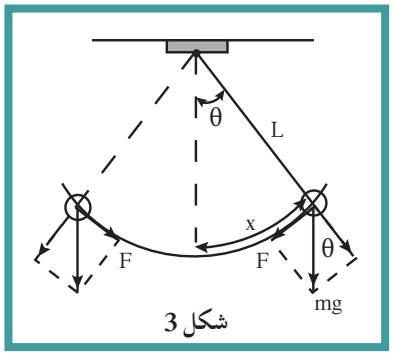
نشاط توضيحي

- اربط ثقلًا في نهاية خيط طوله حوالى 1 m.
- حرّك الخيط ذهابًا وإيابًا تحصل على بندول بسيط.
- عيّن التردّد والزمن الدوري كما يلي:
- احسب زمن 10 ذبذبات كاملة مثلًا.
- كرّر باحتساب زمن 20 ذبذبة كاملة أيضًا. ستجد في كلّ الأحوال أنّ زمن الذبذبة الواحدة ثابت، وذلك بقسمة الزمن الكليّ على عدد الذبذبات الكاملة.
- أضف ثقلًا جديدًا إلى الثقل الأصلي للبندول من دون تغيير طول خيط البندول.
- احسب الزمن الدوري وزمن الذبذبة، ستجد أنّه ثابت ولا يتوقّف على الثقل. ثمّ احسب التردّد وهو مقلوب الزمن الدوري.

هل تعلم؟

أوّل من اخترع البندول المُستخدَم في الساعة هو أبو سعيد بن يونس المصري، حوالى عام 1000م. وأوّل ساعة بندولية اخترعها الهولندي كريستان هايغنز عام 1657م.

3.1 تطبيقات عملية للحركة التوافقية البسيطة



شكل 3

البندول البسيط عبارة عن ثقل معلّق في نهاية خيط مهمل الوزن وغير قابل للتمدّد طوله L، ويكون طرفه الآخر مثبّتًا بنقطة ثابتة الشكل (شكل 3).
نُحرّك الثقل حركة بسيطة لا تبعد كثيرًا عن موضع الإتزان (لا تزيد عن 10^{o}) وندعه يعود إلى موضع الاتّزان تحت تأثير مركبة الثقل التي تُساوي قيمتها $F = -mg\sin\theta$، وذلك لأن قوّة شدّ الخيط متعامدة مع اتّجاه الحركة، والمركبة سالبة لأنّ مركبة القوّة تكون دائمًا باتّجاه عكس الإزاحة x. فنجد أنّ القوّة المحرّكة للبندول البسيط تُشبه القوّة المحرّكة لنظام الكتلة والنابض. لذلك، فإنّ حركة البندول هي حركة توافقية بسيطة في غياب أيّ احتكاك.
يُمكن التحقّق من الزمن الدوري للبندول البسيط عبر احتسابه باستخدام القاعدة الرياضية التالية:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

علمًا أنّ L تُساوي طول الخيط وg عجلة الجاذبية الأرضية.
من خلال العلاقة السابقة، نجد أنّ الزمن الدوري لا يتأثّر بكتلة ثقل البندول ولكنّه يتأثّر بطوله. كذلك لا يتأثّر الزمن الدوري بسعة الحركة شرط ألّا تزيد زاوية الاهتزاز عن عشر درجات.

مثال (2)

احسب الزمن الدوري لبندول بسيط طوله (20) cm علمًا بأن عجلة الجاذبية الأرضية تُساوي $(10)\ m/s^2$.

طريقة التفكير في الحلّ

1. **حلّل:** اذكر المعلوم وغير المعلوم.
المعلوم: طول الخيط: $L = 20\ cm$
عجلة الجاذبية الارضية: $g = 10\ m/s^2$
غير المعلوم: الزمن الدوري: $T = ?$
2. **احسب غير المعلوم:**
باستخدام العلاقة الرياضية التالية: $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$
وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:
$T = 2 \times 3.14 \times \sqrt{0.2/10} = 0.89\ s$
3. **قيّم:** هل النتيجة مقبولة؟
نعم إذا تمّت مقارنتها مع النتائج في المختبر.

أسئلة تطبيقية وحلّها

1. عُلّق جسم كتلته (200)g بنابض معلّق رأسيًّا، وحينما اتّزن الجسم سُحب ثمّ تُرِك ليهتزّ، فأكمل (40) اهتزازة خلال (4) ثوانٍ. إذا علمت أنّ عجلة الجاذبية الأرضية تساوي $10m/s^2$، احسب:
(أ) تردّد النابض
(ب) الزمن الدوري للنابض
(جـ) ثابت النابض
النتائج: (أ) 10Hz
(ب) 0.1 s
(جـ) 800 N/m
2. تحرّك جسم حركة توافقية بسيطة حسب العلاقة:
$y = 5\sin(100\pi t)$
حيث تقاس الأبعاد بوحدة (m)، الأزمنة (s)، الزوايا (rad).
احسب:
(أ) زاوية الطور
(ب) السرعة الزاوية
(جـ) التردّد
النتائج: (أ) $\phi = 0$
(ب) $\omega = 100\pi$ rad/s
(جـ) $f = (50)$Hz

مراجعة الدرس 1-1

أوّلًا – عرّف المصطلحات التالية:
الحركة التوافقية البسيطة – سعة الإهتزازة– التردّد – الزمن الدوري

ثانيًا – احسب الزمن الدوري لجسم يهتزّ بتردّد (100)Hz .

ثالثًا – بندول بسيط طول خيطه (1)m وكتلة كرته (50)g ، احسب:
(أ) الزمن الدوري لحركة البندول
(ب) الزمن الدوري للبندول إذا زادت كتلة الكرة إلى المثلين
(جـ) الزمن الدوري للبندول إذا وُضِع على كوكب آخر عجلة جاذبيته خمسة أمثال عجلة جاذبية الأرض

رابعًا – عُلِّق جسم كتلته (200)g بنابض ثابت القوة لمرونته $k = 100\,N/m$. سحب الجسم رأسيًا لأسفل مسافة (10)cm عن موضع إتزانه وتُرك ليتحرك حركة توافقية بسيطة . احسب الزمن الدوري لهذه الحركة .

خامسًا – إذا أُعطِيت استخدامهم من كرة معدنية وخيطًا رفيعًا وساعة إيقاف ، اشرح كيف يُمكنك حساب عجلة الجاذبية الأرضية .

سادسًا – عُلِّقت كتلة غير معلومة بنابض ثابت مرونته (200)N/m وتُركت لتهتزّ بحركة توافقية بسيطة . احسب مقدار هذه الكتلة إذا كان التردّد يُساوي (6)Hz .

الدرس 1-2

خصائص الحركة الموجية والصوت
Characteristics of Wave Motion and Sound

الأهداف العامة

- يتعرّف الخصائص العامّة للموجات .
- يُعرّف معنى انعكاس الصوت وانكساره .
- يُعرّف معنى تراكب الصوت وتداخله وحيوده .
- يُعرّف الموجات الموقوفة (الساكنة) .
- يُدرك اهتزاز الأوتار والعوامل التي يتوقّف عليها تردّد الوتر المهتزّ .
- يُعرّف اهتزاز الأعمدة الهوائية ومعنى الرنين في الصوت.
- يكتسب مهارة القيام ببعض الأنشطة البسيطة مثل: تحقيق قانون انعكاس الصوت ؛ بيان تداخل الصوت والموجات الموقوفة ؛ تعيين سرعة الصوت باستخدام الرنين في الأعمدة الهوائية .

إذا تأمّلنا من حولنا لوجدنا يوميًّا الكثير من الظواهر الموجية، ابتداءً من اضطراب سطح الماء الساكن عند إلقاء حجر فيه وصولًا إلى حركة أمواج البحار . كما أنّ معظم المعلومات تصلنا على شكل موجات تنقل الطاقة من المصدر المهتزّ إلى المستقبِل البعيد . يحدث ذلك من دون انتقال المادّة وبسرعة تعتمد على نوع الموجة والوسط الذي تنتقل خلاله . فالصوت عبارة عن طاقة تصل أذننا على شكل موجة ميكانيكية، والضوء طاقة تلتقطها أعيننا على شكل موجة كهرومغناطيسية وكذلك الإشارات التي تستقبلها أجهزة الراديو والتلفاز تنتقل على شكل موجات كهرومغناطيسية .

في هذا الدرس، سنتعلّم خصائص الموجات بشكل عامّ، والموجات الصوتية بشكل خاصّ . وسندرس كيفية توليد الموجات الموقوفة في الأوتار المهتزّة والأعمدة الهوائية .

1. خصائص الموجات Characteristics of Waves

تنتشر الموجات في خطّ مستقيم وفي جميع الاتّجاهات .

بغضّ النظر عن نوع الوسط، فإنّ سرعة انتشار الموجة وتردّدها وطولها الموجي ترتبط معًا بالمعادلة التالية:

سرعة الموجة = الطول الموجي × التردّد

أي $\boxed{v = \lambda . f}$

هناك نوعان من الموجات: منها ما يُسمّى **بالموجات المستعرضة Transverse waves بحيث تكون حركة جزئيات الوسط عمودية على إتجاه إنتشار الموجة كالموجات المائية**، ومنها ما يُسمّى **بالموجات الطولية Longitudinal waves حيث تتحرّك جزئيات الوسط من نفس إتجاه إنتشار الموجة . وتنتشر على هيئة تضاغطات وتخلخلات.**

توظيف الفيزياء

اختصاصيّو الزلازل

عندما يحدث زلزال، فإنّ انطلاق الطاقة المفاجئ يُحدث موجات . يدرس اختصاصيو الزلازل هذه الموجات لمعرفة مكان الزلزال واحتساب شدّته، فيقارنون بين سرعة الموجة الطولية الأوّلية والموجة المستعرضة الثانوية وسعتيهما . يُمكن لاختصاصي الزلازل وصف الزلازل، والتعرّف على نشأة الأرض، والتنبّؤ بحدوث زلازل في المستقبل .

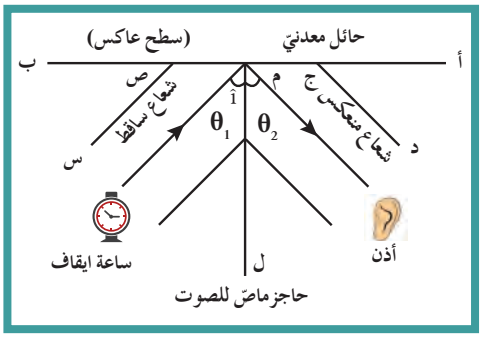
- تنعكس الموجات على السطوح العاكسة محققة قوانين الانعكاس.
- تنكسر الموجات عند إنتقالها بين وسطين مختلفين محققة قوانين الانكسار.
- من خصائص الموجات ما يُعرف بالتراكب والتداخل والحيود. سوف نتطرّق إلى هذه الظواهر في سياق هذا الدرس.

2. انعكاس الصوت وانكساره
Sound Refraction and Diffraction

يُعرَف الصوت عادة بأنّه أيّ اضطراب ينتقل في الوسط نتيجة إهتزازه. بحيث تتحرّك طبلة الأذن على شكل اهتزازات تنتقل بعد تكبيرها عن طريق العصب السمعي إلى المخّ الذي يُترجم هذه الاهتزازات إلى أصواتها الأصلية. والصوت موجات طولية ميكانيكية لا يُمكن أن تحدث إلّا في وجود وسط ناقل للموجات. ومن الظواهر التي تُميّز الصوت أثناء انتقاله نذكر الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود.

1.2 انعكاس الصوت Sound Reflection

هو ارتداد الصوت عندما يُقابل سطحًا عاكسًا. يحدث انعكاس الصوت عادة عندما تصل الموجات الصوتية إلى السطح الفاصل بين وسطين، فتنقسم الطاقة الصوتية عند السطح الفاصل إلى ثلاثة أقسام: قسم منها ينفذ في الوسط الجديد ويُعاني انكسارًا نتيجة لانتقاله من وسط إلى آخر، وقسم ينعكس عن السطح الفاصل بزاوية مساوية لزاوية السقوط، حيث ترتدّ الموجات الصوتية إلى الوسط الذي جاءت منه، وقسم ثالث يُمتَصّ. في ما يتعلّق بالقسم الذي ينعكس (شكل 4)، كلّما كان الوسط الجديد صلبًا، زاد القسم المنعكس من الطاقة الصوتية مثل الحديد والخشب. أمّا إذا كان الوسط الجديد من الصوف أو القماش، فإنّ معظم الطاقة الصوتية تُمتَصّ بهذه الموادّ.



(شكل 4)

قانونا انعكاس الصوت

1. **الشعاع الصوتي الساقط والشعاع الصوتي المنعكس والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس.**
2. **زاوية السقوط تُساوي زاوية الانعكاس أي $[\theta_1 = \theta_2]$.**

توظيف الفيزياء

ضابط الشرطة

ضبّاط الشرطة مسؤولون عن حماية الناس من المجرمين، وضبط سائقي السيّارات الذين يُخالفون حدود السرعة وذلك باستخدام أجهزة الرادار، ويتمّ ذلك بإرسال موجات في اتّجاه السيّارات لاحتساب سرعتها. ويُمكن لضابط الشرطة أيضًا معرفة مدى التزام السائق بالسرعات المحدّدة على الطرقات.

العلوم والتكنولوجيا والمجتمع

صحّتك والضوضاء

نحن نُحاول حماية أعيننا من الضوء الشديد، ولكن لا نُعير مثل هذا الاهتمام لآذاننا. فقرب الأذن من مكبّرات الصوت في الحفلات الصاخبة يُسبّب آلامًا شديدة للأذن، وقد تفقد الأذن الحساسية في تمييز الأصوات المختلفة.

وفي مجال الصناعة، قد تتأذّى الأذن بسبب المحرّكات والمطارق والمناشير التي تُصدر أصواتًا مستمرّة عالية الشدّة، أي طاقات عالية يُمكن أن تُدمّر خلايا الأذن الداخلية التي لا يُمكن تعويضها.

2.2 تطبيقات على انعكاس الصوت

(أ) ظاهرة الصدى

هل وقفت مرّة في مكان فسيح، وتكلّمت بصوت عالٍ وسمعت صوتك يعود إليك مرةً ثانية؟ هل صرخت مرّة بصوت عالٍ أمام مبنىً كبير بعيد عنك؟ عودة الصوت مرّة ثانية إليك وسماعه بعد انعكاسه تُسمّى ظاهرة صدى الصوت.

ويُعرَف الصدى بأنّه تكرار سماع للصوت الأصلي نتيجة لانعكاس الموجات الصوتية، ويُسمَع بوضوح بعد زوال التأثير الذي يُحدثه الصوت الأصلي على الأذن.

شرط تمييز (سماع) صدى الصوت

حيث إنّ الإحساس بالصوت في الأذن يستمرّ لمدّة $\left(\frac{1}{10}\right)$ s بعد وصول الصوت إلى طبلة الأذن، فإذا وصل الصوت المنعكس إلى الأذن في زمن أقلّ من $\left(\frac{1}{10}\right)$ s بعد وصول الصوت الأصلي إليها، لا تستطيع الأذن العادية تمييز الصوت الأصلي عن الصوت المنعكس.

أمّا إذا وصلت الموجات الصوتية المنعكسة إلى الأذن بعد زمن يزيد عن $\left(\frac{1}{10}\right)$ s على وصول الصوت الأصلي إليها، فإنّ تأثير الصوت الأصلي يكون قد زال من الأذن ونسمع الصوت المنعكس بوضوح.

وحيث إنّ سرعة الصوت في درجة الحرارة العادية (20)°C تُساوي (340) m/s تقريبًا، فإنّ المسافة التي يقطعها الصوت خلال $\left(\frac{1}{10}\right)$ s تُعادل

$340 \times \frac{1}{10} = (34)$ m، أي أنّ البعد بين السامع (الأذن) والسطح العاكس يجب ألّا يقلّ عن $\frac{34}{2}$ أي (17)m (تساوي المسافة ذهابًا وإيابًا 34 m).

أمّا إذا كانت المسافة بين الأذن والسطح العاكس أقلّ من (17)m، فلن نسمع صدى الصوت بوضوح. تتغيّر هذه المسافة بتغيّر سرعة الصوت نتيجة تغيّر درجة الحرارة.

(ب) تسليط أو تركيز الصوت

عندما ينعكس الصوت عن سطح مقعّر فإنّه يتجمّع في بؤرة (مثل الضوء)، وذلك يزيد من وضوح الصوت وشدّته. ويجب ألّا يتجاوز مساحة السطح المقعّر حدًّا معينًا لمنع حدوث التشويش للصوت نتيجة انعكاسه عليه.

ويتمّ تزويد المسارح والقاعات الكبيرة بجدران خلفية مقعّرة لعكس الأصوات التي ترتدّ إلى الصالة أو القاعة وتزيد وضوح الصوت. وقد استخدم المهندسون المسلمون قديمًا هذه الخاصّية لتقوية الصوت خاصّة في أيّام الجمع والأعياد لنقل صوت الخطيب والإمام إلى جميع أنحاء المسجد. وقد حدث ذلك في المسجد الكبير، فسقفه وجدرانه مقعّرة بحيث يضمن توزيع الصوت على كافة أنحاء المسجد بوضوح.

(جـ) نقل الصوت بالأنابيب

يتمّ ذلك بهدف جمع الطاقة الصوتية ونقلها باستخدام موادّ ذات معاملات امتصاص صغيرة، من أجل تقليل الطاقة الصوتية التي تمتصّها جدران الأنابيب، ومن تطبيقات هذه الخاصّية سمّاعة الطبيب والبوق.

توظيف الفيزياء

الخفّاش

يستخدم الخفّاش الأمواج الصوتية المنعكسة (الصدى) لاصطياد الحشرات، وذلك بإرسال موجات صوتية في اتّجاه الحشرات واستقبالها بعد انعكاسها، فيُحدّد مكانها ويسهل عليه اصطيادها (نهارًا أو ليلًا).

إثراء

الصوتيات المعمارية (هندسة الصوت)

ذكرنا في ما سبق أنّ تأثير الصوت على أذن الإنسان السليم يستمرّ $\left(\frac{1}{10}\right)$s بعد انتهاء الصوت. إذا كانت جملة صوتية لمدّة (0.5)s، فإنّ تأثيرها على أذن السامع يستمرّ لمدّة (0.6)s = 0.5 + 0.1. وإذا كانت سرعة الصوت على درجة حرارة المكان تُساوي (340)m/s، فإنّ الصوت يقطع خلال فترة التأثير على الأذن مسافة تُساوي:

$0.6 \times 340 = (204)\text{m}$.

لنفترض أنّ مصدر الصوت يحدث في قاعة طولها $\frac{204}{2} = (102)\text{m}$ أو أكثر. في هذه الحالة، نسمع صدى الصوت واضحًا للجملة الصوتية. أمّا إذا كان طول القاعة أقلّ من (102)m، فيحدث تشويش وتداخل بين أوّل الجملة الصوتية وآخرها، ولا يُمكننا تمييز صدى الصوت بوضوح، فيحدث ما يُسمّى بترديد الصوت.

لذلك نجد أنّ المهندسين المعماريين يُحاولون التخلّص من هذا التشويش الذي يُسبّب عدم وضوح الصوت، ويعود ذلك إلى زمن الترديد، وهو الزمن اللازم لانخفاض شدّة الصوت إلى (10^{-6}) من قيمته الأصلية، والذي على أساسه تتميّز القاعات والمسارح صوتيًّا. ويعتمد زمن ترديد الصوت في قاعة ما على حجم القاعة وشكلها ومساحة جدرانها، وعلى قدرتها على امتصاص الصوت، وعلى الغرض الذي تُستخدَم فيه القاعة. مثلًا، في حالة استخدام مكبّرات الصوت في صالة احتفالات، يكون زمن الترديد (1)s. وفي المسارح يصل زمن الترديد إلى (2.5)s.

ويُمكن تصحيح الهندسة الصوتية لقاعة ما باستخدام ألواح من مادّة ماصّة للصوت (شكل 5)، مثل الفلين والجبس والنسيج الزجاجي. توضَع هذه المادّة على السقف والجدران لتقليل ترديد الصوت وتحسين الحالة الصوتية. لكن ترديد الصوت غير مستحبّ في استديوهات الإذاعة والتسجيل، لذلك تُستخدَم غرف تُسمّى غرفًا ماصّة للصوت أو غرفًا صمّاء.

(شكل 5)
ماصّ للصوت من مادّة البولي يوريتاين

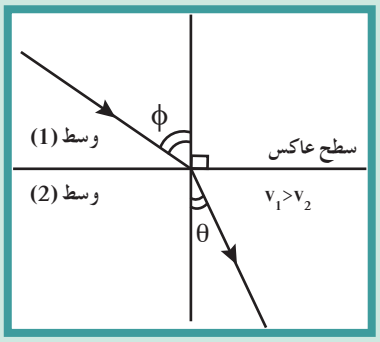
3.2 انكسار الصوت Sound Refraction

انكسار الصوت هو التغيير في مسار الموجات الصوتية عند انتقالها بين وسطين مختلفي الكثافة مثل الهواء وثاني أكسيد الكربون. ويحدث انكسار الصوت نتيجة اختلاف سرعتي الصوت في الوسطين، أي أنّ:

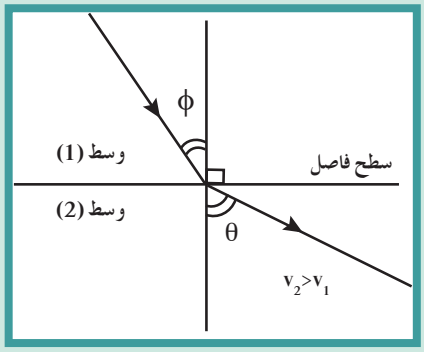
$$\frac{\sin\phi}{\sin\theta} = \frac{v_1}{v_2}$$

ومن خلال (شكل 6) نجد أنّ: $(\phi > \theta)$

ينكسر الشعاع الساقط مقتربًا من العمود المقام على السطح الفاصل، وذلك عندما تكون سرعة الصوت في الوسط الأوّل (v_1) أكبر من سرعته في الوسط الثاني (v_2).



(شكل 6)



(شكل 7)

ويحدث العكس في (شكل 7) حيث ينكسر الشعاع الساقط مبتعدًا عن العمود على السطح الفاصل وذلك عندما تكون سرعة الصوت في الوسط الأوّل (v_1) أقلّ من سرعته في الوسط الثاني (v_2).

تحدث ظاهرة الانكسار في الهواء الذي يحيط بسطح الأرض لأنّه غير متجانس الحرارة.

فدرجة حرارته قرب السطح تكون في النهار أكبر من درجة حرارة الطبقات العليا والعكس في الليل. نتيجة لذلك، تكون سرعة الصوت مختلفة بين طبقات الهواء ذات الدرجات الحرارية المختلفة، فيحدث انكسار لموجات الصوت كما في (شكل 8) حيث سرعة انتشار الصوت في الهواء الساخن أكبر منها في الهواء البارد. لذلك، يستطيع الأولاد سماع الصوت الصادر من السيّارة في الليل من مسافة بعيدة ولا يستطيعون سماعه في النهار.

ملاحظة: يُمكن للصوت أن ينكسر بتأثير الرياح أيضًا.

أثناء النهار

أثناء المساء (الليل)

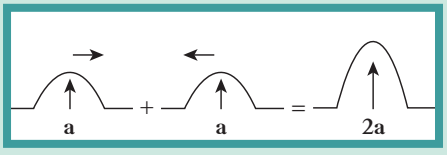
(شكل 8)

يختلف انكسار الصوت في الهواء باختلاف درجة حرارة طبقات الهواء.

3. تراكب الموجات Waves Superposition

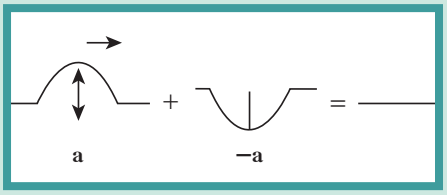
ماذا يحدث عندما تلتقي موجتان أو أكثر في الوسط نفسه؟ وهل يُمكن لهاتين الموجتين أن تنتشرا بطريقة تكون فيها كلّ منها مستقلّة عن الأخرى؟ إنّ الموجات ذات النوع الواحد (ميكانيكية مثلًا) تعبر بعضها بعضًا من دون أن تتأثّر وتتجمّع عندما تلتقي في نقطة تُسمّى **نقطة التراكب Superposition**. فتُساوي الإزاحة الكلّية الناتجة مجموع الإزاحات لهذه الموجات. وبعد عبور الموجات نقطة التراكب، تستعيد كلّ موجة شكلها وتُكمل بالاتّجاه الذي كانت تسلكه ويُسمّى هذا مبدأ التراكب.

وإذا كانت موجتان من نوعين مختلفين (ميكانيكية وكهرومغناطيسية مثلًا) فلا يُمكنهما تحقيق مبدأ التراكب. يُفسّر مبدأ التراكب كيف يُمكننا سماع شخص بوضوح بالرغم من أنّ صوته تقاطع مع أصوات أخرى.



(شكل 9)

تداخل بنائي حيث تدعم الموجات بعضها



(شكل 10)

تداخل هدمي حيث تلغي الموجات بعضها

4. تداخل الموجات Waves Interference

التداخل Interference هو نتيجة التراكب بين مجموعة من الموجات من نوع واحد ولها التردّد نفسه. يحدث مع كلّ أنواع الموجات بما في ذلك موجات سطح الماء والموجات الصوتية وغيرها. وللحصول على نمط تداخل واضح ومستمرّ، لا بدّ أن يكون للموجات المتداخلة السعة نفسها.

وهناك نمطان من التداخل: الأوّل هو التداخل البنائي حيث تدعم الموجات بعضها فتقوى، كالتقاء قمّتين مثلًا (شكل 9). والنمط الثاني هو التداخل الهدمي حيث تُلغي الموجات بعضها كالتقاء قمّة موجة مثلًا مع قاع موجة أخرى (شكل 10). يسهل رؤية تداخل الموجات على سطح الماء عندما يُلامس جسمان مهتزّان سطح الماء بالتردّد والسعة نفسهما (شكل 11).

(شكل 11)

تداخل ناتج عن تراكب أمواج الماء من مصدرين مهتزّين.

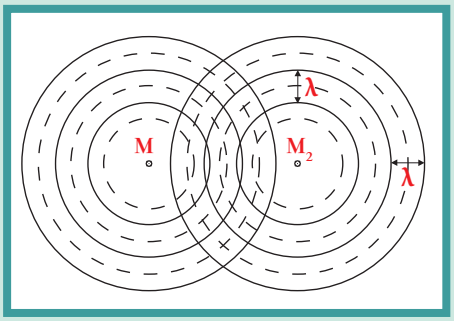
أنصاف الأقطار الداكنة هي نقاط تتفّق في أنّ فرق المسير يُساوي:
$\Delta S = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$ حيث $n = 0, 1, 2, 3 \ldots$ هو صفر أو عدد صحيح تُمثّل أنصاف الأقطار هذه تداخلًا هدميًّا حيث تتراكب فيها قمّة موجة معيّنة مع قاع موجة أخرى، وتكون النتيجة مناطق سعتها صفر. ويُمكننا القول إنّها موجات غير متّفقة في الطور.

أمّا المناطق المضاءة فهي نقاط تتّفق في أنّ فرق المسير يُساوي:
$\Delta S = n\lambda$ حيث $n = 0, 1, 2, 3 \ldots$ هو عدد صحيح
تُمثّل هذه المناطق تداخلًا بنائيًّا حيث تصل الموجات بحالات متّفقة الطور قمّة مع قمّة أو قاع مع قاع.

أمّا بالنسبة إلى تداخل الموجات الصوتية، فيُمكن دراسته بالمقارنة مع التداخل على سطح الماء. فإنّ قمّة الموجة في الموجات المستعرضة على سطح الماء تُقابل التضاغط في موجات الصوت الطولية، وكذلك يُقابل القاع التخلخل ويُؤثّر في شدّة الصوت.

لنأخذ مصدرين صوتيين نقطيين M_1 وM_2 (شكل 12) يطلقان أمواجًا لها التردّد نفسه والسعة نفسها. وحيث إنّ أمواج الصوت أمواج طولية تتكوّن من تضاغطات وتخلخلات، تُمثّل الدوائر المتّصلة النهايات العظمى للتضاغطات، وتُمثّل الدوائر المتقطّعة النهايات العظمى للتخلخلات. يُساوي الطول الموجي (λ) المسافة بين أيّ قوسين متّصلين متتاليين، أو المسافة بين أيّ قوسين متقاطعين متتاليين. ونتيجة لتراكب الحركتين الموجيتين المتساويتين في التردّد والسعة، توجد بعض المواضع التي تلتقي فيها التضاغطات من المصدر M_1 مع تضاغطات المصدر M_2، أو تلتقي فيها تخلخلات من المصدر M_1 مع تخلخلات من المصدر M_2 وتتّفق هذه النقاط في أنّ فرق المسير يُساوي $\Delta S = n\lambda$ حيث:
$n = 0, 1, 2, 3 \ldots$ هو عدد صحيح
عند هذه النقاط، يكون التداخل بنائيًّا وتزداد شدّة الصوت، كما توجد بعض المواضع التي تلتقي فيها تضاغطات المصدر M_1 مع تخلخلات المصدر M_2، أو تخلخلات M_1 مع تضاغطات M_2. وهي تتّفق في أنّ فرق المسير يُساوي $\Delta S = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$ و$n = 0, 1, 2, 3 \ldots$ هو عدد صحيح. عند هذه النقاط، يكون التداخل هدميًّا وتضعف شدّة الصوت أو تنعدم.

ولبيان ظاهرة التداخل في الصوت، يمكن استخدام أنبوب كوينك (Koenig) الذي يظهر بوضوح أنّ التداخل البنائي للموجتين المتفقتين في الطور حيث تحدث تقوية للصوت، والتدخّل الهدمي للصوت عندما يكون فرق المسير $\lambda/2$ ولا نسمع صوتًا.



(شكل 12)
تداخل ناتج من تراكب أمواج صوتية من مصدرين صوتيين

إثراء

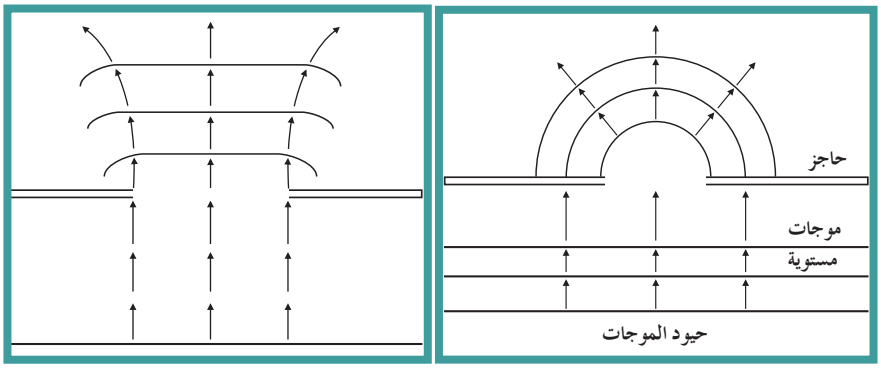
الضربات

عند تراكب موجتين صوتيتين لهما السعة نفسها واختلاف بسيط في التردّد، يُسمَع تغيّر في الصوت فيكون الصوت عاليًا ثمّ ضعيفًا وذلك بشكل دوري. يُسمّى هذا التغيّر الدوري في شدّة الصوت بالضربات.

5. حيود الصوت Sound Diffraction

هي ظاهرة انحناء الموجات حول حافّة حادّة أو عند نفاذها من فتحة صغيرة بالنسبة إلى طولها الموجي (شكلا 14 و15). هذا يعني أنّ الموجات تحيد عن مسارها الأصلي، وتسير في اتّجاهات متفرّقة، ويزداد انحناء الموجات كلّما كان إتساع الفتحة أصغر. تحدث ظاهرة الحيود في الصوت عند اصطدام موجات الصوت بحواجز وفتحات تتناسب أبعادها مع طول الموجة الصوتية، فيُمكن سماع صوت يفصلك عنه حاجز.

توضيح الحيود عمليًّا: يُمكنك استخدام حوض الموجات لتوضيح حيود موجات الماء باستخدام شرائح متنوّعة الأحجام والأشكال (شكل 13).

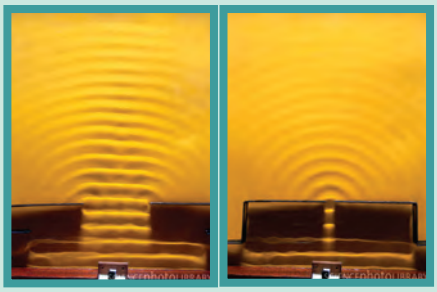


(شكل 13)

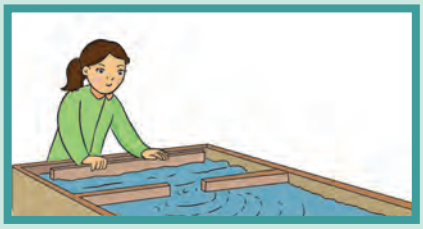
6. الموجات الموقوفة (الساكنة) Standing (stationary) Waves

إذا قمت بربط حبل في حائط ما، ثمّ قمت بهزّ الطرف الحرّ لهذا الحبل لتُرسل نبضة فيه، سوف تُلاحظ أنّ هذه النبضة ستنعكس عند الحائط. أمّا إذا حرّكتَ الحبل بطريقة منتظمة، فسوف تُحدث موجات ساقطة على الجدار وموجات منعكسة. تلتقي الموجات الساقطة على الجدار مع الموجات المنعكسة وتتداخل، فينقسم الحبل إلى عدّة قطاعات تتكوّن من عقد وبطون. تكون العقد أجزاء ساكنة من الحبل وتكون البطون ذات سعات كبرى في منتصف المسافة بين عقدتين. وبما أنّ أماكن هذه العقد والبطون ثابتة، تُسمّى هذه الموجات بالموجات الموقوفة أو الساكنة (شكل 16).

فالموجات الموقوفة أو الساكنة Standing Waves هي تلك الموجات التي تنشأ من تراكب قطارين من الموجات متماثلين في التردّد والسعة لكنّهما يسيران في اتّجاهين متعاكسين.



(شكل 14)
موجات مستوية تمرّ من فتحات مختلفة الاتّساع



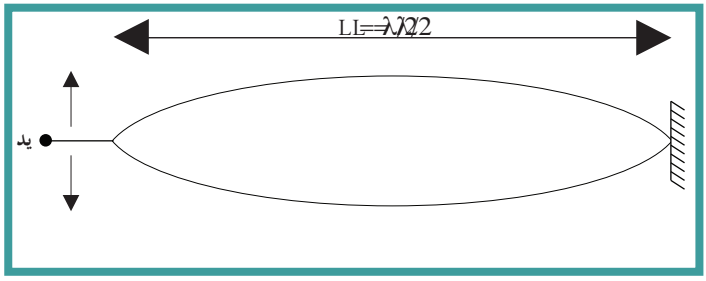
(شكل 15)
حيود موجات مستقيمة في حوض ماء

توظيف الفيزياء

الفيزياء يُخفّف أو يُلغي الضوضاء

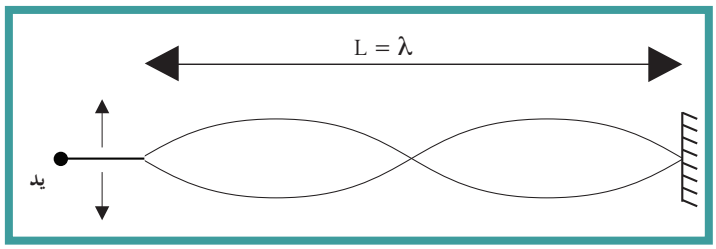
يُعتبَر التداخل الهدمي للصوت خاصّية مفيدة في التقنية ضدّ الضوضاء. فقد تمّ تجهيز بعض الالآت المصدرة للضوضاء بأجهزة تُرسل صوت الآلة إلى رقائق إلكترونية تقوم بإصدار أصوات مطابقة لصوت الآلة، ولكن تختلف معها في الطور في سمّاعات الأذن التي تُعرَف بالسمّاعات المانعة للضوضاء والتي يستخدمها الطيّارون بكثرة في أيّامنا هذه.

يُمكن أن نُكوّن مجموعات متنوّعة من الموجات الساكنة عن طريق هزّ الحبل بتردّدات مختلفة وأبسط موجة موقوفة يُمكن تكوينها من قطاع واحد حيث يساوي طول الحبل نصف طول الموجة (شكل 17).



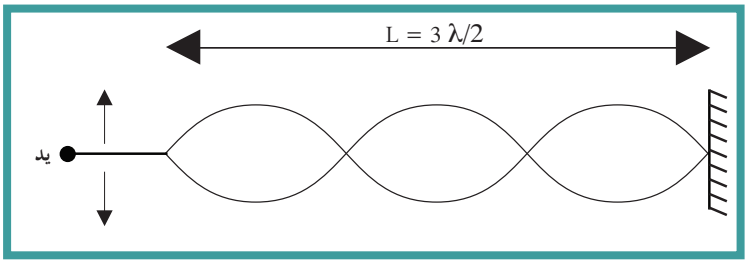
(شكل 17)
موجة موقوفة لها قطاع واحد

بزيادة التردّد يزيد عدد القطاعات. فإذا ضاعفنا تردّد اهتزاز الحبل، نحصل على موجة موقوفة لها قطاعان (شكل 18)، ويُساوي طول الحبل طول الموجة.



(شكل 18)
موجة موقوفة مكونة من قطاعين

أمّا إذا حرّكنا الحبل بتردّد ثلاث مرّات أكثر، نحصل على موجة لها ثلاثة قطاعات (شكل 19).

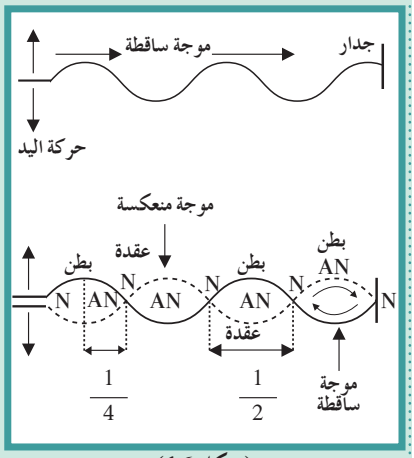


(شكل 19)
موجة موقوفة مكونة من ثلاثة قطاعات

7. الموجات الموقوفة والآلات الموسيقية

Standing Waves and Musical Instruments

تتكوّن الموجات الموقوفة عند اهتزاز أوتار الآلات الموسيقية التي تُصدر نغمات أساسية أو توافقية، وكذلك في الأعمدة الهوائية المهتزّة في حالة الرنين داخل آلات النفخ الموسيقية. سوف ندرس ذلك بشكل مفصّل.

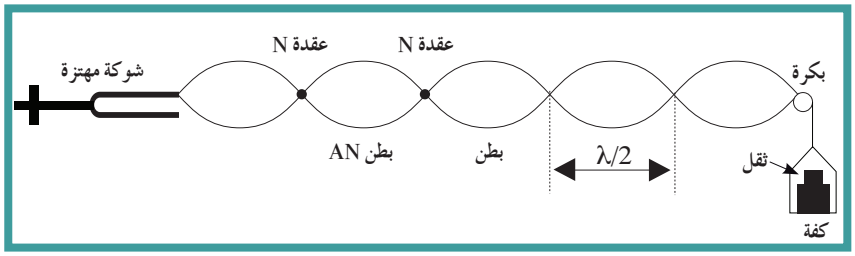


(شكل 16)
تتراكب الموجات الساقطة والمنعكسة لتكوّن موجة موقوفة. تُسمّى النقاط الساكنة عقدًا، أمّا النقاط ذات السعة الكبيرة، فتسمّى بطون.

1.7 الأوتار المهتزّة Vibrating Strings

لكي نفهم تكون الموجات الموقوفة في الأوتار المهتزّة ودورها في إصدار التردّدات المختلفة سنبدأ بتجربة ميلد التالية:

تجربة ميلد:



(شكل 20)

يتكوّن الجهاز من شوكة رنّانة مهتزّة. يتّصل أحد فرعيها بأحد طرفي الوتر وهو خيط مرن طوله حوالى (2)m، ويمرّ الطرف الآخر للوتر فوق بكرة ملساء، وينتهي في كفّة توضَع فيها أثقال (شكل 20).

عندما تهتزّ الشوكة، ينتقل في الوتر قطار من الموجات المستعرضة تصل إلى البكرة فيرتدّ عنها. وتتراكب الموجات الساقطة مع الموجات المنعكسة مكوّنة الموجات الموقوفة التي تتكوّن من عقد وبطون.

من خلال تجربة ميلد للموجات الموقوفة في الأوتار، يُمكننا تعرّف كيفية تكوّن الموجة الموقوفة من الوتر المهتزّ. يُمكننا أيضًا استخدام هذه التجربة لتعيين سرعة الموجات الموقوفة كما يلي:

1. أعدّ الجهاز كما سبق، وضع أثقال مناسبة في الكفّة، ثمّ اجعل الشوكة الرنّانة تهتزّ حتّى تحصل على اهتزاز مستعرض في الوتر على هيئة قطاعات. ستجد أنّ هناك تراكبًا بين الموجة الصادرة والموجة المنعكسة تنشأ عنه الموجات الموقوفة، والتي بدورها تتكوّن من قطاعات يتألّف كلّ منها من عقدتين بينهما بطن.
2. حدّد عدد القطاعات (n) وطول الخيط (L).

طول القطاع الواحد = المسافة بين عقدتين متتاليتين = $\frac{L}{n}$

ولكنّ المسافة بين كلّ عقدتين متتاليتين = نصف طول الموجة = $\frac{\lambda}{2}$

بما أنّ $\boxed{\frac{L}{n} = \frac{\lambda}{2}}$

إذًا يساوي طول الموجة: $\boxed{\lambda = \frac{2L}{n}}$

ولكن $v = \lambda . f$ وبالتعويض عن λ نحصل على: $\boxed{v = \frac{2L}{n} . f}$

مثال (1)

اهتزّ حبل طوله (240)cm اهتزازًا رنينيًّا في ثلاثة قطاعات عندما كان التردّد (15)Hz . احسب سرعة إنتشار الموجة في الحبل .

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم .

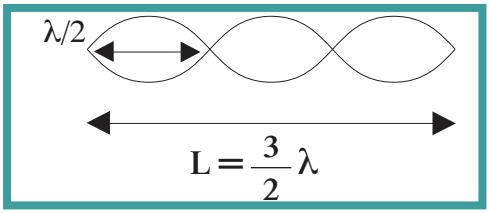
المعلوم: طول الحبل: $L = 240\ cm$

التردّد: $f = 15\ Hz$

غير المعلوم: سرعة الموجة: $v = ?$

2. احسب غير المعلوم:

نرسم الحبل المكوّن من ثلاثة قطاعات .



من خلال الشكل نستطيع أن نكتب العلاقة التالية:

$$L = \frac{3}{2}\lambda$$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة ، نحصل على:

$$\lambda = \qquad = 2 \times \frac{240}{3} = 160\ cm = 1.6\ m$$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة $\lambda = v/f$ ، نحصل على:

$$v = \lambda f = 1.6 \times 15 = 24\ m/s .$$

قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

نعم ، السرعة مقبولة تتناسب مع معطيات المسألة ويمكن تحقيقها عمليًّا في المختبر .

يُمكننا أن نستنتج من خلال إهتزاز الأوتار المستعرضة (الصنومتر) السابقة أنّ طول الوتر ونوعه وتغيير قوّة الشدّ فيه بتغيير الأثقال في الكفّة هي من العوامل المؤثّرة في تكوين الموجة الموقوفة وعدد قطاعاتها ، وبالتالي فهي تؤثّر في التردّدات أي في النغمات التي تصدرها هذه الأوتار .

باستخدام العلاقة الرياضية التالية: $f = \frac{nv}{2L}$

وباستخدام العلاقة $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ التي تمثّل سرعة انتشار الموجة في وتر مشدود حيث T هي قوّة شدّ الوتر (نيوتن) ، و μ = كتلة وحدة الأطوال (kg/m) ، يمكننا أن نستنتج أنّ التردّدات التي تصدرها الأوتار تتمثّل

أسئلة تطبيقية وحلّها

1. وتر طوله (1)m ، مشدود بقوّة مقدارها (50)N. فإذا كان تردد النغمة الأساسية (25)Hz . احسب كتلة وحدة الطول من الوتر μ = ؟

النتيجة: 0.02 kg/m

2. وتر مشدود يُصدر نغمة أساسية تردّدها يُساوي 25 Hz . احسب تردّد النغمات التوافقية الثانية والثالثة والرابعة .

النتائج: التوافقية الثانية = 75 Hz

التوافقية الثالثة = 100 Hz

التوافقية الرابعة = 125 Hz

3. وتر طوله 3 m ، تولّدت عليه موجة موقوفة مكوّنة من 4 عقد وسرعة الموجات فيه 12 m/s . احسب كلًّا من:

(أ) طول الموجة

(ب) تردّد نغماته التوافقية الأولى والثانية

النتائج: (أ) 2 m

(ب) (4 Hz ، 6 Hz)

بالعلاقة $= \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$ حيث $n=1,2,3,4$

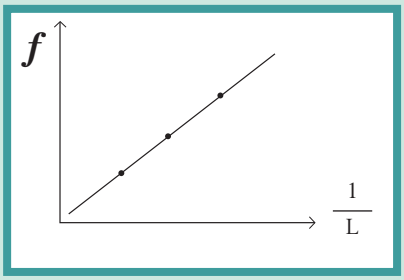
العوامل المؤثِّرة بالنغمة الأساسية

باستخدام $= \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$ نستنتج أنّ العوامل التي تؤثِّر بالنغمة الأساسية هي:

1. طول الوتر (L): يتناسب تردّد الوتر عكسيًّا مع طوله عند ثبات قوّة الشدّ وكتلة وحدة الأطوال من الوتر (شكل 21):

$$f \propto \frac{1}{L}$$

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{L_2}{L_1}$$

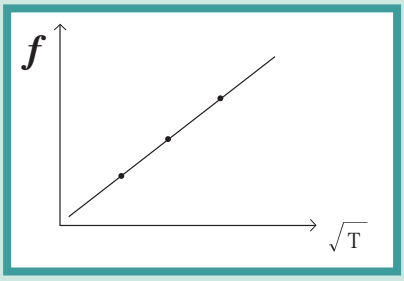


(شكل 21)

2. قوّة شدّ الوتر (T): يتناسب تردّد الوتر طرديًّا مع الجذر التربيعي لقوّة الشدّ له عند ثبوت طوله وكتلة وحدة الأطوال منه (شكل 23)، أي:

$$f \propto \sqrt{T}$$

$$\sqrt{\frac{T_1}{T_2}} = \frac{f_1}{f_2}$$

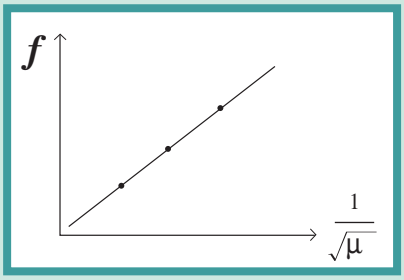


(شكل 22)

3. كتلة وحدة الأطوال من الوتر (μ): يتناسب تردّد الوتر عكسيًّا مع الجذر التربيعي لكتلة وحدة الأطوال منه عند ثبوت طوله وقوّة الشدّ (شكل 23)، أي:

$$f \propto \frac{1}{\sqrt{\mu}}$$

$$\frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}}$$



(شكل 23)

ويُمكن تمثيل العلاقات السابقة بيانيًّا كالتالي:

- العلاقة بين التردّد وطول الوتر (عند ثبوت باقي العوامل) (شكل 21)
- العلاقة بين التردّد وقوّة شدّ الوتر (عند ثبوت باقي العوامل) (شكل 22)
- العلاقة بين التردّد وكتلة وحدة الأطوال من الوتر (عند ثبوت باقي العوامل) (شكل 23)

مثال (2)

شدّ وترًا طوله (80)cm وكتلته (0.5)g بقوّة مقدارها (49)N . احسب تردّد النغمة الأساسية التي يُصدرها هذا الوتر .

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم .

المعلوم: طول الوتر: $L = 80\ cm$

كتلة الوتر: $m = 0.5\ g$

مقدار قوّة الشدّ: $T = 49\ N$

غير المعلوم: تردّد النغمة أساسية: $f = ?$

2. احسب غير المعلوم:

باستخدام العلاقة الرياضية وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة بعد احتساب μ ، نحصل على:

$$f_0 = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{0.5 \times 10^{-3}}{0.8} = 6.25 \times 10^{-4}\ kg/m$$

$$f_0 = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}} = \frac{1}{2 \times 0.8}\sqrt{\frac{49}{6.25 \times 10^{-4}}}$$

$$f_0 = 175\ Hz$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

نعم ، إذا تمّت مقارنتها بالنتائج في المختبر .

مثال (3)

يُصدر وتر طوله (50)cm نغمة تردّدها (500)Hz . احسب تردّده عندما يُصبح طوله (100)cm .

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم .

المعلوم: طول الوتر: $L_1 = 50\ cm$

التردّد: $f_1 = 500\ Hz$

طول الوتر الجديد: $L_2 = 100\ cm$

غير المعلوم: التردّد الجديد $f_2 = ?$

2. احسب غير المعلوم:

باستخدام العلاقة الرياضية التالية: $\frac{f_1}{f_2} = \frac{L_2}{L_1}$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة ، نحصل على:

$$\frac{500}{f_2} = \frac{100}{50}$$

$$f_2 = 250\ Hz$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

يتناسب التردّد عكسيًّا مع الطول ، فعند زيادة الطول ينخفض مقدار التردّد .

2.7 الأعمدة الهوائية والرنين

Sound Pipes and Resonance

الأعمدة الهوائية نوعان؛ إمّا يكون عمودًا هوائيًّا مغلقًا من أحد طرفيه Closed sound pipe ، أو مفتوح الطرفين Opened sound pipe .

يُشبه اهتزاز الأعمدة الهوائية اهتزاز الأوتار المستعرضة ، فالموجة الصوتية التي تتحرّك في العمود الهوائي داخل الأنبوب تنعكس عند وصولها إلى نهاية العمود الهوائي ، ثمّ تتحرّك في الاتّجاه العكسي وتستمرّ حركة الانعكاس مكوّنة موجة موقوفة طولية حيث تتكوّن عقدة عند الطرف المغلق للعمود الهوائي ، ويتكوّن بطن بالقرب من الطرف المفتوح ، وذلك بسبب جزيئات الهواء التي لا يُمكنها أن تتحرّك عند الطرف المغلق للعمود الهوائي الذي يمنعها من الحركة . أمّا عند الطرف المفتوح ، فإنّ جزيئات الهواء تستطيع الحركة بسهولة إلى الخارج .

(شكل 24)
تهتزّ الشوكة الرنّانة عند تردّد معيّن للساكسوفون .

الرنين Resonance

يحدث الرنين عندما تهتزّ جزيئات الوسط بسعة عظمى نتيجة تأثّرها بمصدر يهتزّ بتردّد يُساوي أحد تردّدات النغمة الأساسية أو التوافقية (شكل 24) .

(أ) الرنين في الأعمدة الهوائية المغلقة

يوضّح (شكل 25) ثلاثة أنواع من الأنابيب الهوائية المغلقة . يُمكن تغيير طول العمود الهوائي فيها بتغيير مستوى سطح الماء أو أيّ سائل مناسب آخر داخل الأنبوب المستخدَم .

يُمكن لعمود هوائي مغلق طوله (L) أن يهتزّ بطرق مختلفة . فإذا اهتزّ بحيث تتكوّن على امتداد طوله عقدة واحدة وبطن واحد ، صدرت عنه النغمة الأساسية . أمّا إذا اهتزّ بحيث يتكوّن داخله عقدتان وبطنان ، صدرت عنه نغمة إضافية تُسمّى النغمة التوافقية الأولى . في هذه الحالة:

$$L = \frac{3}{4}\lambda$$

أي:

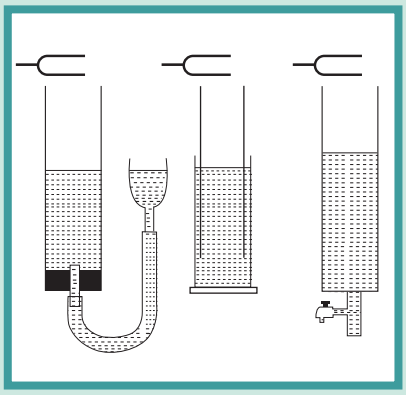
$$\lambda = \frac{4L}{3}$$

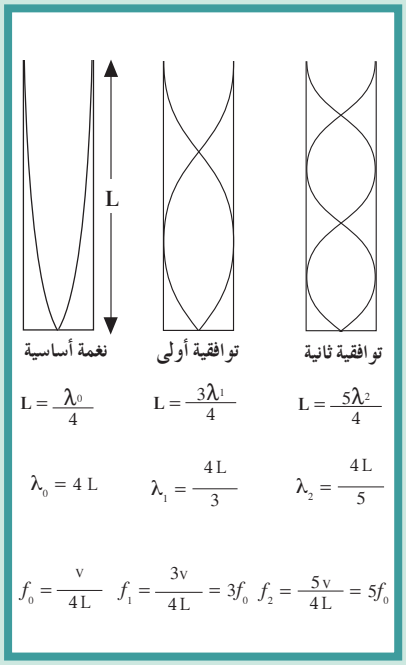
ويكون تردّد هذه النغمة: $f_1 =$ (حيث سرعة الصوت في الهواء $= v$)

وتُعطى تردّدات النغمات التوافقية الأخرى على الشكل التالي:

$$f_n = (2n + 1)\frac{v}{4L} = (2n + 1)f_0 \qquad (n = 0, 1, 2, 3, 4, \ldots)$$

أي أنّ تردّد هذه النغمات يتناسب مع الأعداد الصحيحة الفردية .





(شكل 25)
أعمدة هوائية مغلقة تصدر نغمات متعددة

هذا يعني أنّ النغمة التوافقية الأولى نغمة ذات تردّد يُساوي ثلاثة أمثال تردّد النغمة الأساسية، وتردّد النغمة التوافقية الثانية يُساوي خمسة أمثال تردّد النغمة الأساسية، وهكذا دواليك.

يُلاحَظ عادة أنّه عندما يهتزّ عمود هوائي ليُصدر نغمته الأساسية (وتُسمّى الرنين الأوّل)، فإنّ بعض النغمات التوافقية (وتُسمّى الرنين الثاني والثالث...) تصدر مرافقة للنغمة الأساسية كما يحدث في الأنابيب الأرغونية. وتزداد شدّة النغمات التوافقية المرافقة للنغمة الأساسية، كما يزداد عدد هذه النغمات تدريجيًّا، ما يُؤدّي إلى تغيّر نوع النغمة في الأنبوب الأرغوني.

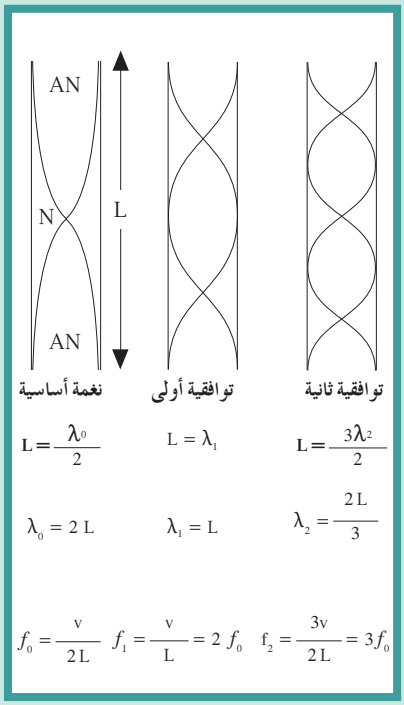
(ب) الرنين في الأعمدة الهوائية المفتوحة

تصدر النغمة الأساسية للعمود الهوائي المفتوح عندما يكون طوله مساويًا لنصف الطول الموجي، أي عندما يكون: $L = \frac{\lambda_0}{2}$

وتصدر عن العمود الهوائي المفتوح نغمات توافقية بالإضافة إلى النغمة الأساسية (شكل 26).

تُعطى بالعلاقة: $f_{n-1} = \frac{nv}{2L}$

$n=1,2,3,...$



(شكل 26)
أعمدة هوائية مفتوحة

مثال (4)

إذا كانت سرعة الصوت في الهواء (340)m/s ، إحسب:
أوّلًا: تردّد النغمة الأساسية التي يُصدرها عمود هوائي طوله (100)cm إذا كان العمود:
(أ) مغلقًا
(ب) مفتوحًا
ثانيًا: تردّد النغمة التوافقية الثانية إذا كان العمود:
(أ) مغلقًا
(ب) مفتوحًا

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.
المعلوم: سرعة الصوت في الهواء: $v = 340\ m/s$
طول العمود الهوائي: $L = 100\ cm$
غير المعلوم: تردّد النغمة الأساسية:
(أ) العمود مغلق = ؟
(ب) العمود مفتوح = ؟
تردّد النغمة الثانية التوافقية:
(أ) العمود مغلق = ؟
(ب) العمود مفتوح = ؟

2. احسب غير المعلوم:
أوّلًا – تردّد النغمة الأساسية:
(أ) العمود مغلق:
باستخدام المعادلة الرياضية التالية: $f_0 = \frac{V}{4L}$
وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:
$$f_0 = \frac{340}{4 \times 1} = 85\ Hz$$
(ب) العمود مفتوح:
باستخدام المعادلة الرياضية التالية: $f_0 = \frac{V}{2L}$
وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:
$$f_0 = \frac{340}{2} = 170\ Hz$$
ثانيًا – تردّد النغمة التوافقية الثانية
(أ) العمود مغلق: $f_2 = 5f_0 = 425\ Hz$
(ب) العمود مفتوح: $f_2 = 3f_0 = 510\ Hz$

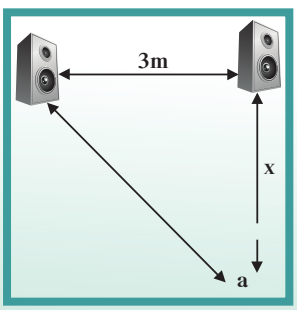
أسئلة تطبيقية وحلّها

1. يُصدر عمود هوائي مغلق نغمته الأساسية عندما يكون طوله (35)cm ويكون تردّدها (256)Hz. احسب التردّد إذا كان طول العمود الهوائي (17.5)cm.
الناتج: 512 Hz

2. وتر مشدود بقوّة مقدارها (16)N يُصدر نغمة متّفقة في تردّدها مع نغمة عمود هوائي مغلق طوله (0.4)m. احسب طول أقصر عمود هوائي مفتوح يُصدر نغمة أساسية تتّفق مع نغمة الوتر إذا ازدادت شدّة الوتر بمقدار (9)N.
الناتج: 64 cm

مراجعة الدرس 1-2

1. اكتب أهمّ خصائص الموجات.
2. اذكر قانوني انعكاس الصوت، ثمّ اشرح تجربة عملية لتحقيقهما.
3. ما أهمّ تطبيقات انعكاس الصوت؟ تكلّم عن أحدها بالتفصيل.
4. ما معنى انكسار الصوت؟
5. عرّف كلًّا من: تراكب الموجات – التداخل – الحيود
6. اشرح تجربة عملية تُوضّح ظاهرة التداخل في الصوت، وبيّن كيفية احتساب سرعة الصوت باستخدام هذه التجربة؟
7. ما الموجات الموقوفة؟ اشرح تجربة توضّح هذه الموجات، وعرّف العقدة والبطن.
8. بيّن بالرسم النغمة التوافقية الثالثة عند اهتزاز الأوتار المستعرضة، ثمّ اكتب ما يُساويه تردّد النغمة الأساسية مبيّنًا العوامل التي يتوقّف عليها هذا التردّد.
9. بيّن بالرسم نغمة توافقية ثانية في كلّ من العمود المغلق والعمود المفتوح. اكتب النسبة بين تردّدات النغمة الأساسية والتوافقيات في كلّ من العمودين.
10. اشرح تجربة تحدّد من خلالها سرعة الصوت في الهواء باستخدام الرنين في الأعمدة الهوائية.
11. هل يُمكن لموجة صوتية أن تُدمّر موجة صوتية أخرى أو تُلغيها؟ اشرح ذلك.
12. تنتشر موجة صوتية بسرعة (340)m/s. احسب طول موجة صوتية تردّدها (20)Hz، وأخرى تردّدها (20 000)Hz.
13. احسب تردّد موجة صوتية طولها الموجي (1)m وسرعتها (340)m/s.
14. يُرسل خفّاش في كهف نبضات صوتية ويستقبل صداها خلال (1)s. احسب بُعد جدار الكهف عن الخفّاش. [علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء (340) m/s]
15. احسب تردّد النغمة الأساسية لوتر طوله (50)cm وكتلته (50)g إذا كانت قوّة الشدّ عليه تُساوي (40)N.
16. وتر مشدود بقوّة $T = 10\,N$ يُشكّل موجة موقوفة من ثلاثة قطاعات. ما مقدار القوّة T' التي يجب وضعها على الوتر ليُشكّل أربعة قطاعات علمًا أنّ مقدار التردّد ثابت.
17. احسب تردّد النغمة الأساسية والنغمة التوافقية الثالثة لعمود هوائي مفتوح طوله (25)cm إذا كانت سرعة الصوت (340)m/s.
18. احسب تردّد النغمة الأساسية والنغمة التوافقية الرابعة لعمود هوائي مغلق طوله (40)cm علمًا أنّ سرعة الصوت في الهواء (340)m/s.
19. في الصورة مصدران صوتيان متماثلان ومستمع يقف عند نقطة (a) كما هو موضّح في الشكل (27). إذا كانت النقطة (a) تمثّل التداخل البنّاء الأوّل، فكم يكون فرق المسير بين المصدرين والمستمع علمًا أنّ سرعة الصوت في الوسط تساوي (340)m/s والتردّد $f = (200)Hz$؟



(شكل 27)

مراجعة الوحدة الثالثة

المفاهيم

Wave reflection	انعكاس الموجة
Wave refraction	انكسار الموجة
Interference	تداخل
Simple harmonic motion	حركة توافقية بسيطة
Periodic motion	حركة دورية
Wave motion	حركة موجية
Diffraction	حيود
Standing waves	الموجات الموقوفة
Longitudinal wave	موجة طولية
Transverse wave	موجة مستعرضة

الأفكار الرئيسية في الوحدة

- الحركة التوافقية البسيطة هي حركة اهتزازية تتناسب فيها القوّة المعيدة طرديًّا مع الإزاحة الحاصلة للجسم في غياب الاحتكاك.
- خصائص الحركة التوافقية البسيطة هي السعة، والتردّد، والزمن الدوري، والسرعة الزاوية، وزاوية الطور.
- وتُعتبَر حركة البندول البسيط من أهمّ تطبيقات الحركة التوافقية البسيطة.
- خصائص الحركة الموجية (الصوت) هي:

1. الانتشار في خطوط مستقيمة في جميع الاتّجاهات
2. الانعكاس: تغيير مسار الشعاع الصوتي في الوسط نفسه
3. الانكسار: تغيير مسار الشعاع الصوتي عند نفاذه بين وسطين مختلفين
4. التداخل: تراكب موجتين لهما التردّد نفسه فيحدث إمّا تداخل بنائي عندما يكون فرق المسار بين الموجتين $= n\lambda$ حيث $n = 0, 1, 2, 3 \ldots$ وتزداد شدّة الصوت، أو تداخل هدمي عندما يكون فرق المسير بين الموجتين $= \left(2n + 1\right)\frac{\lambda}{2}$ وتضعف شدّة الصوت أو تنعدم. ويُستخدَم أنبوب كوينك لتوضيح ظاهرة التداخل في الصوت.
5. الحيود: هي ظاهرة انحناء الموجات حول حافّة حاجز أو حول حافّتي فتحة صغيرة.

- الموجات الموقوفة أو الساكنة: هي موجات تنشأ من تراكب قطارين من الأمواج متماثلين في التردّد والسعة لكنّهما يسيران في اتّجاهين متعاكسين، وتتكوّن مواضع تكون فيها قيمة السعة كبيرة وتُسمّى «بطونًا»، ومواضع تكون فيها قيمة السعة صغيرة وتُسمّى «عقدًا». وتُساوي المسافة بين مركزي بطنين أو عقدتين متتاليتين نصف الطول الموجي للموجة الموقوفة، وتكون مواضع العقد والبطون ثابتة. ونحصل على الموجات الموقوفة عند اهتزاز الأوتار المستعرضة أو اهتزاز الأعمدة الهوائية.
- من أهمّ تطبيقات انعكاس الصوت: صدى الصوت، الصوتيات المعمارية أو هندسة الصوت، تسليط الصوت أو تركيزه في المسارح أو القاعات الكبيرة، نقل الصوت بالأنابيب.

- يعود تردّد النغمة الأساسية للوتر المهتزّ إلى طول الوتر، وقوّة شدّ الوتر، وكتلة وحدة الأطوال من الوتر.
- يُمكن تحديد سرعة الصوت في الهواء باستخدام الرنين في الأعمدة الهوائية.

معادلات

- معادلة الإزاحة في الحركة التوافقية البسيطة:

$$y = A \sin (wt + \Phi)$$

- الزمن الدوري للبندول البسيط:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

- الزمن الدوري لكتلة معلّقة بزنبرك (البندول المرن):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

تداخل بنائي: فرق المسير $\Delta S = n\lambda$ علمًا أنّ n تُساوي 1، 2، 3، ... .

تداخل هدمي: فرق المسير $\Delta S = (2n + 1)\lambda/2$ علمًا أنّ n تُساوي 0، 1، 2، 3، ... .

التردّد في الأوتار المهتزّة:

$f = (n/2L)\sqrt{T/\mu}$ علمًا أنّ n تُساوي 1، 2، ...

التردّد في الأعمدة الهوائية المفتوحة:

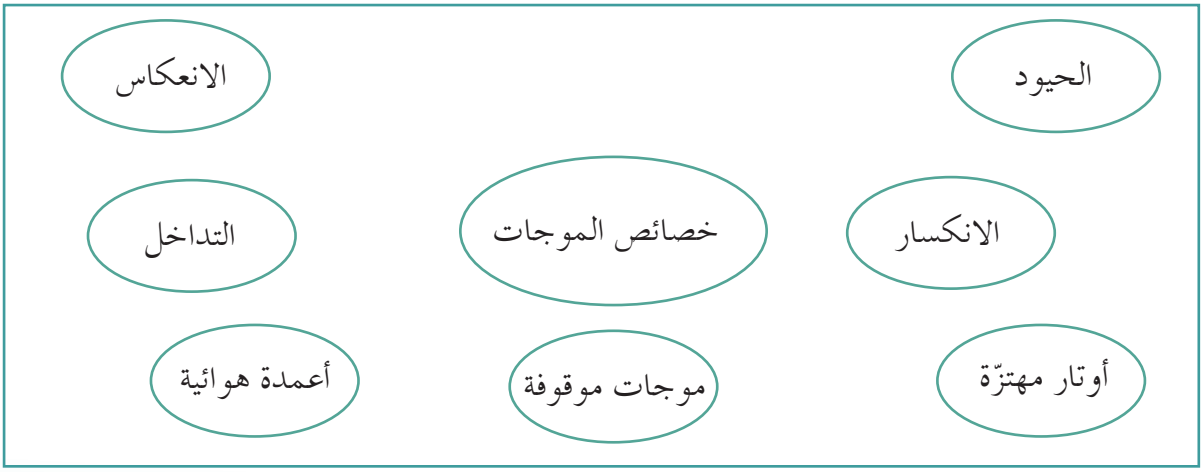
$f = nv/2L$ علمًا أنّ n تُساوي 1، 2، 3، ...

التردّد في الأعمدة الهوائية المغلقة:

$f = (2n + 1)v/4L$ علمًا أنّ n تُساوي 0، 1، 2، 3، ...

خريطة مفاهيم الوحدة

استخدم الكلمات الموضّحة في الشكل التالي لرسم خريطة مفاهيم تُنظّم بعض الأفكار التي احتوتها الوحدة.



تحقق من فهمك

ضع علامة (✓) في المربّع الواقع أمام أنسب إجابة في كلّ ممّا يلي:

1. عدد الذبذبات الكاملة التي يُحدثها الجسم في الثانية الواحدة هو:

☐ الاهتزازة الكاملة ☐ التردّد ☐ سعة الاهتزازة ☐ زاوية الطور

2. عندما ينتقل الصوت:

☐ تنتقل جزيئات الوسط الناقل للصوت
☐ لا تنتقل جزيئات الوسط الناقل للصوت
☐ ينتقل مصدر الصوت إلى أذن السامع
☐ ينتقل السامع إلى الصوت

3. إذا كان الزمن الدوري لبندول بسيط يُساوي 12(s)، فإنّ طول خيط البندول بوحدة (المتر) يُساوي:

☐ 12.5 ☐ 15.3 ☐ 22.1 ☐ 35.8

4. لزيادة الزمن الدوري لبندول بسيط إلى المثلين يجب تغيير طول خيط البندول إلى:

☐ مثلي الطول الأصلي
☐ نصف الطول الأصلي
☐ أربعة أمثال الطول الأصلي
☐ ربع الطول الأصلي

5. إذا كانت سرعة إنتشار الموجة في الهواء 2(m/s) وتردّدها يُساوي4(Hz)، فإنّ طولها الموجي بوحدة (المتر) يُساوي:

☐ 0.5 ☐ 2 ☐ 6 ☐ 8

6. نابض ثابت مرونته 100(N/m)، ومعلق فيه كتلة مقدارها 1(kg). فإذا تُرك ليتحرّك حركة توافقية بسيطة، فإنّ الزمن الدوري بوحدة (الثانية) يساوي:

☐ 0.134 ☐ 0.628 ☐ 3.14 ☐ 6.28

7. تشكّلت موجة موقوفة على وتر طوله 96(cm) وكان يحتوي على (17) عقدة، فإنّ الطول الموجي بوحدة (cm) يُساوي:

☐ 5.65 ☐ 6 ☐ 12 ☐ 17

8. تختلف موجات الصوت الساقطة عن المنعكسة في:

☐ التردّد ☐ اتّجاه الانتشار ☐ السرعة ☐ الطول الموجي

9. أكمل ما يلي:

(أ) يحدث تداخل بنائي بين موجتين إذا كان فرق المسير بينهما = ... ويحدث تداخل هدمي بين موجتين إذا كان فرق المسير بينهما = ...

(ب) عند انكسار شعاع صوتي ينفذ بين وسطين مختلفين فإنّ ..... = $\frac{\sin \phi}{\sin \theta}$

(جـ) يُعطى الزمن الدوري للبندول البسيط من خلال العلاقة التالية: ..... = T

(د) سرعة انتشار الموجة (v) = ... × ..... .

(هـ) يتوقف تردّد النغمة الأساسية لوتر مهتزّ على: ..... ، ..... ، ..... ،

(و) من تطبيقات انعكاس الصوت: ..... ، ..... ، ..... ،

تحقق من معلوماتك

أجب عن الأسئلة التالية:

1. عرّف الحركة التوافقية البسيطة .
2. اذكر أمثلة عن حركة توافقية بسيطة .
3. عرّف صدى الصوت .
4. عرّف تداخل الصوت .
5. تنتشر موجات مائية مستوية طولها الموجي (6)cm بسرعة (21)m/s في حوض الموجات المائية . حين تغيّر عمق الماء في الحوض ، أصبح طولها الموجي (4)cm .

   (أ) احسب سرعة الموجات في الجزء الثاني من الحوض .

   (ب) احسب تردّد الموجات في كلّ من جزأي الحوض .
6. استُخدِم مولّد ذبذبات يُصدر تردّدًا مقداره (50)Hz ليُولّد موجات ساكنة مستعرضة في سلك معدني رفيع ، فتكوّنت في الوتر نقاط تبدو ساكنة تقريبًا ، أي أنّ سعة اهتزازها تُساوي صفرًا . ووُجِد أنّ البعد بين كلّ نقطتين متتابعتين منهما يُساوي (47)cm . ما اسم هذه النقاط؟ احسب سرعة الموجات المستعرضة في الوتر المهتزّ .
7. يقف رجلان وجهًا لوجه على بعد (200)m من بعضهما البعض . أطلق أحدهما النار ، فسجّل الثاني الزمن بين رؤية الوميض وسماع الطلقة النارية (0.6)s . احسب سرعة الصوت .
8. ما الفرق بين التداخل البنائي والتداخل الهدمي؟
9. هل يُعَدّ التداخل خاصّية لبعض أنواع الموجات أم لكلّ أنواعها؟
10. ما سبب تكوّن الموجة الموقوفة؟
11. هل يُمكن لموجة معيّنة أن تُلغي موجة أخرى فتُصبح السعة المشتركة تُساوي صفرًا؟

تحقق من مهاراتك

حلّ المسائل التالية:

1. يُصدر وتر طوله (100)cm وقوّة الشدّ فيه (1225)N نغمة أساسية تردّدها (300)Hz. كيف تجعل الوتر يُصدر نغمة أساسية تردّدها (420)Hz؟
   (أ) بتغيير قوّة الشدّ فيه
   (ب) بتغيير طوله

2. شدّ سلكًا طوله (140)cm وكتلته (52)g بثقل كتلته (16)kg. احسب تردّد نغمته الأساسية إذا كانت عجلة الجاذبية الأرضية $(10)m/s^2$.

3. وتر طوله (50)cm وقوّة شدّه (39.2)N، يُصدر نغمة تردّدها (200)Hz. احسب تردّد وتر آخر من المادّة نفسها وقطره مساوٍ لقطر الوتر المذكور إذا كان طوله (60)cm وقوّة شدّه (88.2)N.

4. أحدثت شوكة رنّانة تردّدها (256)Hz رنينًا مع وتر طوله (50)cm. احسب تردّد الشوكة إذا أحدثت رنينًا مع وتر طوله (40)cm.

5. إذا كان (λ) طول الموجة الصوتية، و(L) طول أقصر عمود هوائي يحدث عنده الرنين، وضّح بالرسم أنّ:
   - طول أقصر عمود هوائي مغلق يساوي ($\frac{1}{4}\lambda$)
   - طول أقصر عمود هوائي مفتوح يساوي ($\frac{1}{2}\lambda$)

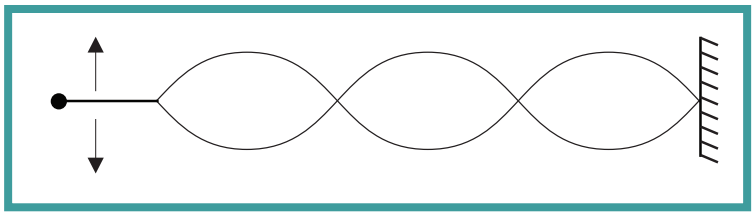
6. أحدث عمود هوائي مغلق رنينًا مع شوكة رنّانة عندما كان طوله (25) cm. وعندما حدث الرنين الثاني (التوافقية الأولى) كان طول العمود الهوائي (75)cm. فإذا كانت سرعة الصوت في الهواء عند إجراء التجربة (33 800)cm/s، احسب:
   (أ) طول الموجة الصادرة
   (ب) تردّد الشوكة الرنانة

7. ما نسبة طول عمود هوائي مغلق إلى طول عمود هوائي مفتوح عندما يُصدر العمود الهوائي المغلق رنينًا ثالثًا، ويُصدر العمود الهوائي المفتوح رنينًا رابعًا متأثّرين باهتزاز شوكة رنّانة واحدة؟

8. أحدثت شوكة رنّانة، تردّدها (600)Hz، رنينًا مع عمود هوائي مفتوح. فإذا علمت أنّه تشكّلت في العمود الهوائي (5) عقد، وأنّ سرعة الصوت (330)m/s احسب:
   (أ) طول موجة الصوت
   (ب) البعد بين عقدتين متتاليتين

9. تكوّنت داخل عمود هوائي مفتوح عقدتان تبعدان (20)cm عن بعضهما:
(أ) احسب طول العمود الهوائي.
(ب) ما اسم النغمة التوافقية الصادرة عن العمود في هذه الحالة؟
(جـ) إذا كان تردّد الصوت الذي يُصدره العمود (800)Hz، فما مقدار سرعة الصوت داخل العمود؟

10. افرض أنّك قمت بتكوين موجة موقوفة من ثلاثة قطاعات، كما في الشكل أدناه. إذا زاد تردد الحبل إلى المثلين، فما عدد القطاعات التي ستحدث في الموجة الموقوفة الجديدة؟



التواصل

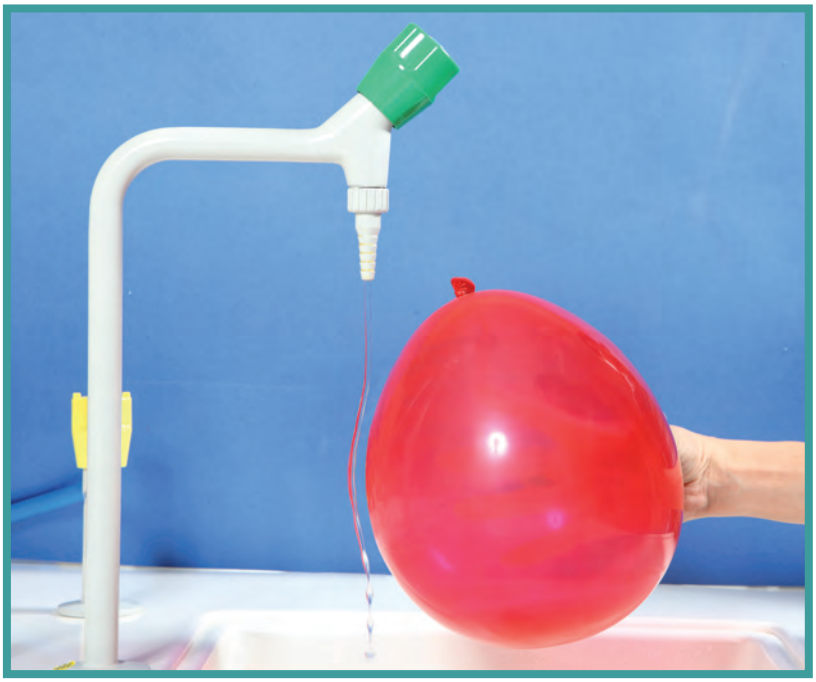
اكتب نصًّا تُبيّن فيه أهمّية الموجات الموقوفة في الموسيقى والآلات الموسيقية.

نشاط بحثي

قم ببحث تُبيّن فيه كيف يصدر الصوت وكيف نسمعه.
حدّد في بحثك دور الأذن بشكل مفصّل في عملية سماع الصوت، واذكر دور الدماغ.

الوحدة الرابعة

الكهربائية الساكنة والتيّار المستمرّ
Electrostatics and Direct Current



اكتشف بنفسك!

الماء المنحني

لإجراء هذا النشاط تحتاج إلى بالون ومصدر ماء (صنبور).

يُفضَّل إجراء هذا النشاط في جوّ جافّ.

1. افتح صنبور الماء لتحصل على ماء ينساب بخطّ رفيع لا يزيد سمكه عن 4 mm.
2. انفخ البالون وقرّبه من الماء.
3. دع البالون الجافّ يحتكّ بسترتك أو بقطعة من الصوف.
4. قرّب البالون ببطء من الماء.

اعتمادًا على ملاحظتك:

1. ماذا اكتسب البالون نتيجة احتكاكه بسترتك أو بقطعة الصوف؟
2. ماذا حدث للماء عندما قرّبت البالون منه قبل احتكاكه؟
3. ماذا حدث للماء عندما قرّبت البالون منه بعد احتكاكه؟
4. هل يُمكننا استخدام مسطرة من الحديد بدلًا من البالون؟ ولماذا؟ اشرح.
5. ماذا تستنتج؟

فصول الوحدة

الفصل الأوّل: الكهربائية الساكنة

الفصل الثاني: التيّار الكهربائي والدوائر الكهربائية

أهداف الوحدة

- يوضّح كيف يُمكن أن يحمل جسم ما شحنة موجبة أو سالبة.
- يصف الكشّاف الكهربائي ويعدد استخداماته البسيطة.
- يُعرّف قانون كولوم.
- يميّز بين الموصّلات والعوازل.
- يصف كيفية شحن مادّة عازلة.
- يصف كيفية شحن موصّل بدون توصيل.
- يصف كيفية شحن عازل عن طريق الاستقطاب.
- يصف ماذا يحدث داخل السلك الحامل للتيّار.
- يُعرّف قانون أوم ويُطبّقه.
- يستنتج العوامل التي تُؤثّر في مقاومة السلك.
- يذكر أسباب الصدمة الكهربائية.
- يربط بين القدرة الكهربائية المستخدمة بواسطة جهاز ما وبين التيّار وفرق الجهد.
- يصف دوائر التوالي ودوائر التوازي ويفهم خصائص كلّ منها.
- يُعرّف المقاومة المكافئة.
- يُوضّح أسباب الحمل الزائد على الدوائر الكهربائية الموجودة في المنازل وكيفية تجنّبها.

معالم الوحدة

اكتشف بنفسك! الماء المنحني

تداخل الفيزياء والكيمياء: الكهربائية والروابط الكيميائية

العلوم والتكنولوجيا والمجتمع: احذر الشحنات

الفيزياء في المجتمع: قطار يسبح في الهواء

الفيزياء في المطبخ: الطبخ بالميكروويف

العلاقة بالكيمياء الكهربائية: التحليل الكهربائي

الفيزياء في المختبر: اختصاصي الكهرباء (الكهربائي)

ارتباط الفيزياء بالتكنولوجيا: قياس بالتيّار الكهربائي

الكهربائية الساكنة
Electrostatics

نحن نعلم أنّ مبدأ الكهربائية يُفسّر ظاهرة البرق، ويُفسّر سبب الشرارات الصغيرة التي تحدث بين قدميك وسجّاد صوفي تمشي عليه، وغيرها من الظواهر التي لطالما تساءلنا عن أسبابها. كما أنّ المصطلحين شحنة كهربائية سالبة، وشحنة كهربائية موجبة هما مصطلحان شائعان في أيّامنا هذه، وسبق أن استخدمناهما في صفوف سابقة وتكلّمنا عن تجاذب الشحنات المختلفة، وتنافر الشحنات المتشابهة.

ولكن لا بدّ من الإشارة إلى أنّ موضوع الكهرباء الساكنة، والذي هو أساس توليد الكهرباء، كان نتيجة تضافر جهود العلماء التي أدّت إلى اكتشافه وتطوّره واستخدامه.

ففي القرن السادس قبل الميلاد، اكتشف طاليس Thales أنّ حجر الكهرمان يُصبح قادرًا على جذب أجزاء صغيرة من القشّ بعد فركه بالفراء. وبعد 2000 عام، وضع الفيزيائي الإنكليزي وليم غلبرت William Gilbert التعبير شحنة Charge. وفي القرن السابع عشر، وبعد ملاحظة أنّ بعض الأجسام المشحونة تتجاذب وبعضها يتنافر، اقترح الفيزيائي الفرنسي شارل دو فاي Charles Du Fay وجود نوعين من الشحنات. بعد ذلك، أتى العالم الأميركي بنيامين فرنكلين وسمّاها الشحنات السالبة والموجبة. ثمّ اكتشف طومسون Josef Thomson الإلكترون، وتمكّن روبرت ميلكيان من قياس شحنته وتبيّن أنّها أصغر شحنة حرّة في الطبيعة. في هذا الفصل، سوف ندرس الشحنات الكهربائية والقوى المؤثّرة بينها. وسنناقش أيضًا طرق الشحن والفرق بين الموصّلات والعوازل.

دروس الفصل

الدرس الأوّل

- الشحنات والقوى الكهربائية

الدرس الثاني

- الموصّلات والعوازل وطرق الشحن

الدرس الثالث

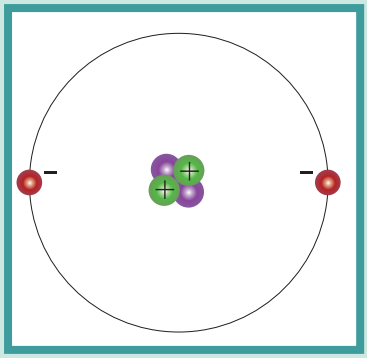
- الشحن بالتأثير واستقطاب الشحن

الشحنات والقوى الكهربائية
Charges and Electrical Forces

الأهداف العامة

- يصف القوى بين الأجسام.
- يُوضّح كيف يمكن أن يكتسب جسم ما شحنة موجبة أو شحنة سالبة.
- يذكر مكونات الكشّاف الكهربائي واستخداماته البسيطة.
- يُعرّف قانون كولوم.
- يُطبّق المعادلة الرياضية لقانون كولوم.

سبق أن تعلّمت عن قوى جذب الأرض التي تجعل الأجسام كلّها تسقط باتّجاهها، وتعلّمت أنّها قوّة تعمل عن بعد من دون الحاجة إلى ملامسة الجسم. وفي هذا الدرس، سوف نتناول نوعًا جديدًا من القوى التي تعمل عن بُعد وتنشأ بين الشحنات الكهربائية، وهي القوّة الكهربائية. وباستخدام قانون كولوم، سوف نتمكّن من حساب مقدار هذه القوّة.



(شكل 28)
تتكوّن النواة في ذرّة الهيليوم من بروتونين ونيوترونين. تنجذب الإلكترونات إلى النواة موجبة الشحنة.

1. أنواع الشحنات الكهربائية Types of Charges

من خلال فهمنا للتركيب الذرّي للمادّة، ندرك أنّ الذرّة متعادلة كهربائيًّا، إذ تحتوي على عدد متساوٍ من البروتونات والإلكترونات. تتجاذب الإلكترونات مع البروتونات، لكنّها تتنافر في ما بينها. يعود هذان التجاذب والتنافر إلى خاصّية تسمّى **الشحنة** الكهربائية **charge**، وقد تمّ الاتّفاق على أنّ شحنة الإلكترون سالبة وشحنة البروتون موجبة. أمّا النيوترونات الموجودة داخل نواة الذرّة فلا تحمل أيّ شحنة، ولا تنجذب ولا تتنافر مع الشحنات الكهربائية.

2. قانون حفظ (بقاء) الشحنة
Conservation of Charge

يحتفظ كلّ من البروتونات والإلكترونات بشحنة كهربائية خاصّة به. تحتوي الذرّة المتعادلة على العدد نفسه من البروتونات والإلكترونات ولا تملك شحنة كهربائية؛ أي أنّ الشحنة الموجبة تعادل تمامًا الشحنة السالبة. فإذا نزعنا من الذرّة أحد إلكتروناتها، فإنّها تفقد خاصّية التعادل الكهربائي، ويُصبح عدد بروتونات النواة أكبر من عدد الإلكترونات، فيُقال إنّ الذرّة أصبحت موجبة الشحنة.

تُسمّى الذرّة التي تحمل شحنة كهربائية «أيونًا». والأيون الموجب له شحنة كلّية موجبة، أي أنّه فَقَد إلكترونًا أو أكثر، فيما الأيون السالب له شحنة كلّية سالبة، أي أنّه اكتسب إلكترونًا أو أكثر.

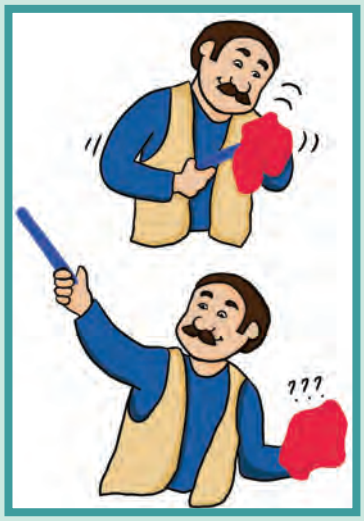
تتكوّن المادّة من الذرّات التي بدورها تتكوّن من إلكترونات وبروتونات (شكل 28) بالإضافة إلى النيوترونات. وكلّ جسم يحتوي على أعداد متساوية من البروتونات والإلكترونات لا يحمل أي شحنة كهربائية (متعادل). أمّا في حال عدم التساوي، فيُصبح هذا الجسم مشحونًا كهربائيًّا، وذلك جرّاء نزع عدد من الإلكترونات أو إضافته.

تكون الإلكترونات التي تدور بالقرب من النواة شديدة الترابط معها، في حين أنّ الإلكترونات التي تدور في أبعد المدارات يكون ترابطها بالنواة ضعيفًا ويسهل انتزاعها من الذرّة. تختلف قيمة الطاقة اللازمة لنزع إلكترون ما طبقًا لنوع الموادّ المختلفة، فإلكترونات المطّاط تكون أكثر ارتباطًا بأنويتها من إلكترونات الفراء. لذلك، عند احتكاك قضيب مطّاطي بالفراء (شكل 29)، تنتقل الإلكترونات من الفراء إلى المطّاط، فيُصبح قضيب المطّاط محتويًا على إلكترونات زائدة، ويُصبح سالب الشحنة. أمّا الفراء، فيحدث له نقص في الإلكترونات ويصبح موجب الشحنة. أمّا الحرير، فله ميل للإلكترونات أكثر من ميل الزجاج والبلاستيك لها، فتنتقل الإلكترونات من الزجاج إلى الحرير عند الاحتكاك.

ونختصر ما سبق بالقول إنّ الجسم الذي لا تتساوى فيه أعداد البروتونات والإلكترونات يكون مشحونًا كهربائيًّا. فإن احتوى على إلكترونات أكثر أصبح سالب الشحنة، وإن احتوى على إلكترونات أقلّ أصبح موجب الشحنة. تنتقل الشحنات بثلاث طرق: **الاحتكاك (الدلك Rubbing)، التوصيل (اللمس) Conduction والتأثير (الحثّ) Induction.**

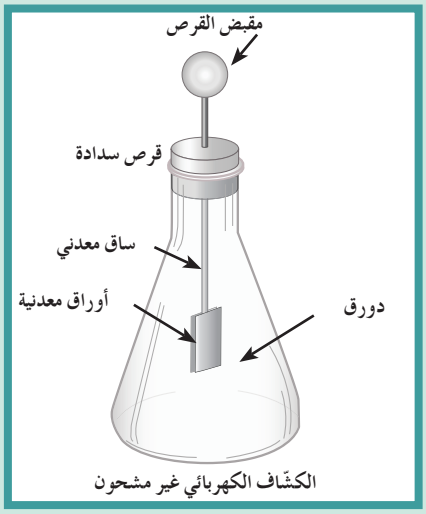
- الشحن بالدلك هو انتقال الإلكترونات من جسم إلى آخر بالاحتكاك بين الجسمين مثل بين الصوف وساق البلاستيك.
- والشحن بالتوصيل هو انتقال الإلكترونات من جسم مشحون إلى جسم آخر بالتلامس المباشر.
- والشحن بالتأثير هو تحرّك الإلكترونات إلى جزء من الجسم بسبب الشحنة الكهربائية لجسم آخر لا يلامسه. وسوف ندرسه بالتفصيل في الدروس اللاحقة في هذا الفصل.

من السهل ملاحظة أنّ **الشحنات لا تفنى ولا تُستحدَث بل تنتقل من مادّة إلى أخرى، ما يعني أنّ الشحنات الكهربائيّة محفوظة.** وينطبق مبدأ حفظ الشحنة الكهربائية على كلّ عمليات الشحن، سواء تلك التي تحدث على نطاق واسع مثل البرق أو التي تحدث على نطاق ضيّق كما في مجال الذرّة. ولم يتمّ رصد أيّ حالة فناء أو استحداث للشحنة حتى الآن في أيّ من العمليات الفيزيائية، لذا يُعتبَر قانون حفظ الشحنة الركن الأساس في علم الفيزياء.

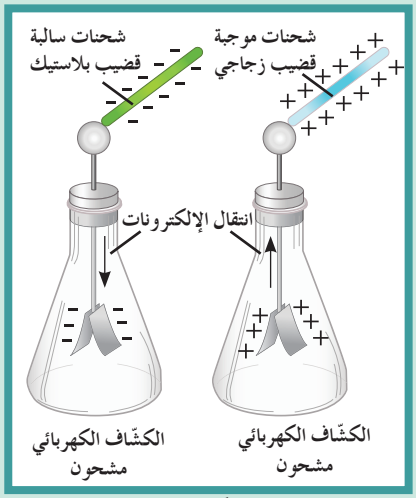


(شكل 29)

تنتقل الإلكترونات من الفراء إلى قضيب المطّاط، فيصبح قضيب المطّاط سالب الشحنة. هل أصبحت شحنة الفراء موجبة أم سالبة؟



(شكل 30)



(شكل 31)

في الأجسام التي تحمل شحنة كهربائية، يكون هناك تغيّر (بالزيادة أو النقصان) في عدد إلكتروناتها، ولا يُمكن تجزئة الإلكترون الواحد. هذا يعني أنّ الشحنة الكهربائية التي يحملها أيّ جسم هي مضاعفات صحيحة لشحنة الإلكترون الواحد. لا يُمكن وجود شحنة تعادل شحنة $(1000.5)e^-$ أو $(10.5)e^-$ إلكترون، فإنّ مقدار أيّ شحنة كهربائية يجب أن يكون مضاعفًا صحيحًا لشحنة الإلكترون الواحد.

3. الكشف عن الشحنة Detecting Charge

إنّ الشحنة الكهربائية غير مرئية، لكن يُمكن اكتشافها بواسطة أداة خاصّة تُسمّى الكشّاف الكهربائي Electroscope. يتألّف الكشّاف الكهربائي النموذجي (الإلكتروسكوب) من ساق معدنية لها قرص في أعلاها وساق في أسفل حيث توجد ورقتان أو صفيحتان من معدن رقيق جدًّا (ألومنيوم أو فضة أو ذهب). عندما يكون الكشّاف الكهربائي غير مشحون، تتدلّى الورقتان نحو الأسفل (شكل 30).

عندما يلمس القرص جسمًا مشحونًا، تسري الشحنات عبر الساق حتّى تصل إلى الورقتين اللتين تُصبحان مشحونتين بالشحنة نفسها، لذا، فإنّهما تتنافران أو تنفرجان. تتنافر ورقتا الكشّاف الكهربائي إذا شُحِنتا بشحنة سالبة أو موجبة (شكل 31).

4. التفريغ الكهربائي Discharging

لا يحتفظ الجسم المشحون بشحنته إلى الأبد، فالإلكترونات تميل إلى الحركة لتعود بالجسم إلى حالته المتعادلة. وعند جمع جسمين يحمل أحدهما شحنة موجبة والآخر شحنة سالبة، تنتقل الإلكترونات من الجسم ذي الشحنة السالبة إلى الجسم الموجب الشحنة. **يُسمّى فقدان الكهرباء الساكنة الناتج عن انتقال الشحنات الكهربائية بعيدًا عن الجسم بالتفريغ الكهربائي Discharging.**

5. قانون كولوم Coulomb's Law

تتّبع القوّة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين قانون التربيع العكسي. وكان العالم الفرنسي شارل كولوم (1736 – 1806م) (شكل 32) أوّل من اكتشف هذه العلاقة وحدّد العوامل التي تعتمد عليها القوّة الكهربائية بين شحنتين نقطيتين، ووضع قانون يُعرَف باسمه.

ينصّ قانون كولوم على ما يلي:

القوّة الكهربائية بين جسمين مشحونين، مُهمل حجمهما بالنسبة إلى المسافة الفاصلة بينهما، تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب الشحنتين وعكسيًّا مع مربّع المسافة الفاصلة بينهما.

ومن الملاحظ أنّ قانون كولوم يشبه قانون نيوتن للجاذبية، حيث تؤدّي

(شكل 32)
شارل أوغستان دي كولوم (1736 – 1806) الفيزيائي الفرنسي الذي اكتشف قانون القوّة الكهربائيّة بين الجسيمات المشحونة. وسُمِّيت وحدة قياس الشحنة الكهربائية باسمه.

تداخل الفيزياء والكيمياء

الكهربائية والروابط الكيميائية

إنّ الإلكترونات لذرّة ما قريبة من بروتونات الذرّات المجاورة ممّا هي قريبة من إلكترونات هذه الذرّات، وبالتالي تكون قوى تجاذب الإلكترونات مع البروتونات القريبة أقوى من قوى تنافرها مع الإلكترونات. وعندما تُصبح قوى التجاذب كافية، تتّحد الذرّات معًا لتكوّن جزيئات، أي أنّ قوى الروابط الكيميائية التي تعمل على ترابط الذرّات معًا لتكوّن جزيئًا هي قوى كهربائية تعمل داخل حيّز ضيّق حيث لا يوجد توازن بين قوى الجذب والتنافر. فمن المنطق لكلّ من يُدرّس علم الكيمياء أن يكون على معرفة بالكهربائية.

ويُعبَّر عن قانون كولوم بالعلاقة الرياضية التالية:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

حيث إنّ:

- $q_1 q_2$ تُمثّل مقدار كلّ من الشحنتين ووحدة قياسهما في النظام الدولي للوحدات هي (C).
- d تُساوي المسافة بين شحنتين (m).
- k هي ثابت كولوم وتعتمد على الوسط الذي توجد فيه الشحنتين. بحسب النظام الدولي للوحدات وفي الفراغ أو الهواء، يُساوي ثابت كولوم $9 \times 10^9\ Nm^2/C^2$.
- F هي القوّة الكهربائية ووحدة قياسها هي النيوتن (N). إنّ اتّجاه القوّة يكون دائمًا على امتداد الخطّ الواصل بين الشحنتين.

مثال (1)

تُمثّل ذرّة الهيدروجين المفردة (شكل 33) أبسط تركيب للذرّة. تتكوّن نواتها من بروتون كتلته kg (1.7×10^{-27}) يدور حوله إلكترون واحد كتلته kg (9.1×10^{-31})، ومتوسّط نصف قطر المدار يساوي m (5.3×10^{-11}). قارن بين القوّة الكهربائية وقوّة الجاذبية لكلّ من البروتون والإلكترون في هذه الذرّة.

[علمًا بأن مقدار شحنة الإلكترون = مقدار شحنة البروتون

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

مقدار ثابت الجذب الكوني $G = 6.67 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم:

المعلوم: كتلة البروتون: $m_p = 1.7 \times 10^{-27}$ kg ومقدار شحنته 1.6×10^{-19} c

كتلة الإلكترون: $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg ومقدار شحنته 1.6×10^{-19} c

المسافة: $d = 5.3 \times 10^{-11}$ m $G = 6.67 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$

غير المعلوم: **(أ)** القوّة الكهربائية بين البروتون والإلكترون: $F_e = ?$

(ب) قوّة الجاذبية بين البروتون والإلكترون $F_g = ?$

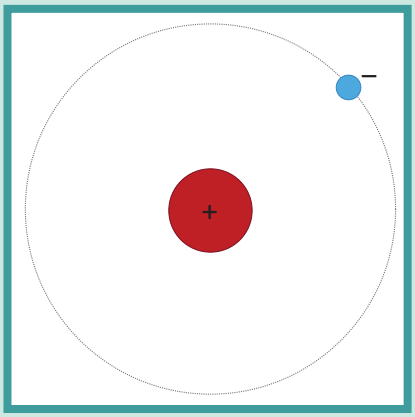
2. احسب غير المعلوم:

(أ) باستخدام العلاقة الرياضية: (قانون كولوم)

$$F = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:

$$F_e = k \frac{qq'}{d^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{(5.3 \times 10^{-11})^2} = 8.2 \times 10^{-8}\ N$$



(شكل 33)
ذرّة الهيدروجين

أسئلة تطبيقية وحلّها

1. جسم صغير مشحون بشحنة مقدارها $6\mu C$ موجودة على بعد $3cm$ من كرة صغيرة شحنتها $1.5\mu C$.
احسب مقدار القوّة الكهربائية بين الشحنتين؟
الناتج: $90N$

2. جسمان مشحونان يُؤثّر أحدهما على الآخر بقوّة $4N$. احسب مقدار هذه القوّة بعد مضاعفة قيمة كلّ من الشحنتين.
الناتج: $16N$

3. جسمان مشحونان يُؤثّر أحدهما على الآخر بقوّة $20N$. احسب مقدار هذه القوّة بعد مضاعفة المسافة بينهما عن مقدارها السابق.
الناتج: $5N$

مثال (1) تابع

(ب) باستخدام العلاقة الرياضية التالية:

$$F = G\frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:

$$F_g = \frac{Gm_e \cdot m_p}{d^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.7 \times 10^{-27}}{(5.3 \times 10^{-11})^2}$$

$$= 3.7 \times 10^{-47}\ N$$

وللمقارنة بين القوّتين:

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{8.2 \times 10^{-8}}{3.7 \times 10^{-47}} = 2.2 \times 10^{39}\ N \Rightarrow F_e >> F_g$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

إنّ القوّة الكهربائية أكبر بكثير من قوّة الجاذبية كما كنّا نتوقّع.

فإنّ القوى الكهربائية تعادل 10^{39} مرّة قوّة الجاذبية، أي أنّ القوى الكهربائية بين مكوّنات الذرّة تفوق بكثير قوى الجاذبية المتبادلة بين أيّ من هذه المكوّنات.

مثال (2)

جسمان يحمل كلّ منهما شحنة كهربائية معيّنة يُؤثّر أحدهما على الآخر بقوّة مقدارها (400)N.

احسب مقدار هذه القوّة عندما تُصبح المسافة بينهما (1/2) قيمتها الأساسية.

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.

المعلوم: القوّة الكهربائية بين الشحنتين: $F_1 = 400N$

المسافة الجديدة: $d_2 = \frac{d_1}{2}$

غير المعلوم: القوّة الكهربائية بعد تقليل المسافة $F_2 = ?$

2. احسب غير المعلوم:

باستخدام العلاقة الرياضية التالية:

$$F = k\frac{q_1 q_2}{d^2}$$

نُلاحظ أنّ القوّة تتناسب عكسيًّا مع مربّع المسافة، وبالتالي نستطيع أن نستنتج العلاقة التالية:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

بالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على: $\frac{F_2}{400} = \frac{d_1^2}{\frac{d_1^2}{4}}$

$$F_2 = 400 \times 4 = 1\ 600\ N$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

إنّ القوّة الكهربائية F_2 أكبر من F_1 كما كنّا نتوقّع، لأنّ القوّة بين الشحنتين تزداد إذا قلّت المسافة بينهما والعكس صحيح.

مراجعة الدرس 1-1

أوّلًا – كيف تؤثر الجسيمات ذات الشحنات المتشابهة على بعضها البعض؟ وكيف تؤثر الجسيمات ذات الشحنات المختلفة على بعضها البعض؟

ثانيًا – ما الطرائق الثلاث التي تُنتَج بها الكهرباء الساكنة؟

ثالثًا – عندما يتمّ شحن المشط كهربائيًّا عبر دلكه بواسطة قطعة قماش من الحرير، كيف يُمكن معرفة ما إذا كانت شحنته الكهربائية سالبة أم موجبة؟

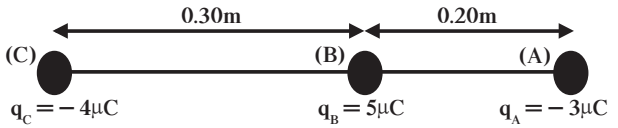
رابعًا – برأيك، لماذا تُجهَّز شاحنة لنقل الغاز أو النفط بسلسلة معدنية تتدلّى من الخلف بشكل يبقى طرفها الأسفل دائمًا على تماسّ مع الأرض؟

خامسًا – **(أ)** احسب مقدار القوّة الكهربائية بين شحنتين $q_1 = 50\mu C$ و$q_2 = 20\mu C$ يبعدان عن بعضهما بعضًا $(20)cm$؟

(ب) كم تصبح هذه القوّة إذا استبدلت الشحنة الأولى بشحنة لها ضعف قيمتها.

سادسًا – ثلاث كرات متماثلة A وB وC. الكرة A لها شحنة مقدارها $(+20)\mu C$ والكرة B لها شحنة مقدارها $(-40)\mu C$ والكرة C لا يوجد عليها أيّ شحنة. معتمدًا على قانون بقاء الشحنة، احسب شحنة كلّ من الكرات الثلاث بعد أن تلامس الكرة C الكرة A ومن ثمّ الكرة B.

سابعًا – احسب مقدار القوّة المؤثرة على الكرة C وقيمة شحنتها q_C، من جرّاء وجودها بالقرب من الكرتين A وشحنتها q_A، وB وشحنتها q_B (انظر الشكل المرفق).



ثامنًا – جسمان يحمل كلّ منهما شحنة كهربائية معيّنة يُؤثّر أحدهما على الآخر بقوّة مقدارها $(400)N$. احسب مقدار هذه القوّة عندما تُصبح المسافة بينهما $\left(\frac{1}{8}\right)$ من قيمتها الأساسية.

العلوم والتكنولوجيا والمجتمع

احذر الشحنات

يجب على الفنّيين الذين يصلحون الدوائر الإلكترونية، كتلك الموجودة في الحاسوب، أن يحذروا انتقال أيّ شحنات من أجسامهم إلى الدوائر. يُمكن لهذه الشحنات أن تُدمّر الدوائر وأيّ معلومات تحويها. يقف بعض الفنّيين على وسادة عازلة ويرتدون أربطة حول معصمهم تتّصل بسلك أرضي للتسريب الكهربائي تمنع انتقال الشحنات إلى الدوائر الإلكترونية الحسّاسة.

الموصّلات والعوازل وطرق الشحن
Conductors, Insulators and Charging

الأهداف العامة

- يُميّز بين الموصّلات والعوازل.
- يتعرّف الشحن بالدلك واللمس.

(شكل 34)
هل يكون سريان الشحنات لعدّة كيلومترات في الأسلاك المعدنية أسهل من سريانها عدّة سنتيمترات في مادّة عازلة؟

في خطوط نقل القدرة الكهربائية (شكل 34)، تسري الشحنات الكهربائية عبر الأسلاك لكنّها لا تستطيع أن تسري في الموادّ التي تفصل الأسلاك عن الأبراج المعدنية التي تحملها. يدلّ هذا على أنّ الشحنات الكهربائية لا تستطيع المرور بجميع الموادّ. في هذا الدرس، سوف نُصنّف الموادّ إلى موادّ موصّلة وموادّ عازلة، وذلك بحسب سماحها للشحنات بالمرور فيها، وسوف نتطرّق إلى كيفية شحن بعض الموادّ الموصّلة والعازلة.

1. الموصّلات والعوازل Conductors and Insulators

تتحرّك الإلكترونات بسهولة أكبر داخل بعض الموادّ. تتميّز إلكترونات المدارات الخارجية في ذرّات الفلزّات بأنّها ضعيفة الترابط مع نواة الذرّة، ما يعطيها حرّية الحركة داخل حدود هذا الفلزّ. تُعتبَر مثل هذه الموادّ موصّلات جيّدة، فالفلزّات هي موصّلات جيّدة لحركة الشحنات الكهربائية (الإلكترونات)، وللحرارة أيضًا، وذلك لاحتوائها على إلكترونات حرّة. في المقابل تكون إلكترونات بعض الموادّ، كالمطّاط والزجاج مثلًا، مترابطة جيّدًا داخل الذرّات.

لا تتمتّع هذه الإلكترونات بحرّية الحركة إلى ذرّات أخرى ضمن هذه المادّة. وتكون مثل هذه الموادّ رديئة التوصيل للكهرباء، وبالتالي للحرارة للسبب نفسه، وتسمّى هذه الموادّ العوازل.

يُمكن تصنيف كلّ الموادّ من حيث قابليتها للتوصيل الكهربائي. فالموادّ التي تأتي على رأس القائمة هي **الموصّلات Conductors**، والتي تأتي في أسفلها هي **العوازل Insulators**.

المسافة بين رأس القائمة وأسفلها كبيرة جدًّا. يكون التوصيل الكهربائي للفلزّات مثلًا أكبر من التوصيل الكهربائي للزجاج بملايين من المرّات.

إنّ تصنيف المادّة من حيث كونها موصّلًا أو عازلًا يعتمد على مدى قوّة ترابط الإلكترونات داخلها.

2. أشباه الموصّلات Semiconductors

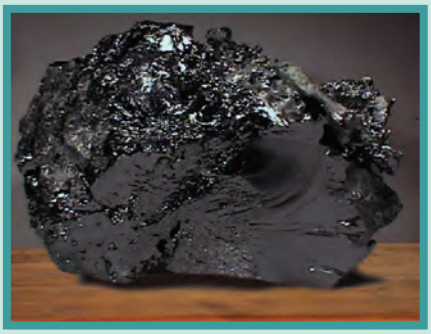
توجد موادّ معيّنة مثل السيليكون (شكل 35) والجرمانيوم تكون عوازل جيّدة، وهي على شكل بلّورات نقيّة من درجات الحرارة القريبة من الصفر المطلق. وتزيد قدرتها على التوصيل عند استبدال ذرّة واحدة من كلّ مليون ذرّة بذرّة من عنصر مختلف، بحيث تحدث زيادة أو نقص إلكترون واحد من التركيب البلّوري لها، ومن ثمّ يُمكن استخدامها كمادّة عازلة أو كمادّة موصّلة للكهرباء. تُسمّى هذه الموادّ **أشباه موصّلات Semiconductors**. والوصلة الثلاثية الترانزستور ما هي إلّا ثلاث شرائح رقيقة من أشباه الموصّلات المتلاصقة. يدخل الترانزستور (شكل 36) في العديد من الأجهزة التي نستخدمها في حياتنا اليومية.

3. الموصّلات الفائقة Super Conductors

تكتسب بعض الفلزّات قدرة غير محدودة على التوصيل الكهربائي (مقاومة صفر لسريان الشحنات)، وذلك على درجات حرارة منخفضة تقترب من الصفر المطلق، وتُسمّى هذه الفلزّات الموصّلات الفائقة **Super conductors**. ومنذ العام 1987، تمّ اكتشاف «موصّلات فائقة» تعمل على درجة حرارة أعلى من (100)k، وهي مركّبات عديدة غير فلزّية. تتميّز الموصّلات الفائقة بأنّها بمجرّد تكوّن تيّار داخلها، تستمرّ الإلكترونات المكوّنة له في الحركة إلى ما لا نهاية.

4. الشحن بالدلك واللمس Charging by Friction and Contact

اعتدنا جميعًا الآثار الناتجة عن الشحن الناتج من الدلك. مثلًا، عند مداعبة هرّ بفرك شعر جسمه، نسمع صوت الفرقعات الخفيفة للشرارات الصغيرة المتكوّنة، أو عند تمشيط شعرنا أمام المرآة في الظلام نرى ونسمع فرقعات الشرارات المتكوّنة. في هذه الحالات، تنتقل



(شكل 35)
يُعتبَر السيليكون من أكثر أشباه الموصّلات استعمالًا.

(شكل 36)
ترانزستور يُستخدَم في الأجهزة الإلكترونية كالراديو، والتلفزيون، والكومبيوتر.

الفيزياء في المجتمع

قطار يسبح في الهواء

في اليابان، تمّ تصميم قطار يعمل على قضبان مصنوعة من الموادّ فائقة التوصيل. وعندما تبرد هذه القضبان إلى درجة الحرارة المطلوبة، يرتفع القطار بكامله عن سطح القضبان نتيجة التنافر المغناطيسي بين القطار والسكّة ويصبح وكأنّه يسير في الهواء، ما يمنع الاحتكاك ويُقلّل من استهلاك الوقود.

الإلكترونات بالدلك بين مادّتين. فانتقال الإلكترونات من مادّة إلى أخرى نتيجة الدلك يُسمّى عملية الشحن بالدلك.

يُمكن أن تنتقل الإلكترونات من مادّة إلى أخرى بمجرّد اللمس. فعند وضع جسم مشحون بحيث يُلامس جسمًا آخر غير مشحون (متعادل)، تنتقل بعض الشحنات إلى الجسم المتعادل إذا كان من مادّة موصّلة للكهرباء، وتتوزّع الشحنات على سطحه لأنّ الشحنات المتشابهة تتنافر. أمّا إذا كان من مادّة عازلة، فيجب أن يلامس الجسم المشحون عدّة نقاط منه للحصول على توزيع متماثل تقريبًا للشحنات على الجسم العازل. وهذا ما يُفرّق شحن جسم موصّل عن شحن جسم عازل.

مراجعة الدرس 1-2

أوّلًا – ما الفرق بين الموصّلات الجيّدة والعوازل الجيّدة؟

ثانيًا – (أ) ما السبب في أنّ بعض الموادّ مثل المطّاط والزجاج تكون عوازل جيّدة؟

(ب) ما السبب في أنّ الفلزّات تكون جيّدة لتوصيل الكهرباء؟

ثالثًا – عرّف أشباه الموصّلات.

رابعًا – عرّف الموصّلات الفائقة.

الشحن بالتأثير واستقطاب الشحنة
Charging by Induction and Charge Polarization

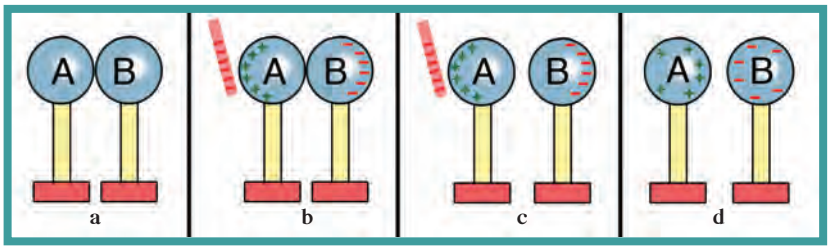
الأهداف العامة

- يصف كيفية شحن مادّة عازلة.
- يصف كيفية شحن موصّل بدون توصيل.
- يصف كيفية شحن عازل عن طريق الاستقطاب.

ناقشنا في الدرس السابق الشحن بالدلك واللّمس. في هذا الدرس، سنتناول الشحن بالتأثير ويُسمّى أيضًا الشحن بالحثّ أو التحريض.

1. الشحن بالتأثير (الحثّ) Charging by Induction

عند تقريب جسم مشحون إلى سطح موصّل ما، تتحرّك الإلكترونات على هذا السطح بدون أيّ تلامس بين الجسمين.



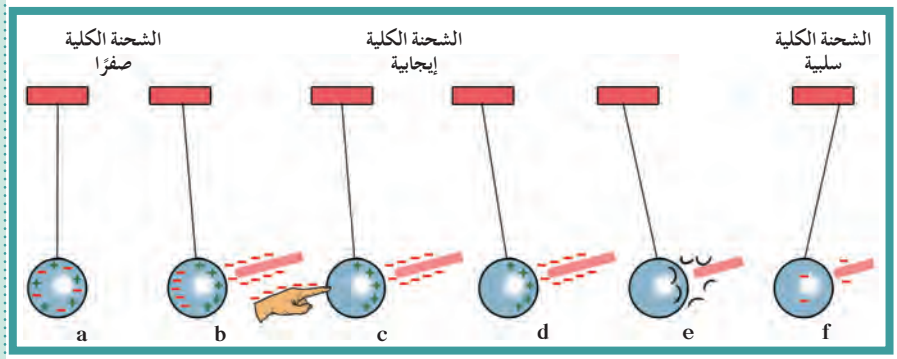
(شكل 37)
الشحن بالتأثير

بالنظر إلى الكرتين المعدنيتين المعزولتين A و B في (شكل 37)، تتلامس الكرتان في الصورة «a» من الشكل، أمّا في الصورة «b»، فيقرب جسم سالب الشحنة من الكرة «A».

تتنافر الإلكترونات من الكرة «A» مع الشحنة السالبة وتبتعد إلى الكرة «B» وتتراكم عليها تاركة شحنة موجبة على الكرة «A».

لقد تمّت إعادة توزيع الشحنات بين الكرتين. وهنا يقال إنّه تمّ تأثير شحنة على الكرتين. في الصورة «c»، تمّ فصل التلامس بين الكرتين مع وجود الجسم المشحون. تُوضّح الصورة «d» إزالة الجسم المشحون، ونُلاحظ أنّ الكرتين شُحِنَتا بشحنتين متساويتين ولكن مختلفين في النوع.

ويُقال إنّ الكرتين شُحِنَتا بالتأثير . وحيث إنّه لم يحدث أيّ تلامس بين الكرتين والجسم المشحون ، فإنّ هذا الجسم يحتفظ بشحنته الأصلية .
يُمكن أيضًا شحن كرة معدنية بالطريقة نفسها إذا قمنا بلمسها بعد فصل شحناتها بالتأثير (الحثّ) ، وذلك على الشكل التالي:



(شكل 38)
الحثّ عن طريق التوصيل بالأرض

لنأخذ كرة معدنية معلّقة بواسطة خيط عازل كما في (شكل 38) .
في الصورة «a» (شكل 38) ، تكون الشحنة الكلّية على الكرة صفرًا .
وفي الصورة «b» تمّت إعادة توزيع الشحنة بواسطة الحثّ لوجود جسم مشحون ولكن بقيت الشحنة الكلّية على الكرة مساوية صفرًا . في الصورة «c» ، يتمّ لمس الكرة باليد لإزالة الشحنات السالبة من الكرة .
تُوضّح الصورة «d» أنّ الكرة أصبحت تحمل شحنة موجبة ، وتُوضّح الصورة «e» انجذاب الكرة إلى القضيب سالب الشحنة ، وتأرجحها ناحيته لملامسته . ما حدث هنا هو انتقال للإلكترونات من القضيب إلى الكرة ، فتعادلت شحنتها مع هذا الأخير ثمّ أصبحت سالبة ، لذا يُقال إنّه تمّ شحن الكرة باللمس . تُوضّح الصورة «f» حدوث ما نتوقّعه من تنافر بين الكرة والقضيب لتشابه شحنتيهما .
عند لمس سطح الكرة المعدنية بالإصبع (الصورة c) ، نكون قد أوجدنا ممرًّا للشحنات المتنافرة مع شحنة القضيب (الإلكترونات) إلى مستودع هائل للشحنات الكهربائية ، ونقصد بذلك الأرض . **فعندما نسمح للشحنات بالحركة من أو إلى موصّل ما بلمسها ، يُقال إنّنا قمنا «بتأريض» هذا الموصّل، أي توصيله بالأرض Grounding .**

1.1 تطبيقات على الشحن بالتأثير: العواصف الرعدية ومانعة الصواعق

يحدث الشحن بالتأثير (الحثّ) أثناء العواصف الرعدية ، حيث تستحثّ الشحنة السالبة لأجزاء السحب السفلية شحنة موجبة على سطح الأرض في المنطقة الواقعة أسفل هذه السحب (شكل 39) . وكان بنيامين فرانكلين (رئيس سابق لأميركا) أوّل من أوضح أنّ البرق ليس سوى ظاهرة كهربائية ، وذلك عند إجرائه تجربته الشهيرة بالطائرة الورقية .

(شكل 39)
الشحنة السالبة أسفل السحب تستحثّ شحنة موجبة على الأرض .

فمعظم البرق الذي يحدث ناتج عن تفريغ كهربائي بين شحنات السحب المختلفة أو بين السحب وسطح الأرض المشحونين بنوعين مختلفين من الشحنات، وهو من أخطر أنواع التفريغ الكهربائي الذي نطلق عليه اسم "الصاعقة".

اكتشف فرانكلين أيضًا أنّ الشحنات تنتقل بسهولة كبيرة من أو إلى الأجزاء المدبّبة من الموصّل، وقام بتصميم أوّل مانعة صواعق. فعند تثبيت مانعة الصواعق أعلى المبنى ووصلها معدنيًّا بالأرض، يعمل طرفها المدبّب على تجميع الإلكترونات من الهواء، ومانعًا بذلك تكوّن شحنة موجبة على المبنى بالتأثير.

هذا التسريب المستمرّ للشحنات يمنع تراكم الشحنات على المبنى، والذي قد يُؤدّي إلى تفريغ كهربائي بين السحب والمبنى، أي تكوُّن صاعقة. ولكن إن كان تسريب الشحنات من الهواء غير كافٍ وأدّى إلى إحداث برق، فإنّ مانع الصواعق يجذب الصاعقة (الشحنات) برأسه المدبّب ويُفرغها في الأرض، وبالتالي يحمي المبنى.

2. استقطاب الشحنة Charge Polarization

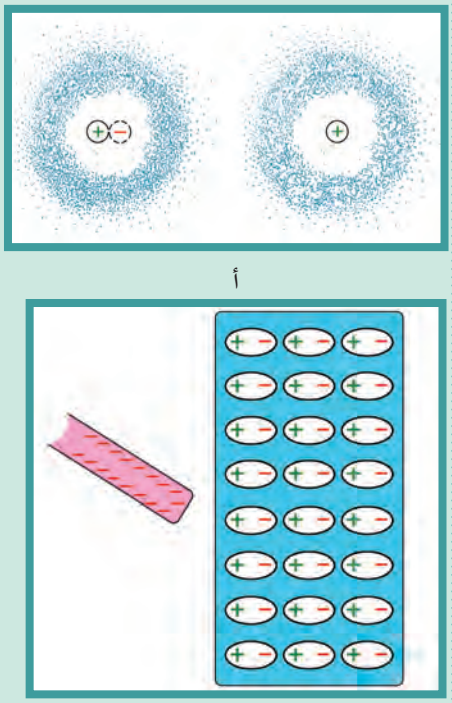
لا يقتصر الشحن بالتأثير على الموصّلات. فعند تقريب قضيب مشحون من مادّة عازلة، لا يحدث فصل للشحنات لأنّ العوازل لا تحوي إلكترونات حرّة.

بدلًا من الانفصال، يحصل ترتيب جديد للشحنات داخل الذرّات أو الجزيئات المكوّنة للمادّة العازلة (شكل 40 أ)، فيحمل أحد جانبي الذرّة (أو الجزيء) بالتأثير شحنة موجبة (أو سالبة) أكثر من الجانب المقابل. وتُعتبَر الذرّة (أو الجزيء) مستقطبًا كهربائيًّا.

فإذا كان القضيب سالب الشحنة مثلًا، فإنّ جانب الذرّة موجب الشحنة يُصبح مواجهًا للقضيب سالب الشحنة والطرف الآخر السالب يكون بعيدًا. فتترتّب الذرّات أو الجزيئات السطحية على هذا النحو (شكل 40 ب).

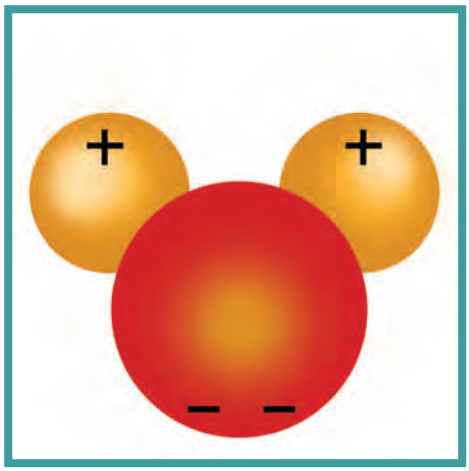
هذا ما يُفسّر سبب انجذاب قصاصات الورق الصغيرة المتعادلة كهربائيًّا إلى جسم مشحون، حيث يحدث استقطاب لجزيئات الورق بحيث يكون الجانب الموجب للشحنة أقرب إلى الجسم السالب الشحنة. فيكون التجاذب هو الأقوى، فتنجذب قصاصات الورق إلى الجسم المشحون.

ولكن بعد أن تلتصق القصاصات بالجسم المشحون تعود لتطير فجأة مبتعدة عنه. وهذا يوضّح حدوث شحن بالتلامس، حيث اكتسبت قصاصات الورق شحنة تُماثل شحنة الجسم فتنافرت معه.



(شكل 40)
(أ) عند تقريب شحنة سالبة من اليسار، يحدث ترتيب جديد لشحنات الذرّة أو الجزيء المتعادل بحيث يكون الجانب الأيسر حاملًا لشحنة موجبة أكثر من التي يحملها الجانب الأيمن الذي يُصبح سالبًا.
(ب) تُصبح جميع الذرّات أو الجزيئات القريبة من السطح مستقطَبة كهربائيًّا.

الكثير من الجزيئات في حالتها الطبيعية – مثل الماء – تكون مستقطبة كهربائيًّا. فتوزيع الشحنات خلال الجزيء لا يكون متماثلًا. تتركّز شحنة سالبة عند أحد جوانبه أكثر من الجانب الآخر (شكل 41). تُسمّى مثل هذه الجزيئات ثنائية القطبية الكهربائية. ولو لم تكن جزيئات الماء ثنائية القطبية، لما كان عمل الميكروويف ممكنًا. ولفهم دور الثنائية القطبية في عمل الميكروويف، راجع الفيزياء في المطبخ.



(شكل 41)
توزيع غير متماثل للشحنات على جزيء الماء، وهو يمثّل ثنائية قطبية كهربائية.

الفيزياء في المطبخ

الطبخ بالميكروويف

- تصوّر إناء مملوءً بكرات مخصّصة للعبة كرة الطاولة والبعض من الأزرار الصغيرة، وكلّها في حالة سكون. تصوّر الآن أنّ هذه الأزرار بدأت تقفز فجأة للأمام وللخلف لتتصادم مع الكرات بطريقة تشابه اصطدام رفاص السفن بماء البحر. من الطبيعي أن تنشط الكرات لتتحرّك في جميع الاتجاهات.
- تعمل أفران الأشعة الميكرونية بمبدأ مشابه. جزيئات الماء في الفرن هي كالأزرار وتقفز أيضًا للأمام والخلف بإيقاع يتوافق مع الموجات الميكرونية في الفرن. أمّا الكرات فتمثّل جزيئات المادة التي ترغب في طهوها.

وبين جزيئات الغذاء. ومن الطبيعي ألّا يعمل فرن الموجات الميكرونية في غياب الجزيئات المستقطبة في الغذاء. لذا تستطيع هذه الموجات النفاذ من الأطباق المصنوعة من الورق أو السيراميك أو الفلين الصناعي بدون تأثير في الطبق.

مراجعة الدرس 1-3

أوّلًا – (أ) ما الطرائق الرئيسية لشحن جسم بشحنة كهربائية معيّنة؟
(ب) أيّ من هذه الطرائق لا يحدث فيها تلامس؟

ثانيًا – ما البرق؟ وما الصاعقة؟ وما الفرق بينهما؟

ثالثًا – ما الدور الذي تُؤدّيه مانعة الصواعق؟

رابعًا – يُسبّب جسم مشحون استقطابًا كهربائيًّا لجسم عازل كهربائيًّا. اذكر سبب تجاذبهما.

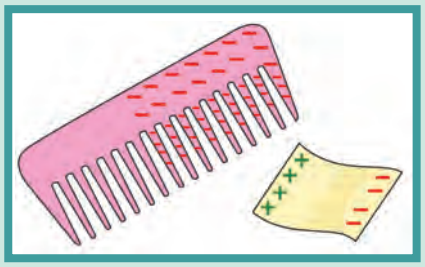
خامسًا – ما المقصود بثنائي القطبية الكهربائية؟

سادسًا – هل من المؤكّد أنّ الشحنات المستحثّة المتكوّنة على الكرتين A وB في (شكل 37) متساوية في المقدار ومختلفة في النوع؟

سابعًا – ما السبب في أنّ مقدار شحنة القضيب في (شكل 37) لا يتغيّر قبل شحن الكرتين وبعده، لكنّه يتغيّر فور إتمام الشحن في (شكل 38)؟

الشحن

اشحن مشطًا بشحنة سالبة من خلال تسريح شعرك. ويُفضَّل أن تقوم بتلك العملية في الجوّ الجافّ. قرّب المشط إلى بعض قصاصات الورق الصغيرة وفسّر مشاهداتك. ثمّ قرّب هذا المشط من تيّار ماء ضعيف يسري من الصنبور. هل هناك أيّ تفاعل بين المشط وتيّار الماء؟ هل يعني ذلك أنّ تيّار الماء مشحون؟ لماذا؟



دروس الفصل
الدرس الأوّل
الدرس الثاني
الدرس الثالث
الدرس الرابع

عندما نتحدّث عن الكهرباء اليوم، لا نفكّر كثيرًا في الكهرباء الساكنة، بل نفكّر في الكهرباء التي تضيء منازلنا، وتُشغّل برّاداتنا ومكيّفاتنا وغسّالاتنا وحواسيبنا، أي الكهرباء المتحرّكة.

تعرّفنا في الفصل السابق على الكهرباء الساكنة حيث تظلّ الشحنات الكهربائية مستقرّة على سطح المادّة. في هذا الفصل، سنتعرّف على الكهرباء المتحرّكة حيث تتحرّك الإلكترونات عبر موصّل ما مكوّنة تيّارًا كهربائيًّا له سرعة واتّجاه محدّدان. وسنتعرّف أيضًا على الكمّيات الفيزيائية والمفاهيم المرتبطة بالتيّار الكهربائي وسنتعلّم توصيل الدوائر الكهربائية البسيطة والمركّبة.

التيّار الكهربائي ومصدر الجهد
Electric Current and Voltage Source

الأهداف العامة

- يصف سريان الشحنة الكهربائية .
- يصف ماذا يحدث داخل السلك الحامل للتيّار .
- يُعطي أمثلة لمصادر الجهد التي تُحافظ على فرق الجهد في الدوائر الكهربائية .

بالرغم من اكتشاف ظاهرة الكهرباء منذ زمن بعيد ، إلّا أنّ الاستفادة منها واستخدامها بشكل علمي تأخّر إلى حين اختراع البطّاريّة من قبل العالم اليساندرو فولتا (شكل 42) في العام 1800 . فقد استُخدمَت بطّاريّة فولتا (شكل 43) كمصدر للقوّة الدافعة الكهربائية لإنتاج تيّار كهربائي مستمرّ في الدوائر الكهربائية .

في هذا الدرس ، سنتناول موضوع التيّار الكهربائي الذي يُمثّل تدفّقًا للشحنات ، ومصدره الذي يضمن استمرار هذا التدفّق بالتفصيل .

(شكل 42)
العالم الإيطالي أليساندرو فولتا (1745 – 1827) أجرى أبحاثًا كثيرة عن الكهرباء الساكنة واخترع البطّاريّة .

(شكل 43)
تتألّف بطّاريّة فولتا ، وهي الخطوة الأولى في صنع البطّاريّات الجافّة التي نستخدمها الآن ، من مجموعة أقراص معدنية من النحاس والزنك . يُوضَع كلّ قرص من النحاس فوق قرص من الزنك ، وتُوضَع بين كلّ زوج من هذه الأقراص قطعة من الورق المقوّى المشبع بالماء المالح .

1. تدفّق الشحنات Flow of Charges

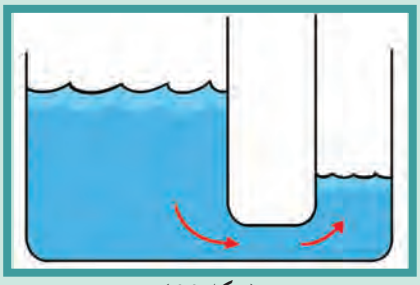
هل تذكر من دراستك للحرارة ودرجة الحرارة ، أنّ الحرارة تسري خلال الموصّل عندما يوجد فرق في درجة الحرارة بين طرفيه؟ تتدفّق الحرارة من الطرف ذي درجة الحرارة الأعلى إلى الطرف ذي درجة الحرارة الأقلّ . وعندما تتساوى درجة حرارة طرفي الموصّل ، يتوقّف حينها تدفّق الحرارة .

وبالمثل ، عندما يختلف فرق الجهد الكهربائي بين طرفي موصّل كهربائي ، تتدفّق الشحنات من أحد طرفي الموصّل إلى الطرف الآخر . تتدفّق الشحنات عندما يكون هناك **فرق جهد Potential difference** بين طرفي الموصّل ، ويستمرّ سريان الشحنات إلى أن يتساوى جهد الطرفين . وعندما لا يكون هناك فرق جهد ، يتوقّف سريان الشحنات عبر الموصّل .

مثال على ذلك ، إذا لامس أحد طرفي سلك ما الأرض بينما اتّصل الطرف الآخر بكرة مولّد (فان دي جراف) المشحون إلى جهد عالٍ ، تتدفّق موجة من الشحنات في السلك لفترة قصيرة إلى أن يتساوى جهد كرة المولّد مع جهد الأرض .

للحصول على تدفّق مستمرّ للشحنات في موصّل ما، يجب تأمين بعض الإجراءات للحفاظ على فرق الجهد بين طرفي الموصّل أثناء تدفّق الشحنات.

هذه الحالة مماثلة لحالة تدفّق المياه من خزّان عالٍ إلى آخر منخفض (شكل 44) حيث يستمرّ تدفّق المياه فقط طالما هناك فرق في مستوى المياه.



(شكل 44)
تتدفّق المياه من طرف الأنبوب ذي الضغط المرتفع إلى الطرف الآخر ذي الضغط المنخفض. يتوقّف التدفّق عندما يتساوى الضغط.

وللمحافظة على استمرار التدفّق، يجب وضع مضخّة (شكل 45) مناسبة تُحافظ على فرق مستوى المياه. وينطبق ذلك على التيّار الكهربائي أيضًا.

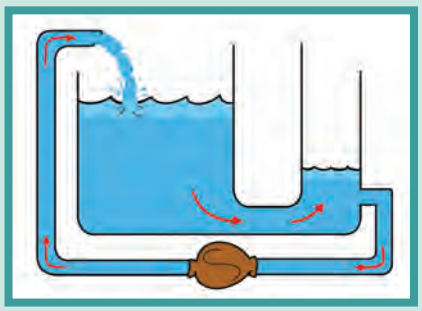
2. التيّار الكهربائي Electric Current

التيّار الكهربائي Electric Current هو سريان الشحنات الكهربائية.

في الموصّلات الصلبة: تقوم الإلكترونات بحمل الشحنات في الدائرة حيث تتمتّع هذه الإلكترونات بحرّية الحركة في الشبكة الذرّية. وتُسمّى هذه الإلكترونات إلكترونات التوصيل. أمّا البروتونات، فهي موجودة داخل نواة الذرّة ومحكومة في أماكن ثابتة.

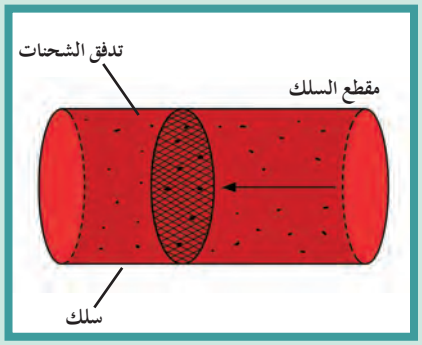
في الموائع، كما هو الحال في الإلكتروليت الموجود في بطّاريّات السيّارات، تُشكّل الأيونات السالبة والموجبة سريان الشحنة الكهربائية.

يُقاس التيّار الكهربائي بالأمبير، ويُرمَز له في النظام الدولي للوحدات (SI) بالرمز A. إنّ **الأمبير الواحد هو سريان شحنة مقدارها C(1) لكلّ ثانية** (شكل 46) (تذكّر أنّ C(1) هو الوحدة الدولية للشحنة، ويُساوي الشحنة الكهربائية 6.24×10^{18} إلكترون). على سبيل المثال، تمرّ شحنة مقدارها C(5) في كلّ ثانية في أيّ مقطع من سلك يحمل تيّارًا شدّته A(5)، أي مقدار كبير جدًّا من الإلكترونات. أمّا في سلك يحمل تيّارًا شدّته A(10)، فيمرّ ضعف عدد الإلكترونات خلال أيّ مقطع من السلك في الثانية الواحدة. ويُمكن أن نُمثّل ذلك بالعلاقة التالية: $\boxed{I = \frac{Q}{t}}$، أي أنّ **شدّة التيّار تُقاس بكمّية الشحنات التي تمرّ خلال أيّ مقطع في الثانية الواحدة.**



(شكل 45)
يستمرّ تدفّق المياه بسبب وجود مضخّة تُحافظ على الفرق في مستوى الخزّان.

لاحظ أنّ السلك الحامل للتيّار الكهربائي لا يضمّ محصّلة شحنة كهربائية. ففي أثناء تدفّق التيّار، تندفع الإلكترونات السالبة بأعداد كبيرة عبر الشبكة الذرّية المؤلّفة من الأنوية الموجبة الشحنة للذرّات. في الظروف العادية، يتساوى عدد الإلكترونات في السلك مع عدد البروتونات الموجبة الموجودة في أنوية الذرّات.



(شكل 46)
عندما يساوي معدّل سريان الشحنة التي تمرّ عبر أيّ مقطع في السلك 1C لكلّ ثانية (أي أنّ عدد الإلكترونات يُساوي 6.24×10^{18})، فهذا يعني أنّ شدّة التيّار تساوي أمبيرًا واحدًا.

عندما تسري الإلكترونات في سلك ما، يتساوى عدد الإلكترونات الذي يدخل من أحد طرفيه مع عدد الإلكترونات الذي يخرج من الطرف الآخر، وفي كلّ لحظة تُساوي محصّلة شحنة السلك صفرًا.

3. مصادر الفولت Voltage Sources

لا تسري الشحنات إلّا عند وجود فرق جهد. ويتطلّب استمرار التيّار وجود «مضخّة كهربائية» مناسبة تُحافظ على استمرار فرق الجهد. ويُسمّى الشيء الذي يُحافظ على استمرار فرق الجهد مصدر الجهد. إذا قمت بشحن كرة معدنية بشحنة موجبة وأخرى بشحنة سالبة، يُمكنك بذلك أن تُنشئ بينهما فرق جهد كبيرًا. لا يُعتبَر مصدر الفولت هذا مضخّة كهربائية جيّدة، لأنّه عند توصيل الكرتين بموصّل ما، تتساوى الجهود في لحظة قصيرة نتيجة لدفعة مفردة من الشحنات المتحرّكة، وهذا غير عملي.

تستطيع الأعمدة الجافّة والأعمدة السائلة والمولّدات أن تُحافظ على الانسياب المستقرّ (فالبطّاريّة عبارة عن عمودين أو أكثر متّصلين ببعضهما بعضًا). تمدّنا الأعمدة الجافّة، والأعمدة السائلة، والمولّدات بالطاقة اللازمة لتحريك الشحنات في الأعمدة الجافّة والسائلة، وتتحوّل الطاقة الناتجة عن التفاعل الكيميائي الحادث داخل العمود إلى طاقة كهربائية.

إنّ فرق الجهد بين نقطتين (v) يُساوي عدديًّا مقدار الشغل المبذول (الطاقة) لنقل وحدة الشحنات بين هاتين النقطتين $V = \frac{E}{q}$.

تقوم المولّدات، كالمحوّلات الموجودة في السيّارات، بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية. تتوفّر طاقة الجهد الكهربائي المتولّدة بأيّ وسيلة من الوسائل عند طرفي العمود أو المولّد. إنّ القوّة الدافعة الكهربائية هي عبارة عن طاقة الجهد لكلّ شحنة مقدارها كولوم واحد ناتجة عن الإلكترونات المتحرّكة بين الطرفين (وتُسمّى أحيانًا القوّة الدافعة الكهربائية (Electro motive force (e.m.f).

تقوم القوّة الدافعة الكهربائية بتأمين الضغط الكهربائي اللازم لتحريك الإلكترونات بين الطرفين في الدائرة.

تستخدم مؤسّسات الطاقة المولّدات الكهربائية الضخمة لتوفير (220)V، وتعمل هذه المولّدات على الدائرة المتّصلة بطرفي القابس (الفيشة)، ما يعني أنّ طاقة مقدارها (220)J تمدّ كلّ شحنة مقدارها كولوم واحد لتعمل على سريان التيّار في الدائرة.

هناك دائمًا التباس بين الشحنات المتدفّقة عبر الدائرة والفولت المؤثّر عبرها. وللتفرقة بين هاتين الفكرتين، نفترض وجود أنبوب طويل مملوء بالمياه. سوف تسري المياه عبر الأنبوب إذا كان هناك فرق في الضغط عبر الأنبوب أو بين طرفيه، وذلك من الطرف ذي الضغط العالي إلى الطرف الآخر ذي الضغط المنخفض.

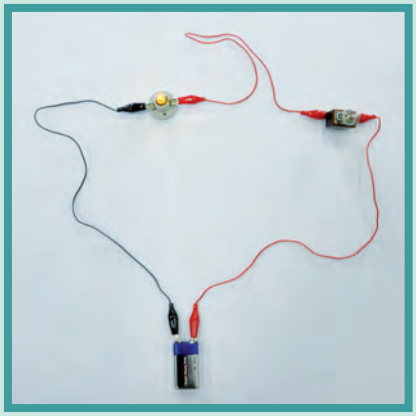
أسئلة تطبيقية وحلّها

1. احسب مقدار الشحنة لتيّار شدّته (3)A يمرّ في سلك في ثانية واحدة.

الناتج: (3)C

2. احسب شدّة التيّار الناتج عن مرور شحنة مقدارها (1.5)C في سلك خلال (10) ثوانٍ.

الناتج: (0.15)A



(شكل 47)
تسري كلّ شحنة مقدارها كولوم في الدائرة التي تتّصل بطرفي عمود (1.5)V وتكون مزوّدة بطاقة مقدارها (1.5)J.

المياه هي التي تسري وليس الضغط. وبالمثل، يمكننا القول إنّ الشحنات هي التي تتدفّق عبر الدائرة نتيجة لوجود قوّة دافعة كهربائية، ولكن لا يُمكنك القول إنّ القوّة الدافعة الكهربائية تنساب عبر الدائرة. القوّة الدافعة لا تتحرّك، أمّا الشحنات فهي التي تسري عبر الدائرة. القوّة الدافعة هي التي تُسبّب التيّار.

مراجعة الدرس 2-1

أوّلًا – ما الشروط التي يجب توفّرها لسريان الحرارة؟ وما الشروط المماثلة التي يجب توفّرها لسريان الشحنة الكهربائية؟

ثانيًا – ما المقصود بكلمة الجهد؟ وما معنى فرق الجهد؟

ثالثًا – ما الشروط اللازمة لاستقرار سريان الشحنات في سلك ما؟

رابعًا – ما هو التيّار الكهربائي؟

خامسًا – ما هو الأمبير؟

سادسًا – ما هي القوّة الدافعة الكهربائية؟

سابعًا – بطّاريّة تبذل طاقة J(18) على شحنة C(3). احسب فرق جهد هذه البطّاريّة.

أسئلة تطبيقية وحلّها

1. احسب فرق الجهد بين نقطتين A وB، إذا كان مقدار الشغل المبذول لنقل C(5) بينهما يُساوي J(125).

الناتج: V(25)

2. احسب الطاقة اللازمة لشحنة مقدارها C(2) لنقلها بين نقطتين لهما فرق جهد يُساوي V(10).

الناتج: J(20)

الدرس 2-2

المقاومة الكهربائية وقانون أوم
Electric Resistance and Ohm's Law

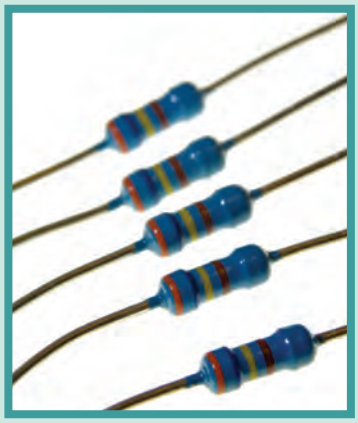
الأهداف العامة

- يُعرّف قانون أوم ويُطبّقه .
- يصف العوامل التي تُؤثّر في مقاومة السلك .
- يذكر أسباب الصدمة الكهربائية .

رأينا في الدرس السابق أنّ كمّية الشحنات التي تسري في سلك موصّل ضمن دائرة مغلقة تعتمد على القوّة الدافعة الكهربائية التي يُزوّدها مصدر الجهد . لكنّ السؤال الذي نطرحه هو ، هل القوّة الدافعة الكهربائية هي العامل الوحيد المؤثّر في تدفّق الشحنات؟ أم أنّ لنوع الموصّل تأثيرًا على مرور الشحنات وتدافعها؟

في هذا الدرس ، سنتعرّف دور الموصّل في إعاقة التيّار الكهربائي المارّ به ، واختلاف هذه الإعاقة بين موصّلين مختلفين ، أي أنّنا سنتعرّف على المقاومة الكهربائية .

(شكل 48)
الفيزيائي الألماني جورج سيمون أوم



(شكل 49)
مقاومات لها ألوان محدّدة تُعطي قيمة المقاومة .

1. المقاومة الكهربائية Electric Resistance

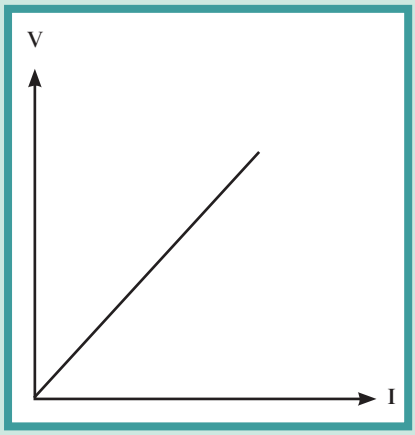
المقاومة الكهربائية للموصّل هي الإعاقة التي تُواجهها الإلكترونات أثناء انتقالها في الموصّل بسبب تصادمها مع بعضها ومع ذرّات الفلزّ المارّة به . وإذا عرّضنا موصّلين مختلفين إلى فرق الجهد نفسه ، سيُعيق كلّ منهما التيّار الكهربائي على نحو مختلف ، أي أنّ لكلّ موصّل مقاومة تختلف عن الأخرى . تعتمد مقاومة سلك ما على المقاومة النوعية ρ للمادّة المصنوع منها هذا السلك (جدول 1) .

(جدول 1)
المقاومة النوعية لعدّة موادّ

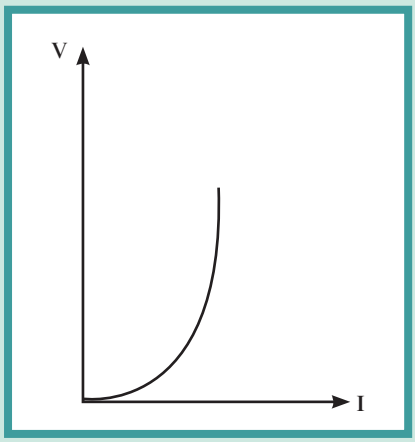
المادّة	المقاومة النوعية (ρ) عند درجة حرارة الغرفة
فضّة	$1.47 \times 10^{-8}\ \Omega.m$
نحاس	$1.72 \times 10^{-8}\ \Omega.m$
ألومنيوم	$2.6 \times 10^{-8}\ \Omega.m$
كربون	$3.5 \times 10^{-5}\ \Omega.m$

كما تعتمد المقاومة الكهربائية على سماكة السلك (مساحة مقطعه A) وطوله (ℓ). فتكون مقاومة الأسلاك السميكة أقلّ من مقاومة الأسلاك الرفيعة، في حين تكون مقاومة الأسلاك الطويلة أكبر من مقاومة الأسلاك القصيرة.
يُمكن تمثيل ذلك بالعلاقة التالية: $R = \rho \frac{\ell}{A}$

تعتمد المقاومة الكهربائية للمادّة أيضًا على درجة حرارتها. ويُمكن أن تُصبح مقاومة الموادّ صفرًا على درجات الحرارة المنخفضة جدًّا وعندها تُسمّى هذه الموادّ بالموادّ فائقة التوصيل.
تُقاس المقاومة الكهربائية بوحدة تُسمّى «أوم» تخليدًا للفيزيائي الألماني جورج سيمون أوم (شكل 48) الذي قام باختبار أسلاك مختلفة في الدوائر الكهربائية لمعرفة مدى تأثير مقاومة السلك على التيّار، وهي تُقاس بواسطة جهاز الأوميتر.
من المقاومات الكهربائية (شكل 49) ما هو ثابت المقدار ويُرمَز له بالشكل (R)، ومنها ما هو متغيّر ويُرمَز له بالشكل (R). ونُعرّف **الأوم على أنّها مقاومة موصّل حين يكون فرق الجهد بين طرفيه 1V ويسري فيه تيّار شدّته 1A.**



(شكل 50)



(شكل 51)

2. قانون أوم Ohm's Law

اكتشف أوم أنّ شدة التيّار الكهربائي المار في الدائرة يتناسب طرديًّا مع فرق الجهد المطبق عبر الدائرة، عند ثبات المقاومة ودرجة الحرارة.
ويتناسب عكسيًا مع المقاومة عند ثبات فرق الجهد ودرجة الحرارة.
ويُعبَّر عنه بالمعادلة الرياضية التالية: $I = \frac{V}{R}$
هذه العلاقة بين شدة التيّار وفرق الجهد والمقاومة تُسمّى **قانون أوم الذي ينص على أن فرق الجهد بين طرف مقاومة ثابتة يتناسب طرديًا مع شدة التيار المار فيه عند ثبات درجة الحرارة.** إنّ العلاقة بين الوحدات للكمّيات الفيزيائية الثلاث هي: $\frac{1\ V}{1\ \Omega} = 1\ A$
في أيّ دائرة كهربائية مقاومتها ثابتة، تتناسب شدّة التيّار مع فرق الجهد، أي أنّنا نحصل على ضعف التيّار بمضاعفة فرق الجهد.
فكلّما كبر الجهد ازدادت شدّة التيّار، أمّا إذا تضاعفت مقاومة الدائرة فإنّ التيّار سيقلّ إلى النصف.
إنّ المقاومات التي تحقق قانون أوم، حيث يتغيّر التيّار المارّ فيها على نحو ثابت مع فرق الجهد على طرفيها تُسمّى مقاومات أومية Ohmic Restistances.
يُمثّل (شكل 50) العلاقة الطردية الخطّية بين شدّة التيّار والجهد لمقاوم أومي. أمّا إذا تغيّر التيّار على نحو غير خطّي مع فرق الجهد بين طرفي المقاومة، تكون هذه المقاومات لا تحقق قانون أوم وتُسمّى مقاومات لا أومية. يُمثّل (شكل 51) العلاقة الطردية اللاخطّية بين شدّة التيّار والجهد لمقاوم غير أومي. سنتناول في هذا الدرس المقاومات الأومية فقط.

مثال (1)

في إحدى تجارب أوم كان فرق الجهد بين طرفي السلك (10)V وكانت شدّة التيّار فيه (2)A.
احسب:
(أ) مقاومة السلك؟
(ب) طول السلك إذا كانت مقاومته النوعية $(1.6 \times 10^{-8})\ \Omega \cdot m$. ومساحة مقطعه $(3)mm^2$.

طريقة التفكير في الحلّ (أ)

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.
المعلوم: فرق الجهد: $V = 10V$
شدّة التيّار: $I = 2A$
غير المعلوم: مقاومة السلك: $R = ?$

2. احسب غير المعلوم:
باستخدام قانون أوم: $V = IR$
وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{10}{2} = 5\ \Omega$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟
تتوافق النتيجة مع مقدار الجهد وشدّة التيار المعطيين.

طريقة التفكير في الحلّ (ب)

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.
المعلوم: المقاومة النوعية: $\rho = 1.6 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot m$
مساحة المقطع: $A = 3mm^2$
غير المعلوم: طول السلك: $\ell = ?$

2. احسب غير المعلوم:
باستخدام المعادلة التالية: $R = \rho \frac{\ell}{A}$

$$5 = 1.6 \times 10^{-8} \frac{\ell}{3 \times 10^{-6}} \Rightarrow \ell = \frac{15 \times 10^{-6}}{1.6 \times 10^{-8}} = 937.5\ m$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟
إنّ طول السلك كبير جدًّا.

3. قانون أوم والصدمة الكهربائية
Ohm's Law and Electric Shock

ما الذي يُسبّب الصدمة الكهربائية في جسم الإنسان؟ هل هو التيّار أم فرق الجهد؟ إنّ الآثار المدمّرة للصدمة هي نتيجة مرور تيّار كهربائي في جسم الإنسان. من خلال قانون أوم، يُمكننا أن نرى أنّ هذا التيّار يعتمد على الجهد المُستخدَم، كما يعتمد على المقاومة الكهربائية لجسم الإنسان. تعتمد مقاومة جسمك على ظروفه حيث تتراوح بين حوالى $\Omega(100)$ إذا كنت متعرّقًا وحوالى $\Omega(500000)$ إذا كان جلدك جافًا. فإذا لمست قطبي بطّاريّة بأصابع جافّة، ستكون مقاومة جسمك الطبيعية لتدفّق الشحنات حوالى $\Omega(100000)$. إنّك لا تشعر عادة بـ $(12)V$، وعند $(24)V$ بالكاد تشعر بدغدغة. ومن جهة أخرى، إذا كان جلدك رطبًا، ستكون $(24)V$ غير مريحة.

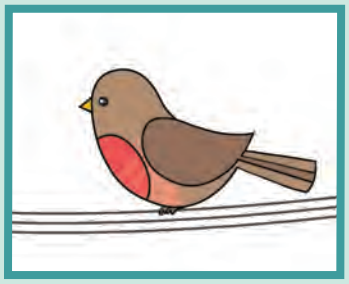
(جدول 2)

تأثير التيّارات الكهربائية المختلفة على الجسم

التيّار بالأمبير	التأثير
0.001	يمكن الإحساس به
0.005	آلام
0.010	فقدان التحكّم في العضلات
0.070	التأثير الخطير للقلب واحتمال الموت خلال ثانية

يشرح (جدول 2) آثار الكمّيات المختلفة من التيّار على جسم الإنسان.
يُقتل العديد من الناس كلّ عام بسبب التيّار في الدوائر الكهربائية التي تعمل بجهد قدره V(220). إذا كنت واقفًا على الأرض ولمست بيدك أداة كهربائية في المنزل متّصلة بـ V(220)، وكان فيها عيب ما، فهذا يعني أن فرق جهد كهربائي مقداره V(220) موجود بين يديك والأرض. سوف يُوفّر نعل حذائك بطبيعة الحال مقاومة كبيرة بين قدميك والأرض، وبالتالي لن يكون التيّار كافيًا لإيذائك.
أمّا إذا وقفت عاري القدمين في حوض استحمام أنابيبه متّصلة بالأرض، فسوف تنخفض مقاومة جسمك بدرجة كبيرة وقد يُسبّب فرق الجهد V(220) مرور تيّار مؤذٍ بالجسم.
يمكن لقطرات الماء التي تتجمّع حول مفاتيح تشغيل بعض الأجهزة الكهربائية، مثل مجفّف الشعر (شكل 52)، أن توصّل التيّار للمُستخدِم. على الرغم من أنّ الماء المقطّر يُعدّ عازلًا كهربائيًّا جيدًا، إلّا أنّ الأيونات الموجودة في الماء العادي تُقلّل المقاومة الكهربائية بدرجة كبيرة.
هذه الأيونات ساهمت فيها الموادّ المذابة في الماء وخاصّة الأملاح لتصبح مادّة موصِّلة للكهرباء. بعد التعرّق، تبقى عادة طبقة من الملح على الجلد، فإذا ابتلّت هذه الطبقة مرة أخرى يُؤدّي ذلك إلى انخفاض مقاومة جلدك لتُصبح عدة مئات أوم أو أقلّ. لذلك يُعتبَر من الخطير جدًّا الإمساك بالأجهزة الكهربائية أثناء الاستحمام.
من المؤكّد أنّك رأيت الطيور (شكل 53) وهي تحطّ على أسلاك الكهرباء المرتفعة، ذات الجهد العال. إنّ كلّ جزء من أجسام هذه الطيور له الجهد العالي نفسه مثل السلك. على الرغم من ذلك، لا تتأثّر الطيور ولا تشعر بأي شيء. لكي يتأثّر الطائر ويشعر بصدمة كهربائية، يجب أن يكون هناك فرق في الجهد الكهربائي بين جزأين من جسمه. في هذه الحالة يمرّ معظم التيّار في المسار ذي المقاومة الكهربائية الأقلّ، والذي يصل بين هاتين النقطتين من جسم الطائر.
تخيّل أنّك سقطت من سطح جسر ما، ثم نجحت في الإمساك بأحد أسلاك خطوط القدرة العالية فأنقذك من السقوط على الأرض. ما دمت لم تُمسك بأيّ شيء له جهد مختلف، لن تُصعَق على الإطلاق حتّى ولو كان للسلك جهد أعلى بعدة آلاف من الفولتات من جهد الأرض. وحتى لو كنت ممسكًا بيديك الاثنتين، فلن يسري التيّار من يد إلى اليد الأخرى، وذلك لعدم وجود فرق يُذكَر في الجهد بين يديك. أمّا إذا مددت يدك لتمسك بسلك آخر له جهد مختلف... فسوف تُصعَق!!
تحدث الصدمات الكهربائية الخفيفة عندما يوجد فرق جهد بين أسطح الأجهزة الكهربائية وأسطح الأجهزة القريبة منها. إذا قمت بلمس سطحين مختلفين في الجهد، ستصبح موصِّلًا للتيّار. وفي بعض الأحيان، تكون الصدمة أكثر من مجرّد صدمة خفيفة. للتغلّب على هذه المشكلة، تتّصل الأسطح الجانبية للأجهزة الكهربائية المنزلية بسلك أرضي متّصل بالفرع الثالث بقابس أو فيشة ثلاثية الأفرع (شكل 54). تكون جميع الأسلاك الأرضية في جميع المقابس متّصلة مع بعضها بعضًا خلال نظام توصيل أسلاك المنزل. تتّصل الأفرع المسطّحة بالسلك المزدوج الذي يحمل

(شكل 52)
إنّ الإمساك بمجفّف الشعر الكهربائي أثناء الاستحمام هو كوضع أصابعك في قابس الكهرباء الحيّ.



(شكل 53)
يُمكن للطائر أن يقف من دون أن يتضرّر من أحد الأسلاك ذات الجهد العالي ولكن من الأفضل له ألّا يصل إلى سلك آخر مجاور! لماذا؟

(شكل 54)
يصل الفرع الثالث جسم الجهاز الكهربائي المنزلي مباشرة بالأرض، وبالتالي أيّ شحنة تتجمّع على الجهاز تصل إلى الأرض.

التيّار . أمّا إذا اتّصل السلك الحيّ (الحامل للتيّار الكهربائي) بسطح معدني لأحد الأجهزة الكهربائية عن طريق الخطأ، ثم أمسكت أنت بالجهاز، فسوف يتّجه التيّار إلى الأرض ولا يسبّب لك صدمة كهربائية .

من آثار الصدمة الكهربائية احتراق الأنسجة في الجسم أو اضطراب الوظائف الطبيعية للأعصاب . يمكن للصدمة الكهربائية أن تفسد مراكز الأعصاب المتحكّمة بالتنفّس .

أوّل ما عليك القيام به لإنقاذ الضحايا هو إبعادهم عن مصدر الطاقة الكهربائية مستخدمًا عصًا خشبية أو ما شابه ذلك من الأدوات غير الموصّلة للكهرباء، وذلك لتجنّب إصابتك أنت أيضًا بالصدمة الكهربائية، وبعد ذلك ابدأ بالتنفّس الاصطناعي .

مراجعة الدرس 2-2

أوّلًا – ما مقاومة جهاز كهربائي عندما يمرّ به تيّار شدّته A(12) ويكون متّصلًا بمصدر V(120)؟

ثانيًا – ما مقدار شدّة التيّار الذي يمرّ خلال مصباح كهربائي مقاومته Ω(100) عندما يكون فرق الجهد V(50)؟

ثالثًا – إذا كانت مقاومة جسمك $\Omega(10^5)$، ما مقدار التيّار الذي سيمرّ في جسمك عندما تلمس طرفي بطّاريّة V(12)؟

رابعًا – إذا كان جلدك رطبًا وكانت مقاومتك الكهربائية Ω(1000) فقط، فما مقدار التيّار الذي يمرّ خلاله جسمك عندما تلمس طرفي بطّاريّة V(50)؟

خامسًا – ما هي المقاومة الكهربائية؟

سادسًا – هل المقاومة الكهربائية أكبر في سلك سميك وقصير أم في آخر طويل ورفيع؟

ما هو قانون أوم؟

سابعًا – إذا كان الجهد المؤثّر على دائرة كهربائية ثابتًا، ما التغيّر الحاصل في التيّار عند مضاعفة المقاومة؟

ثامنًا – ما التغيّر الذي يطرأ على شدّة التيّار إذا ظلّت المقاومة ثابتة بينما انخفض الجهد إلى نصف مقداره السابق؟

تاسعًا – كيف يُؤثّر البلل على مقاومة جسمك؟

عاشرًا – كيف يُمكن للطائر أن يقف على سلك كهربائي ذي جهد عال من دون أن يتأذّى؟

حادي عشر – ما وظيفة الفرع الثالث في الفيشة الكهربائية الموجودة في المنازل؟

التحليل الكهربائي

تتعلّق الكيمياء الكهربائية بالطاقة الكهربائية وبالتغيير الكيميائي . يُمكن للجزيئات الموجودة في سائل ما أن تنكسر وتنفصل عن بعضها البعض بتأثير التيّار الكهربائي، وهذا ما يُعرَف بالتحليل الكهربائي . مثال على ذلك، تمرير التيّار الكهربائي في الماء حيث تنفصل مكوّنات الماء وهي الهيدروجين والأكسجين . تُستخدَم هذه الطريقة الشائعة بشكل عملي عند إعادة شحن بطّاريّة السيّارة . ويُستخدَم التحليل الكهربائي أيضًا لاستخراج المعادن من الموادّ الخام . فالألومنيوم هو معدن معروف يُستخرَج بواسطة التحليل الكهربائي . في يومنا هذا، بات الألومينيوم شائع الاستخدام، ولكن قبل بداية إنتاجه بواسطة التحليل الكهربائي في عام 1886، كان أغلى بكثير من الذهب والفضّة .

القدرة الكهربائية
Electrical Power

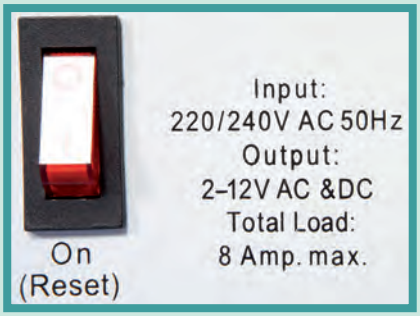
الأهداف العامة

- يربط بين القدرة الكهربائية المستخدمة بواسطة جهاز ما وبين التيّار وفرق الجهد.
- يحسب الطاقة الكهربائية المستهلكة وكيفيّة احتساب مقدارها.

تعلّمنا سابقًا أنّ **القدرة الميكانيكية Mechanical Power هي الشغل المبذول خلال وحدة الزمن**. وقد استخدمنا هذا المفهوم في الميكانيكا، وتم قياسها بواسطة وحدة الواط (W).

نُلاحظ في نشاطاتنا اليومية أنّ وحدة القياس هذه مدوّن على الكثير من اللوحات الوصفية للأجهزة الكهربائية (شكل 55)، مثل المكواة أو مجفّف الشعر أو على زجاج المصابيح، وهذا يدلّ على أنّ لتلك الأجهزة قدرة كهربائية، وأنّ اختلاف مقدارها بين جهاز وآخر يدلّ على اختلاف قدرتها. فاختلاف القدرة الكهربائية بين مصباحين موجودين على الجهد نفسه هو الذي يجعلهما يضيئان بشدّتين مختلفتين. فنلاحظ أنّ شدّة ضوء مصباح قدرته 100W أكبر من شدّة ضوء مصباح قدرته 40W (شكل 56).

في هذا الدرس، سنتعرّف القدرة الكهربائية وكيفية تحديد مقدارها في بعض الأجهزة، وارتباط هذا المقدار بشدة التيّار الكهربائي وفرق الجهد. وسوف نجد مقدار الطاقة المستهلكة في الأجهزة الكهربائية.



(شكل 55)
لوحة وصفية لجهاز يظهر فيها قدرته الكهربائية.

(شكل 56)
تختلف شدّة الإضاءة باختلاف قدرة المصابيح الكهربائية.

1. القدرة الكهربائية Electrical Power

عندما يسري التيّار الكهربائي في دائرة كهربائية مغلقة، تكون النتيجة إضاءة مصباح أو دوران محرّك أو ارتفاع درجة حرارة، أي تحوّل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة.

إنّ معدّل تحوّل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى (ميكانيكية، حرارية، ضوئيّة) يُسمّى القدرة الكهربائية Electrical Power.

يُمكن تمثيل ذلك بالعلاقة الرياضية التالية:

القدرة الكهربائية = الطاقة/الزمن أي: $\boxed{P = \frac{E}{t}}$

تُقاس القدرة بالواط (W)، والطاقة بالجول (J) والزمن بالثانية (s).

ويُمكننا أن نستبدل $\boxed{E = QV}$ وكذلك $\boxed{Q = It}$ في العلاقة السابقة لنجد أنّ:

$$\boxed{P = VI}$$

فالقدرة الكهربائية هي ناتج ضرب شدّة التيّار وفرق الجهد.

ويُقاس فرق الجهد بالفولت (V) وشدّة التيّار بالأمبير (A) القدرة الكهربائية بالواط (W).

2. الطاقة الكهربائية

1.2 حساب الطاقة المستهلكة في جهاز موصول على فرق جهد V:

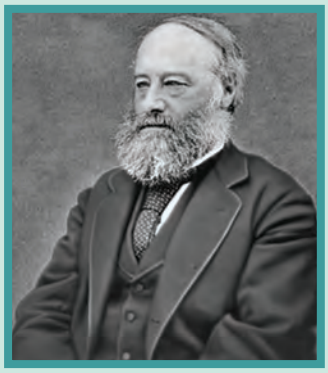
بما أنّ القدرة تُمثَّل بالقاعدة الرياضية $P = \frac{E}{t}$، يُمكننا أن نكتب الطاقة الكهربائية E على النحو التالي: $E = Pt$

وبالتعويض عن $P = VI$، نحصل على الطاقة المستهلكة في الجهاز الكهربائي على الشكل التالي: $\boxed{E = VIt}$

2.2 حساب الطاقة المستهلكة في مقاومة أومية:

إذا كان للجهاز الكهربائي مقاومة أومية، يُمكننا أن نستبدل V في العلاقة السابقة بـ $V = IR$ لنحصل على مقدار الطاقة المستهلكة في المقاومة الأومية والتي تُمثَّل بالعلاقة التالية: $\boxed{E = I^2Rt}$

تُعرف هذه العلاقة بقانون جول (شكل 57).



(شكل 57)
جيمس بريسكوت جول
(1818 – 1889) هو فيزيائي إنجليزي كانت له تجارب متعلّقة بدراسة الطاقة الحرارية المتولّدة من التيّار الكهربائي، فوجد أنّ الطاقة الحرارية الناتجة في الثانية الواحدة تتناسب طرديًّا مع مقاومة الموصّل ومربّع شدّة التيّار.

3.2 حساب الطاقة المستهلكة في المنزل:

إنّ الطاقة المستهلكة من أيّ جهاز منزلي تُحسَب بالعلاقة نفسها: $\boxed{E = Pt}$. ولكنّ شركة الكهرباء تستعمل وحدات غير الجول في بيع الطاقة إلى المستهلك وهي وحدة الكيلوواط–ساعة، والتي نراها على عدّادات مصروف الطاقة (شكل 58).

الكيلوواط ساعة يساوي 3.6×10^6 J.

إذا أخذنا، على سبيل المثال، مصباحًا قدرته (100)W واستخدمناه لمدّة أربع وعشرين ساعة، فإنّه يستهلك (2.4)KWh. وبمعرفتنا ثمن الكيلو الواط الواحد، نستطيع احتساب كلفة استخدامه.

(شكل 58)
عدّاد مصروف الطاقة

مثال (1)

استخدمت مصباحًا قدرته الكهربائية (1500)W ويعمل على (220)V. احسب:

(أ) شدّة التيّار التي يحتاجها.

(ب) قيمة مقاومته R.

(جـ) الطاقة المستهلكة بالجول إذا ما استخدمته لمدّة عشر دقائق.

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.

المعلوم: القدرة الكهربائية: $P = 1500W$

فرق الجهد: $V = 220V$

الزمن: $t = 10min = 600s$

غير المعلوم: **(أ)** شدّة التيّار $I = ?$

(ب) مقاومة المصباح: $R = ?$

(جـ) الطاقة المستهلكة: $E = ?$

تابع مثال (1)

2. احسب غير المعلوم:

(أ) باستخدام العلاقة الرياضية التالية: $P = VI$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1500}{220} = 6.81\ A$$

(ب) باستخدام العلاقة الرياضية التالية لقانون أوم $V = IR$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{220}{6.81} = 32.3\ \Omega$$

(جـ) باستخدام العلاقة الرياضية التالية: $E = Pt$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:

$$E = 1500 \times 600 = 900\ 000\ J$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

نحن نعلم أنّ مجفّف الشعر بحاجة إلى شدّة تيّار كهربائي كبيرة، كما أنّه مستهلك للطاقة.

مراجعة الدرس 2-3

أوّلًا – عرّف القدرة الكهربائية.

ثانيًا – كم تُساوي بالأمبير شدّة التيّار الذي يمرّ عبر مصباح (75)W عند توصيله بمصدر (220)V؟

ثالثًا – هل يُمكن تشغيل مكواة قدرتها (1200)W وتعمل على (120)V إذا كان منصهر الأمان يُحدّد التيّار بمقدار (15)A؟

رابعًا – آلة حاسبة كُتِب عليها (0.1A ، 8V). ما مقدار القدرة التي تستخدمها هذه الآلة؟ وإذا استُخدِمت لمدّة ساعة، فما مقدار الطاقة المُستخدَمة؟

خامسًا – استُخدِمت مدفأة كهربائية في داخلها ملفّ تسخين واحد، وتعمل على فرق جهد (220)V ويمرّ فيها تيّار شدّته (5)A. احسب:

(أ) مقاومة الملفّ الواحد.

(ب) القدرة المُستهلَكة عند استخدام الملفّ الواحد.

(جـ) الطاقة المُستهلَكة بالجول والكيلوواط – ساعة إذا استُخدِمت لمدّة (6) ساعات.

(د) الثمن الذي ستدفعه إذا كان سعر الكيلوواط – ساعة فلسين.

سادسًا – سخّان كهربائي كُتِب عليه (220V, 2200W). صُنِعت مقاومته من سلك فلزّي مساحة مقطعه $(0.16)mm^2$ والمقاومة النوعية لمادّته $\rho = 1.6 \times 10^{-8}\ \Omega.m$. احسب:

(أ) طول السلك الذي صُنِعت المقاومة منه.

(ب) التيّار المارّ في السخّان عندما يعمل بشكل طبيعي.

(جـ) الطاقة الكهربائية المُستهلَكة عند تشغيل السخّان لمدّة ساعتين.

أسئلة تطبيقية وحلّها

1. ما مقدار التيّار الكهربائي المارّ بمصباح مكتوب عليه (60 W – 120 V).

الناتج: 0.5 A

2. احسب الطاقة المستهلكة في مقاومة أومية $R = 50\Omega$ يمرّ فيه تيّار شدّته (5)A لمدّة (10) ثوانٍ.

الناتج: 12500J

3. شحنة كهربائية مقدارها (15)C مرّت خلال (60) ثانية في مقاومة عليها فرق جهد (1.2)V. احسب الطاقة الحرارية المولّدة في المقاومة خلال دقيقتين.

الناتج: 36 J

الدوائر الكهربائية
Electric Circuit

الأهداف العامة

- يُوضّح شكل الدوائر الموصّلة.
- يُعرّف الدوائر التوالي والدوائر التوازي ويذكر خصائص كلّ منها.
- يحسب المقاومة المكافئة لدوائر تحتوي على مقاومتين أو أكثر.
- يُوضّح أسباب الحمل الزائد على الدوائر الكهربائية الموجودة في المنازل وكيفية تجنّبها.

الدوائر الكهربائية عبارة عن مسار مغلق يُمكن للإلكترونات أن تنساب خلاله. نستطيع التحكّم بانسياب الإلكترونات في الدائرة الكهربائية عبر فتحها لقطع التيّار الكهربائي أو إغلاقها للسماح له بالمرور.

تحتوي أيّ الدائرة كهربائية على مصدر كهربائي أو أكثر بالإضافة إلى مجموعة من الأجهزة المستقبلة للطاقة الكهربائية ومفتاح وأسلاك للتوصيل. يُمكن توصيل الأجهزة الكهربائية في الدائرة بطرق متعدّدة منها توصيل توالٍ أو توازٍ، ما يسمح لنا ببناء الدوائر بسيطة أو مركّبة.

في هذا الدرس، سنُطبّق ما تعلّمته سابقًا في الكهرباء وسنُوضّح طرق توصيل الأجهزة وخصائص كلّ نوع من التوصيل، كما سنُميّز بين الدوائر البسيطة والدوائر المركّبة، وسنتعلّم احتساب المقادير الفيزيائية من جهد وشدّة تيّار ومقاومة في كلّ نوع من تلك الدوائر.

1. دوائر التوالي Series Circuits

يظهر (شكل 59) ثلاثة مصابيح متشابهة متّصلة على التوالي ببطّاريّة. يُمثّل هذا الشكل **دائرة توالٍ بسيطة Simple serie circuit**. عند غلق المفتاح، سيتواجد التيّار في المصابيح الثلاثة في اللحظة نفسها. لا يتجمّع التيّار في مصباح واحد بل يتوزّع في كلّ منها. فالإلكترونات تتحرّك مرّة واحدة في كلّ أجزاء الدائرة. تتحرّك بعض الإلكترونات مبتعدة عن الطرف السالب للبطّاريّة، وبعضها يتحرّك نحو الطرف الموجب، بينما يتحرّك البعض الآخر خلال فتيل المصباح. في النهاية، تتحرّك الإلكترونات في كلّ دائرة. إذا حدث أيّ قطع في الدائرة، فإنّها تُصبح مفتوحة، وينقطع انسياب الإلكترونات، كما أنّ احتراق فتيل أحد المصابيح، أو ببساطة فتح المفتاح، يتسبّب أيضًا بقطع الدائرة.

يُمكن استنتاج الخصائص التالية لتوصيلات التوالي:

- التيّار الكهربائي في الدائرة له مسار واحد. هذا يعني أنّ كلّ مصباح في الدائرة يمرّ به التيّار نفسه.
- تعوق التيّار الكهربائي مقاومة المصباح الأوّل والمصباح الثاني وكذلك والمصباح الثالث أيضًا، وبالتالي فإنّ المقاومة الكلّية للتيّار في الدائرة تُساوي مجموع المقاومات المفردة على امتداد مسار الدائرة.

ويُمكن تمثيل ذلك بالعلاقة التالية: $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

علمًا أنّ R_1 و R_2 هما مقاومة المصباح الأوّل والثاني على التوالي، و R_{eq} هي المقاومة الكلّية.

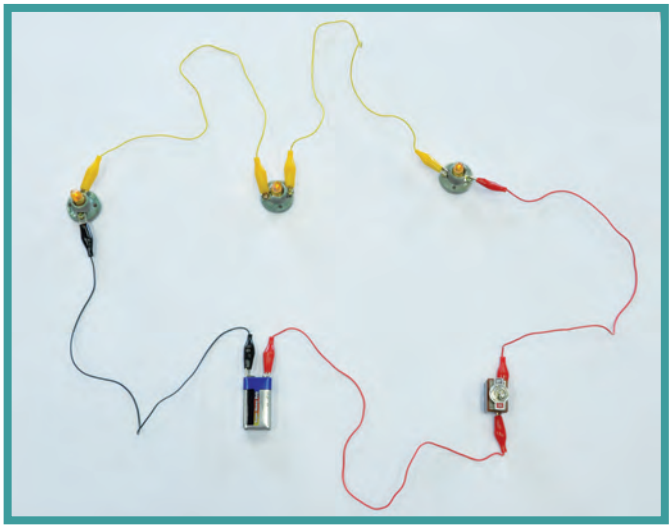
- تُساوي القيمة العددية للتيّار في الدائرة جهد المصدر مقسومًا على المقاومة الكلّية للدائرة، هذا هو قانون أوم Ohm's law.

أي أنّ: $I = \frac{V}{R_{eq}}$

- يُطبَّق أيضًا قانون أوم على كلّ جهاز في الدائرة على حدة. أمّا فرق الجهد بين طرفي كلّ جهاز فيتناسب طرديًّا مع مقاومته. يعود ذلك إلى حقيقة أنّ الطاقة التي تُستخدَم لتحريك وحدة الشحنة خلال المقاومة الأكبر تكون أكبر من تلك اللازمة لتحريكها خلال المقاومة الأقلّ.
- ينقسم الجهد الكلّي المؤثّر على دائرة التوالي على الأجهزة المكوّنة للدائرة بحيث يكون مجموع الجهود الواقعة عبر كلّ جهاز من مكوّنات الدائرة مساويًا للجهد الكلّي للمصدر. ويعود ذلك إلى حقيقة أنّ الطاقة المستخدمة لتحريك وحدة الشحنة خلال الدائرة كلّها تُساوي مجموع الطاقات اللازمة لتحريك وحدة الشحنة هذه، خلال كلّ من الأجهزة الكهربائية في الدائرة.

ويُمكن تمثيل ذلك بالعلاقة الرياضية التالية:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$



أسئلة تطبيقية وحلّها

تحتوي دائرة كهربائية على ثلاث مقاومات: $R_1 = 5\Omega$ ، $R_2 = 3\Omega$ ، $R_3 = 2\Omega$

هذه المقاومات موصولة على التوالي على فرق جهد $V_{PN} = 10\,V$. احسب:

(أ) قيمة المقاومة المكافئة.

(ب) التيّار خلال البطّاريّة.

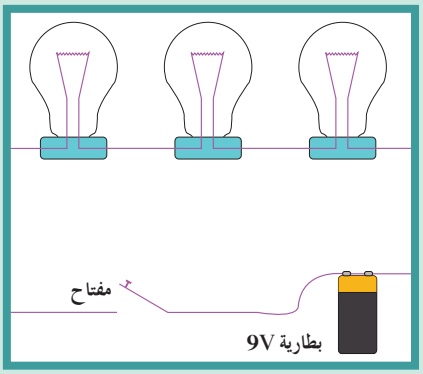
(جـ) الجهد على كلّ مقاوم.

الحلّ: (أ) $R_{eq} = 10\,\Omega$

(ب) $1A$

(جـ)

$V_{R3} = 2V$ ؛ $V_{R2} = 3V$ ؛ $V_{R1} = 5V$



(شكل 59)
دائرة توالٍ بسيطة
جهد البطّاريّة 9V وفرق الجهد بين طرفي كلّ مصباح 3V.

مثال (1)

ثلاثة مصابيح متشابهة لها مقاومات متساوية قيمة كلّ منها 10Ω ، موصولة على التوالي ، ويسري فيها تيّار شدّته 3A .

(أ) احسب فرق الجهد الكهربائي بين طرفي كلّ مقاومة منها .

(ب) احسب فرق الجهد الكلّي بين طرفي الدائرة .

(جـ) استنتج أنّ المقاومة الكلّية في الدائرة هي مجموع المقاومات الموجودة على امتداد مسار الدائرة .

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم .

المعلوم: **(أ)** شدّة التيّار: $I = 3A$

(ب) مقاومة كلّ مصباح: $R = 10\Omega$

غير المعلوم: **(أ)** فرق الجهد بين طرفي كلّ مقاومة . $V = ?$

(ب) فرق الجهد الكلّي في الدائرة الكهربائية: $V_T = ?$

(جـ) استنتاج أنّ: $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$

2. احسب غير المعلوم:

(أ) باستخدام قانون أوم على كلّ مصباح: $V = IR$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة ، نحصل على:

$V = 3 \times 10 = 30\ V$

وبما أنّ جميع المصابيح متشابهة ، يكون فرق الجهد بين طرفي كلّ منها 30V .

(ب) باستخدام العلاقة الرياضية التالية: $V_T = V_1 + V_2 + V_3$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة ، نحصل على:

$V_T = 30 + 30 + 30 = 90\ V$

(جـ) باستخدام العلاقة الرياضية التالية: $V_T = IR_{eq}$

$R_{eq} = V_T / I = 90/3 = 30\ \Omega$

وإذا استخدمنا العلاقة الرياضية التالية: $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$

نحصل على: $R_{eq} = 10 + 10 + 10 = 30\ \Omega$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

نعم ، لأنّ النتائج تتوافق مع توقّعاتنا ، حيث يُساوي الجهد الكلّي مجموع الجهد على كلّ مصباح في دائرة التوالي ، وتُساوي المقاومة الكلّية مجموع المقاومات في دائرة التوالي .

إنّ العيب الأساسي في دائرة التوالي يمكن رؤيته إذا توقّف أحد الأجهزة عن العمل . في هذه الحالة ، يتوقّف التيّار في كلّ الدائرة ، وبالتالي لا يعمل أيّ من الأجهزة . بعض مصابيح الزينة يكون متّصلًا على التوالي ، وعندما يحترق أحد المصابيح ، يُصبح من الصعب التعرّف إلى المصباح الذي على سبيل المثال ، في منزلك يُمكنك تشغيل مصباح ما أو عدم تشغيله من دون أن يُؤثّر ذلك على تشغيل المصابيح أو الأجهزة الكهربائية الأخرى .

يعود ذلك إلى أنّ تلك الأجهزة لَيست متّصلة على التوالي بل متّصلة مع بعضها بعضًا على التوازي.

2. دوائر التوازي Parallel Circuits

يُوضّح (شكل 60) ثلاثة مصابيح كهربائية متّصلة معًا بنقطتين A وB. يُمثّل هذا الشكل **دائرة توازٍ بسيطة Simple parallel circuit**. تتّصل الأجهزة الكهربائية المتّصلة على التوازي بالنقطتين نفسيهما في الدائرة الكهربائية. ويُلاحَظ أنّ لكلّ مصباح مساره الخاصّ من طرف البطّاريّة إلى الطرف الآخر. إنّ التيّار المارّ في بأحد المصابيح لا يمرّ بالمصابيح الأخرى، وبالتالي يكون هناك ثلاثة مسارات منفصلة للتيّار الكهربائي، أي مسار واحد لكلّ مصباح. وفي دائرة التوازي، تبقى الدائرة مكتملة عندما تُطفَأ المصابيح كلّها أو عند إطفاء أحدها. لا يؤثّر فصل أحد المسارات في انسياب الشحنة داخل جميع المسارات الأخرى، فكلّ جهاز يعمل بشكل مستقلّ عن الأجهزة الأخرى.

يُمكن استنتاج الخصائص التالية لتوصيلات التوازي:

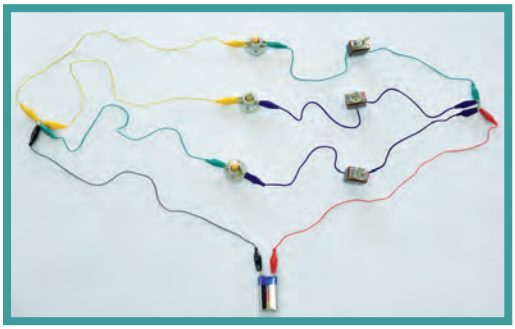
- تتّصل كلّ الأجهزة على التوازي بالنقطتين نفسيهما A وB، ويكون فرق الجهد بين طرفي كلّ جهاز ثابتًا.
- ينقسم التيّار الكلّي في الدائرة على الفروع المتوازية. يمرّ التيّار بسهولة في الأجهزة ذات المقاومة المنخفضة، أي تتناسب شدّة التيّار المارّ في أيّ فرع عكسيًّا مع مقاومة هذا الفرع. ويُطبَّق قانون أوم على كلّ فرع على حدة.
- يُساوي التيّار الكلّي في الدائرة مجموع التيّارات المارّة في الفروع المتوازية. أي أنّ:

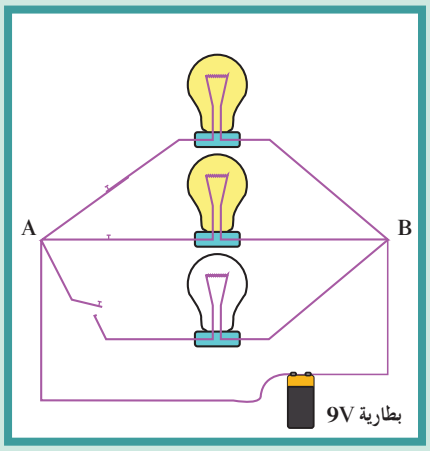
$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

علمًا أنّ I_T تُمثّل التيّار الكلّي، و $I_1 + I_2 + I_3$ تُمثّل شدّة التيّار في الفرع الأوّل والثاني والثالث على التوالي.

- تقلّ المقاومة الكلّية للدائرة بزيادة عدد الفروع المتوازية. عندما يُضاف مسار بين نقطتي التوصيل في الدائرة، تقلّ المقاومة الكلّية، أي أنّ المقاومة الكلّية للدائرة تكون أقلّ من مقاومة أيّ فرع على حدة. ويُمكن احتساب المقاومة الكلّية لمجموعة مقاومات موصّلة على التوازي باستخدام العلاقة الرياضية التالية:

$$\frac{I}{R_3} + \frac{I}{R_2} + \frac{I}{R_1} = \frac{I}{R_{eq}}$$





(شكل 60)
دائرة توازٍ بسيطة
جهد البطّاريّة V(9) يُوفّر V(9) لكلّ مصباح.

مثال (2)

ثلاثة مصابيح متشابهة لها مقاومات متساوية قيمة كلّ منها 10Ω، متصلة معًا على التوازي بمصدر $3V$. احسب:

(أ) فرق الجهد الكهربائي بين طرفي كلّ مقاومة منها.

(ب) شدّة التيّار في كلّ فرع.

(جـ) شدّة التيّار الكلّي الناتج عن المصدر.

(د) المقاومة الكلّية في الدائرة.

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.

المعلوم: فرق الجهد الكلي: $V = 3V$

مقاومة كلّ مصباح: $R = 10\Omega$

نوع التوصيل: على التوازي

غير المعلوم:

(أ) فرق الجهد بين طرفي كلّ مقاومة: $V_3 = ?$ و $V_2 = ?$ و $V_1 = ?$

(ب) شدّة التيّار في كلّ فرع: $I_3 = ?, I_2 = ?, I_1 = ?$

(جـ) شدّة التيّار الكلّي: $I_T = ?$

(د) المقاومة الكلّية: $R_{eq} = ?$

2. احسب غير المعلوم:

(أ) بما أنّ المصابيح متصلة معًا على التوازي، فإنّ فرق الجهد على كلّ واحد يُساوي فرق جهد المصدر: $V_1 = V_2 = V_3 = 3\ V$

(ب) باستخدام قانون أوم في كلّ فرع: $V = IR$

نحصل على شدّة التيّار في كلّ فرع: $I_1 = I_2 = I_3 = \frac{3}{10} = 0.3\ A$

(جـ) باستخدام العلاقة الرياضية التالية: $I_T = I_1 + I_2 = I_3$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:

$$I_T = 0.3 + 0.3 + 0.3$$
$$= 0.9V$$

(د) باستخدام العلاقة الرياضية التالية:

$$\frac{I}{R_{eq}} = \frac{I}{R_1} + \frac{I}{R_2} + \frac{I}{R_3}$$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلة، نحصل على:

$$R_{eq} = \frac{10}{3} = 3.3\ \Omega$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

نعم، لأنّ النتائج تتوافق مع توقّعاتنا حيث إنّ المقاومة الكلّية أصغر من أيّ مقاومة موجودة في دائرة التوازي.

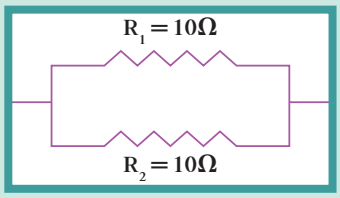
3. رسوم تخطيطية Schematic Diagrams

غالبًا ما تُوصَف الدائرة الكهربائية باستخدام رسوم بسيطة تُسمّى الرسوم التخطيطية. تحتوي هذه الرسوم على رموز تُستعمَل في تمثيل عناصر

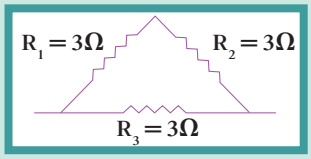
أسئلة تطبيقية وحلّها

1. احسب المقاومة المكافئة للمجموعات التالية:

(أ)



(ب)

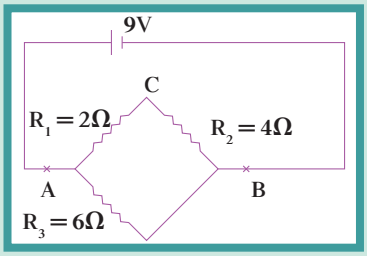


الناتج:

(أ) $5\ \Omega$

(ب) 2Ω

2. من خلال الدائرة الكهربائيّة التالية:



احسب:

(أ) المقاومة المكافئة بين AB $= ?$

(ب) التيّار المارّ في البطّاريّة $= ?$

(جـ) التيّار المارّ في المقاومة $R_3 = ?$

(د) فرق الجهد $V_{AC} = ?$

الناتج: **(أ)** $3\ \Omega$

(ب) $3\ A$

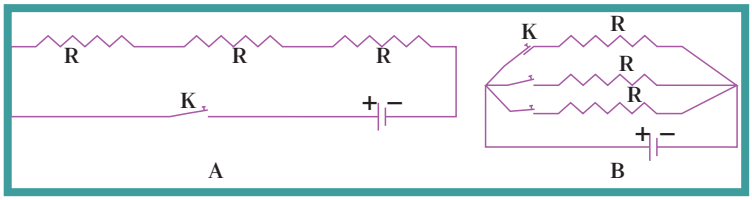
(جـ) $1.5\ A$

(د) $3\ V$

الدائرة الكهربائية (شكل 61)، حيث تُمثَّل المقاومة بخطّ متعرّج، فيما تُمثَّل أسلاك التوصيل بخطوط مستقيمة متّصلة.

وتُمثَّل البطّاريّة بمجموعة من الخطوط القصيرة والطويلة المتوازية. وقد تمّ الاتّفاق على أن يُمثَّل الطرف الموجب للبطّاريّة بخطّ طويل والطرف السالب بخطّ قصير. وفي بعض الأحيان، تُمثَّل البطّاريّة المكوّنة من خليّتين بزوج من هذه الخطوط.

وتُمثّل الرسوم التخطيطية A وB الموضّحة في (شكل 62) الدوائر الكهربائية في (الشكلين 59 و60).



(شكل 62)

الدائرة A هي الدوائر الموضّحة في (شكل 59) والتي تتّصل بها ثلاثة مصابيح على التوالي.
الدائرة B هي الدوائر الموضّحة في (شكل 60) التي تتّصل بها ثلاثة مصابيح على التوازي.

4. الدوائر المركّبة والمقاومة المكافئة

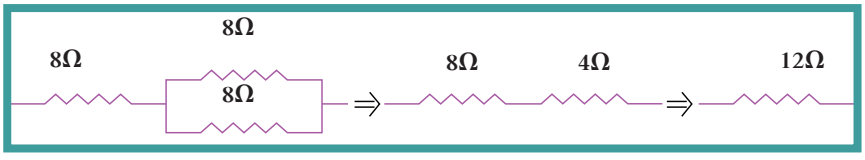
Compound circuits and Equivalent Resistance

عندما نوصّل مجموعة من المقاومات بشبكة واحدة تحتوي على نوعين من التوصيل، تتكوّن لدينا دائرة كهربائية مركّبة.

من المفيد أن نعرف المقاومة المكافئة لعدّة مقاومات متّصلة بشبكة كهربائية. فالمقاومة المكافئة هي قيمة المقاومة المفردة التي تُشكّل الحمل نفسه على البطّاريّة ومصدر القدرة.

يُمكن إيجاد المقاومة المكافئة باستخدام قواعد جمع المقاومات المتّصلة على التوالي والتوازي، وذلك للتمكّن من احتساب القيم الفيزيائية الأخرى، من شدّة التيّار في الدائرة أو جهد على عناصر الدائرة أو غير ذلك.

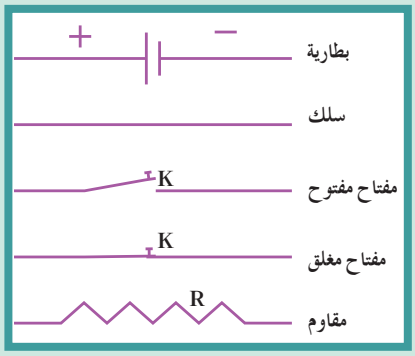
افرض مثلًا مجموعة مكوّنة من ثلاث مقاومات قيمة كلّ منها 8Ω متّصلة كما في (شكل 63).



(شكل 63)

تُحسب المقاومة المكافئة للدائرة وذلك بتجميع المقاومات في خطوات متتالية.

المقاومتان المتّصلتان على التوازي تُكافئان مقاومة مفردة مقدارها 4Ω. تكون هذه المقاومة على التوالي مع مقاومة 8Ω، فتجمعها لتنتج مقاومة مكافئة مقدارها 12Ω. عند توصيل بطّاريّة $12V$ مع هذه المقاومات، يُمكنك أن تجد من خلال قانون أوم أنّ شدّة التيّار



(شكل 61)

الرموز الشائعة لبعض الأجهزة المُستخدَمة في الدائرة الكهربائية.

الفيزياء في المختبر

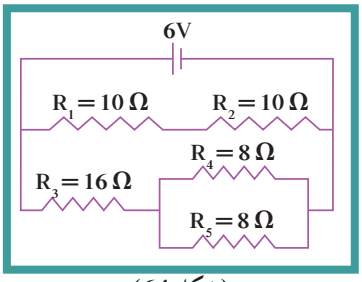
اختصاصي الكهرباء (الكهربائي)

تتمّ الاستعانة باختصاصي الكهرباء عند البناء أو تجهيز المباني بأسلاك جديدة. يقوم اختصاصي الكهرباء بتركيب الأسلاك وتوصيل الدوائر بالشبكة المحلّية للقدرة. الخطوة الأولى التي يجب أن يأخذها اختصاصي الكهرباء، هي إعداد رسم تخطيطي لتوضيح كيفية توزيع الدوائر التوالي ودوائر التوازي، وكذلك الأماكن التي سوف توضَع فيها المفاتيح. الخطوة التالية هي توصيل الدوائر والتأكّد من أنّ انسياب التيّار داخلها يكون صحيحًا وآمنًا. يجب أن يتأكّد اختصاصي الكهرباء من أنّ توصيلات الأسلاك تتّفق مع القواعد المحلّية. يعتمد البنّاؤون والمقاولون على اختصاصي الكهرباء في ما يتعلّق بتوصيل الكهرباء سواء أكانت في ناطحات السحاب المرتفعة أو في أنظمة إضاءة البناء.

المارّ في البطّاريّة ستكون بمقدار A(1) (عمليًّا سوف تكون شدّة التيّار أقلّ وذلك لوجود المقاومة الداخلية للبطّاريّة أيضًا). ولم يكن من السهل تحقيق ذلك من دون استخدام مبدأ المقاومة المكافئة.

مثال (3)

خذ الدائرة الكهربائية المركّبة في (شكل 64).



(شكل 64)

(أ) احسب مقدار المقاومة المكافئة لهذه الدائرة.

(ب) احسب شدّة التيّار خلال البطّاريّة.

طريقة التفكير في الحلّ

1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.

المعلوم: مقدار مقاومة كلّ مقاوم (انظر الشكل)

غير المعلوم: **(أ)** المقاومة المكافئة = ؟

(ب) شدّة التيّار خلال البطّاريّة؟

2. احسب غير المعلوم:

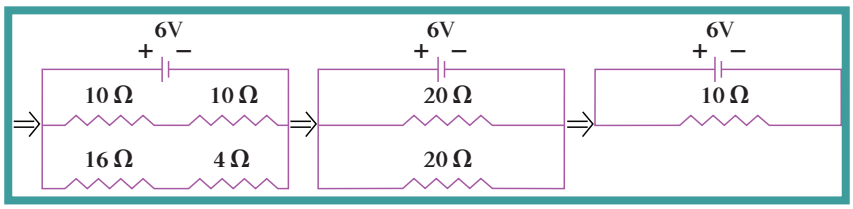
(أ) باستخدام العلاقة جمع المقاومات المتّصلة على التوالي:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$$

وعلاقة المقاومات المتّصلة على التوازي:

$$\frac{I}{R_{eq}} = \frac{I}{R_1} + \frac{I}{R_2} + \frac{I}{R_3}$$

وبالتعويض عن المقادير المعلومة في المعادلات وإعادة الرسم التخطيطي لكلّ خطوة نحصل على: $R_{eq} = 10\,\Omega$



(ب) باستخدام قانون أوم في الدائرة الأخيرة نحصل على:

$$I = V/R \Rightarrow I = \frac{6}{10} = 0.6\ A$$

3. قيّم: هل النتيجة مقبولة؟

إنّ مقدار شدّة التيار تتناسب مع جهد البطّارية. ومن الملاحظ أنّ استخدام مبدأ المقاومة المكافئة يسهّل احتساب قيمة التيّار خلال البطّاريّة.

ارتباط الفيزياء بالتكنولوجيا

القياس بالتيّار الكهربائي

يستخدم مؤشّر الوقود في السيارة مقاومة متغيّرة لقياس مستوى الجازولين في الخزّان.

تُعدِّل العوّامة في الخزّان قيمة المقاومة الكهربائية المتغيّرة، فتكون المقاومة في أعلى مستوى لها عندما تكون العوّامة عند قاع الخزّان. وفي هذه الحالة، يكون التيّار في أدنى مستوى له مسبّبًا انحرافًا في مؤشّر العدّاد.

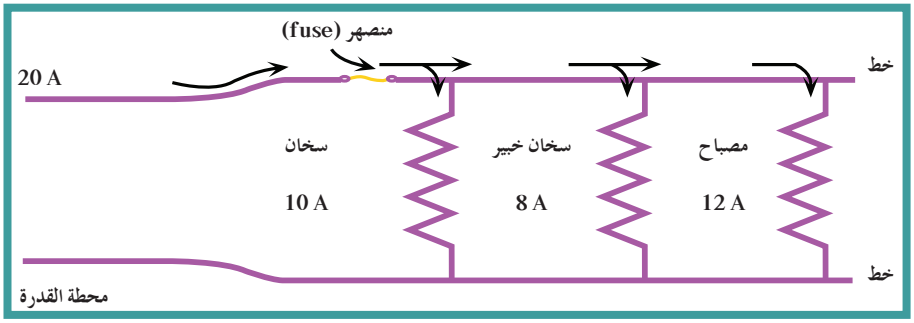
وعندما يكون الخزّان ممتلئًا بالوقود، تكون قيمة المقاومة المتغيّرة في أدنى مستوى لها، وبالتالي يكون التيّار المارّ في المقياس في أعلى مستوى له.

تتمّ معايرة المقياس وفقًا لهذا التيّار، فتوضَع علامة (F) أي Full على المقياس عندما يكون الخزّان ممتلئًا، والعلامة فارغ (E) أي Empty عندما يكون الخزّان فارغًا، وبهذا فإنّ أيّ قيمة للتيّار تحدث انحرافًا مناسبًا لمؤشّر مقياس الوقود.

5. دائرة التوازي والحمل الزائد

Parallel Circuits and Over Loading

عادة ما تُغذّي الكهرباء المنزل عن طريق سلكين من الرصاص يُسمّى كلّ منهما خطًّا (شكل 65). تكون الخطوط ذات مقاومة صغيرة جدًّا ومتّصلة (بمقابس) بمخارج الكهرباء في حائط كلّ غرفة. يُنقَل على هذه الخطوط حوالى V(220) من المولّدات عند محطّة القدرة. تستخدم هذا الجهد الأجهزة المنزلية والأجهزة الأخرى التي تتّصل على التوازي بمقابس هذه الخطوط (شكل 66).

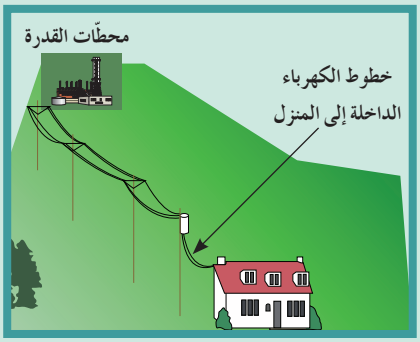


(شكل 66)

دائرة تُوضّح توصيل عدّة أجهزة منزلية بواسطة خطوط القدرة.

عند توصيل أجهزة عديدة بهذه الخطوط، تتوفّر عدّة مسارات للتيّار. ما هو تأثير إضافة مسارات أخرى؟ تُؤدّي إضافة هذه المسارات إلى خفض المقاومة الكلّية للدائرة، وبالتالي تزداد شدّة التيّار في الخطوط. يُقال عن الخطوط التي تحمل تيّارًا شدّته أكبر من الشدّة الآمنة إنّ حملها زائد Over Loading. نتيجة لذلك، تتولّد حرارة قد تكون كافية لصهر الموادّ العازلة للأسلاك، ما يُسبّب حريقًا.

سوف نرى كيف يحدث الحمل الزائد. في دائرة كهربائية مماثلة لتلك الموضّحة في (شكل 66)، تتّصل خطوط إمداد الكهرباء بسخّان الخبز الكهربائي الذي يسحب A(8)، وبسخّان كهربائي يسحب A(10)، وتتّصل أيضًا بمصباح كهربائي يسحب A(2). عند تشغيل سخّان الخبز الكهربائي فقط، يسحب A(8) ويكون التيّار الكلّي للخطّ A(8). وعند تشغيل السخّان أيضًا، يزداد التيّار الكلّي للخطّ إلى A(18). وإذا قمت بتشغيل المصباح، يزداد تيّار الخطّ إلى A(20)، وتوصيل أيّ أجهزة أخرى سيزيد من التيّار. لمنع زيادة الحمل في دوائر، تُوصَّل **المنصهرات Fuses** (شكل 67) على التوالي مع خطّ الإمداد. في هذه الحالة، يجب أن يمرّ تيّار الخطّ الداخلي خلال المنصهر. يُوضِّح (شكل 67) منصهر الأمان الذي يحتوي على شريط معدني يُسخَّن وينصهر عندما يمرّ تيّار كهربائي معيّن. على سبيل المثال، إذا كان المنصهر يعمل على A(20)، لن يُمرّر أكثر من A(20). فالتيّار الكهربائي الأكثر من A(20) يُسبّب انصهار المنصهر وانقطاع الدائرة وتعطّلها



(شكل 65)

تُنقَل الكهرباء بواسطة خطوط من محطّات القدرة إلى المنزل.

(شكل 67)

المنصهر

(شكل 68)

قواطع الدوائر التي تحمي الدوائر الكهربائية

عن العمل. قبل استبدال المنصهر المحترق، يجب معرفة السبب في زيادة الحمل وعلاجه. غالبًا ما تُتلَف المادّة العازلة ما يُؤدّي إلى تلامس الأسلاك. يُقصِّر هذا التأثير مسار التيّار في الدائرة، وهذا يُسمّى **دائرة قصر Short Circuit**، أي أنّ دائرة القصر تسحب تيّارًا كهربائيًّا كبيرًا وخطيرًا لأنّه لا يمرّ في المقاومة المعتادة للدائرة. يُمكن حماية الدوائر الكهربائية أيضًا باستخدام **قواطع الدوائر Circuit Breakers** (شكل 68) التي تعمل بمغناطيسات أو شرائط الازدواج المعدني لفتح المفتاح. تستخدم شركات إنتاج الكهرباء قواطع الدوائر لحماية خطوطها. في المباني الحديثة، تُستخدَم قواطع الدوائر بدلًا من المنصهرات لأنّه ليس من الضروري استبدالها في كلّ مرّة تُقطَع الدائرة. فبدلًا من استبدالها، يُحرَّك المفتاح بسهولة إلى وضع التوصيل ON وذلك بعد معالجة المشكلة.

مراجعة الدرس 2-4

أوّلًا – ماذا يحدث للمقاومة الكلّية للدائرة عند إضافة أجهزة أخرى إلى دائرة التوالي وكذلك إلى دائرة التوازي؟

ثانيًا – لماذا تقلّ المقاومة الكلّية للدائرة عند إضافة أجهزة إلى دائرة التوازي؟

ثالثًا – ماذا نعني بقولنا إنّ خطوط الكهرباء في المنزل حملها زائد؟

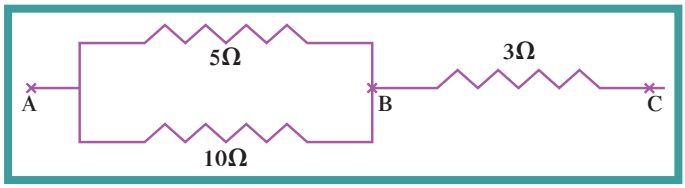
رابعًا – ما دور المنصهر أو قواطع الدوائر في الدائرة الكهربائية؟

خامسًا – ما سبب احتراق المنصهر أو سقوط قاطع الدائرة عند تشغيل عدد زائد من الأجهزة الكهربائية في الوقت نفسه؟

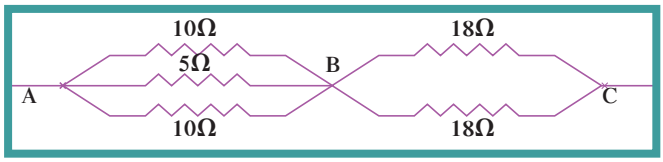
سادسًا – ماذا نعني بدائرة القصر؟

سابعًا – احسب المقاومة المكافئة لكلّ من الدوائر الكهربائية التالية:

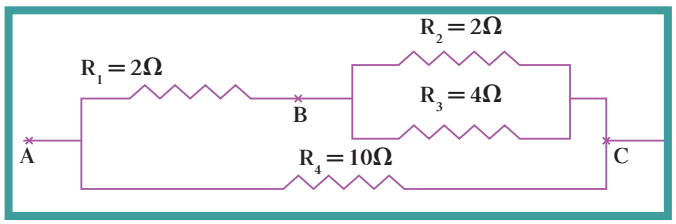
(أ)



(ب)



ثامنًا – خذ الدائرة الكهربائية المركّبة الموصَّلة على فرق جهد حيث: $V_{AC} = 10V$



(أ) احسب المقاومة المكافئة 'R التي يُمكن استعمالها بدلًا من R_2 و R_3.

(ب) احسب المقاومة المكافئة R_{eq} للدائرة الكهربائية.

(ج) احسب شدّة التيّار الكهربائي خلال مصدر الجهد.

(د) احسب شدّة التيّار الكهربائي I_2 خلال المقاومة R_4.

(هـ) احسب فرق الجهد على المقاومة R_3.

مراجعة الوحدة الرابعة

المفاهيم

استقطاب الشحنة	Charge polarization	أشباه الموصّلات	Semiconductors
بقاء الشحنة	Conservation of charge	التأثير (الحثّ)	Induction
التوصيل	Conduction	توصيل الأرض (تأريض)	Grounding
التيّار الكهربائي	Electric current	دوائر بسيطة	Simple circuits
دوائر التوازي	Parallel circuits	دوائر التوالي	Series circuits
دوائر كهربائية	Electric circuits	دوائر مركّبة	Compound circuits
دوائر قصر	Short circuit	شحنة	Charge
صدمة كهربائية	Electric shock	طاقة كهربائية	Electrical energy
العوازل	Insulators	فرق الجهد	Potential difference
قاطع دائرة	Circuit breaker	قانون أوم	Ohm's law
قدرة كهربائية	Electrical power	الكشّاف الكهربائي	Electroscope
كهربائية ساكنة	Electrostatic	مقاومة	Resistance
مقاومة أومية	Ohmic resistance	مقاومة نوعية	Resistivity
المنصهر	Fuse	الموصّلات	Conductors
الموصّلات الفائقة	Super conductors		

الأفكار الرئيسة في الوحدة

- جميع الإلكترونات لها المقدار نفسه من الشحنة السالبة، وجميع البروتونات لها شحنات موجبة متساوية ومساوية للقيمة المطلقة لشحنة الإلكترونات.
- تتنافر الشحنات المتشابهة وتتجاذب الشحنات المختلفة.
- الشحنة الكهربائية محفوظة، أي لا تفنى ولا تُخلَق من عدم.
- طبقًا لقانون كولوم، تتناسب القوى المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين طرديًّا مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين وعكسيًّا مع مربّع البعد بينهما (قانون التربيع العكسي).
- تتحرّك الإلكترونات بسهولة في الموصّلات الجيّدة، في حين أنها تتحرّك في العوازل الجيّدة.
- تُصبح الأجسام مشحونة كهربائيًّا عند انتقال الإلكترونات منها أو إليها.
- يحدث الشحن بالدلك نتيجة انتقال الإلكترونات بين مادتين مختلفتين.
- يحدث الشحن باللمس عند انتقال الإلكترونات بالاتّصال المباشر.
- يحدث الشحن بالتأثير (الحثّ) عند وجود جسم مشحون ومن دون اتّصال مباشر.

- الشحنات المستقطبة تحدث في العوازل التي تقع بالقرب من جسم مشحون.
- التيّار الكهربائي هو سريان للشحنة الكهربائية خلال موصّل كهربائي عند وجود جهد بين طرفيه.
- يستمرّ السريان حتّى يُصبح للطرفين الجهد نفسه.
- البطّاريّات الجافّة، والبطّاريّات السائلة، ومولّدات الكهرباء، هي مصادر الجهد التي تُحافظ على فرق الجهد في الدائرة.
- تعتمد شدّة التيّار التي تسري في الدائرة على فرق الجهد والمقاومة الكهربائية التي يُبديها الموصّل لسريان الشحنة خلاله.
- تقلّ المقاومة بزيادة مساحة السلك وتزداد بزيادة طول السلك.
- ينصّ قانون أوم على أنّ شدّة التيّار تتناسب طرديًّا مع فرق الجهد وعكسيًّا مع المقاومة.
- تُستخدَم المقاومات في الكثير من الأجهزة الكهربائية للتحكّم بالتيّار.
- تحصل الصدمة الكهربائية نتيجة مرور التيّار الكهربائي في الجسم عندما يكون هناك فرق في الجهد بين جزأين من الجسم.
- القدرة الكهربائية هي معدّل تحوّل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة، وهي تُساوي حاصل ضرب شدة التيّار وفرق الجهد.
- الدائرة الكهربائية هي أيّ مسار مغلق يُمكن أن تسري خلاله الشحنة.
- إنّ الاحتفاظ بانسياب مستمرّ للشحنة يحتاج إلى مصدر طاقة.
- في دوائر التوالي، تُكوِّن الأجهزة الكهربائية مسارًا وحيدًا لانسياب الإلكترونات. وإنّ أيّ قطع في المسار سيوقف انسياب الإلكترونات في الدائرة. وتكون المقاومة الكلّية مساوية لمجموع المقاومات على امتداد مسار التيّار.
- في دوائر التوازي، تكون الأجهزة الكهربائية فروعًا، ويكون كلّ فرع عبارة عن مسار منفصل لانسياب الإلكترونات. ويتّصل كلّ جهاز في الدائرة بالنقطتين نفسيهما، ويكون فرق الجهد هو نفسه بين طرفي كلّ جهاز.
- يُساوي التيّار الكلّي مجموع التيّارات في الفروع.
- توصَف الدائرة الكهربائية برسوم تخطيطية. في هذه الرسوم، يُمثَّل كلّ عنصر من عناصر الدائرة برمز معيّن.
- في الدائرة التي تحتوي على عدّة مقاومات، تكون المقاومة المكافئة هي قيمة المقاومة المفردة التي تُشكّل الحمل نفسه للبطّاريّة أو لمصدر القدرة.
- لمنع الزيادة في الحمل، تُوصَّل المنصهرات أو قواطع الدوائر في خطوط إمداد القدرة.
- إنّ التيّار الزائد يحرق المنصهر أو يُسقط قاطع الدائرة، ما يمنع مرور التيّار.
- غالبًا ما تُحدث العيوب في عزل الأسلاك دائرة قصر.

معادلات

- قانون كولوم: يُمكن إهمال حجم القوّة الكهربائية بين جسمين مشحونين بالنسبة إلى البعد الفاصل بينهما. وتتناسب القوّة الكهربائية طرديًّا مع حاصل ضرب الشحنتين وعكسيًّا مع مربّع المسافة الفاصلة بينهما:

$$F = k\frac{q_1 q_2}{d^2}$$

- تُقاس شدّة التيّار I بكمّية الشحنات التي تمرّ خلال مقطع في ثانية واحدة:

$$I = \frac{Q}{t}$$

- يُساوي فرق الجهد بين نقطتين مقدار الطاقة المبذولة لنقل وحدة الشحنات بين هاتين النقطتين

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

- قانون أوم: عند ثبات درجة الحرارة، تتناسب شدّة التيّار الكهربائي تناسبًا طرديًّا مع فرق الجهد المطبق عبر الدائرة:

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

- القدرة الكهربائية:

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

$$P = VI$$

(للمقاومة فقط)

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

- الطاقة الكهربائية:

$$E = QV$$

$$E = VIt$$

- الطاقة المُستهلَكة في مقاومة أومية:

$$E = I^2Rt$$

- المقاومة المكافئة في دوائر التوالي:

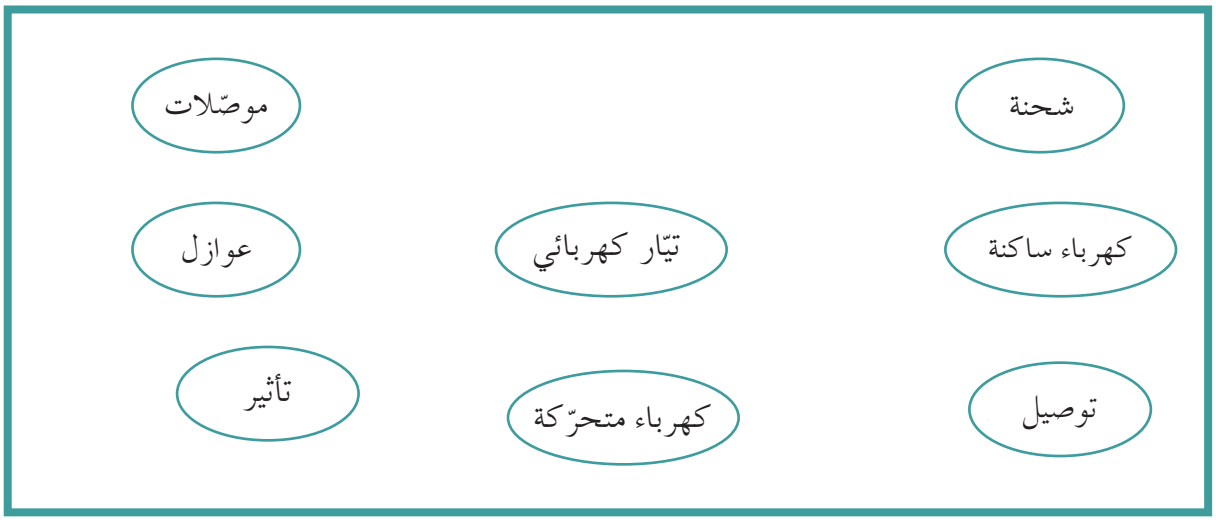
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

- المقاومة المكافئة في دوائر التوازي:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

خريطة مفاهيم الوحدة

استخدم المصطلحات الموضّحة في الشكل التالي لرسم خريطة مفاهيم تُنظّم بعض الأفكار التي احتوتها الوحدة:



تحقق من فهمك

ضع علامة (✓) في المربّع الواقع أمام أنسب إجابة في كلّ ممّا يلي:

1. جسمان مشحونان يُؤثّران على بعضهما بقوّة F . بعد زيادة شحنة كلّ منهما إلى المثلين تُصبح القوّة المؤثّرة بينهما:

☐ $4F$ ☐ $2F$ ☐ $\frac{F}{4}$ ☐ $\frac{F}{2}$

2. لامس جسم مشحون بشحنة سالبة مقدارها $(50)\mu C$ جسمًا مشابهًا له مشحونًا بشحنة موجبة مقدارها $(30)\mu C$. أصبحت شحنة كلّ منهما بعد فصلهما:

☐ $-80\,\mu C$ ☐ $-10\,\mu C$ ☐ $10\,\mu C$ ☐ $40\,\mu C$

3. تتناسب المقاومة الكهربائية لناقل:

☐ طرديًّا مع طوله وعكسيًّا مع مساحة مقطعه
☐ طرديًّا مع طوله ومساحة مقطعه
☐ عكسيًّا مع طوله ومساحة مقطعه
☐ عكسيًّا مع طوله وطرديًّا مع مساحة مقطعه

4. يُمكن استخدام الكشّاف الكهربائي (الإلكتروسكوب) في:

☐ قياس فرق الجهد بين جسمين مشحونين
☐ قياس مقدار الشحنة أو الكشف عنها
☐ قياس مقدار تدفّق الشحنات
☐ الكشف عن عدد الشحنات المتدفّقة

5. الطاقة اللازمة لنقل شحنة مقدارها $(5)C$ بين نقطتين يُساوي فرق الجهد بينهما $(10)V$ هي:

☐ $0.5\,J$ ☐ $2\,J$ ☐ $5\,J$ ☐ $50\,J$

6. إنّ شدّة التيّار التي تحتاجها مكواة لها قدرة كهربائية $(2200)W$ وتعمل على فرق جهد $(220)V$ تُساوي:

☐ $0.01A$ ☐ $0.1A$ ☐ $1\,A$ ☐ $10\,A$

تحقق من معلوماتك

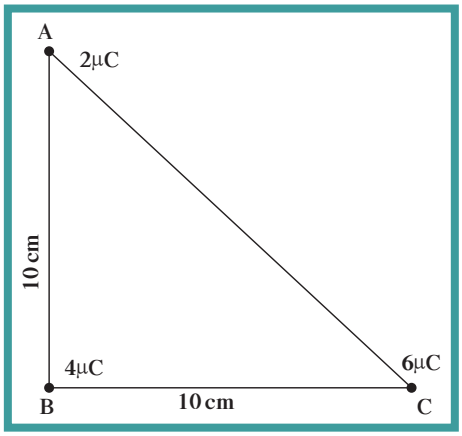
أجب عن الأسئلة التالية:

1. ينجذب إلكترون بقوّة إلى أحد الجزيئات المشحونة الموجودة على بعد معيّن منه .
(أ) ماذا يحدث لهذه القوّة عند مضاعفة المسافة بينهما؟
(ب) ما هي شحنة هذا الجزيء؟
2. ما أوجه الشبه والاختلاف بين شحنتي البروتون والإلكترون؟
3. ما أوجه الشبه والاختلاف بين قانون كولوم وقانون نيوتن للجذب العامّ؟
4. كم عدد الإلكترونات في ذرّة متعادلة مقارنة بعدد بروتوناتها؟
5. الشحن بالدلك:
(أ) عند انتقال الإلكترونات من فرو إلى ساق من المطّاط ، ماذا تُصبح شحنة الساق؟
(ب) ماذا تصبح شحنة الفرو؟
6. ماذا نعني بالقول إنّ الشحنات الكهربائية محفوظة دائمًا؟
7. ماذا يحدث للتيّار المارّ في المصابيح الأخرى إذا احترق أحد المصابيح:
(أ) المتّصلة على التوالي؟
(ب) المتّصلة على التوازي؟
8. ثلاثة مصابيح متشابهة متّصلة على التوازي مع بطّاريّة (6)V . إذا احترق أحدها ، ماذا يحدث لشدّة التيّار في المصباحين الآخرين؟ هل يحدث الشيء نفسه لو كانت متّصلة على التوالي؟
9. عُثِر على جهاز كهربائي قديم بجوار مبنى مهجور عليه علامة تجارية تُوضّح أنّه يستخدم قدرة (8.5)W وتيّار (1.7)A . أمّا فرق جهد التشغيل ، فلا يُمكن رؤيته نظرًا إلى اختفاء جزء من العلامة . ما مقدار فرق جهد التشغيل لهذا الجهاز؟
10. إذا كانت شحنة الإلكترون الواحد C (1.6×10^{-19}) ، فكم عدد الإلكترونات التي يكون مجموع شحناتها (1)C؟
11. مجفّف شعر مكتوب عليه (1500W – 120V) عندما يعمل لمدّة ثلاث دقائق : إحسب:
(أ) التيّار الذي يسحبه مجفّف الشعر؟
(ب) الطاقة التي يستخدمها؟
(ج) الطاقة المستخدمة مقدّرة بوحدات KW.h؟ ($1\ KW.h = 3.6 \times 10^6 J$)
12. يلزم تيّار شدّته (50)A مدّة ثانيتين لتشغيل السيّارة .
(أ) ما مقدار الشحنة التي تُعطيها البطّاريّة لبادئ الحركة في هذا الزمن؟
(ب) كم عدد الإلكترونات في هذه الشحنة؟
13. تمّ إعطاؤك ثلاث مقاومات كلّ منها (10)Ω . صف طريقة توصيلها معًا بحيث تكون:
(أ) المقاومة المكافئة لها أكبر ما يمكن؟
(ب) المقاومة المكافئة لها أصغر ما يمكن؟
14. يتّصل (50) مصباح زينة على التوالي مع مصدر (120)V:
(أ) ما مقدار فرق الجهد بين طرفي كلّ مصباح؟
(ب) ما مقاومة كلّ مصباح إذا كان التيّار المارّ خلالها (0.01)A؟
15. ما تكاليف استهلاك مصباح كهربائي قدرته (100)W يُضاء باستمرار لمدّة أسبوع ، إذا كان سعر (الكيلوواط – ساعة) يُساوي فلسين؟

تحقق من مهاراتك

حلّ المسائل التالية:

1. ثلاث كرات متطابقة A وB وC. تحمل الكرة A شحنة $+5\mu C$ والكرة B شحنة $-3\mu C$، أمّا الكرة C فتحمل شحنة $2\mu C$.



(أ) احسب الشحنة النهائية لكلّ كرة بعد أن لامست الكرة B الكرة A ومن ثمّ الكرة C.

(ب) إذا وضعت الكرة B بعد لمسها الكرة A وC في منتصف المسافة بين A وC حيث إنّ $AC = 1\,m$، احسب القوّة الإجمالية التي تتعرّض لها الكرة B.

2. وُضِعت ثلاث شحنات $(2\mu C, 4\mu C, 6\mu C)$ عند رؤوس المثلّث ABC كما في الشكل التالي.

احسب مقدار القوّة المؤثّرة في الشحنة الموضوعة في النقطة B واتّجاهها.

3. سخّان كهربائي يمرّ فيه تيّار شدّته $3A$ يعمل على فرق جهد $220V$. احسب:

(أ) مقدار الشحنة التي تمرّ به في دقيقة.

(ب) الطاقة الكهربائية المستهلكة في السخّان.

(جـ) مقاومة السخّان واستنتج مساحة مقطع المقاوم إذا كان طول المقاوم $20cm$ والمقاومة النوعية $(1.6 \times 10^{-8})\ \Omega.m$.

(د) قدرة السخّان.

4. ثلاث مقاومات متّصلة كما في الشكل: احسب:

(أ) المقاومة المكافئة 'R لكلّ من المقاومتين R_3 و R_2.

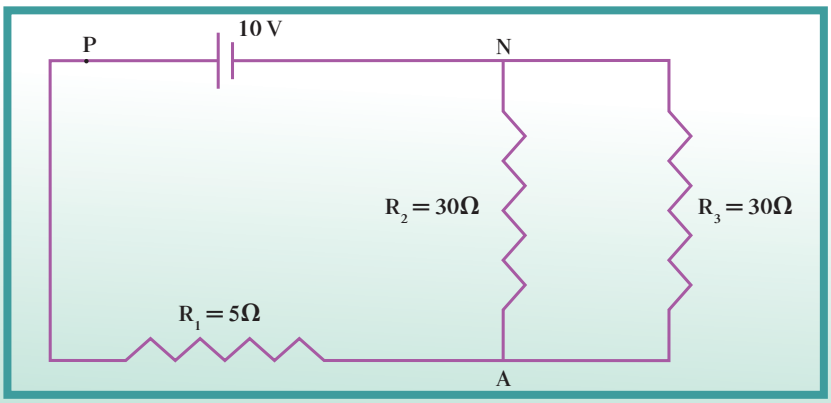
(ب) المقاومة المكافئة للدائرة الكاملة.

(جـ) شدّة التيّار المارّ خلال البطّاريّة.

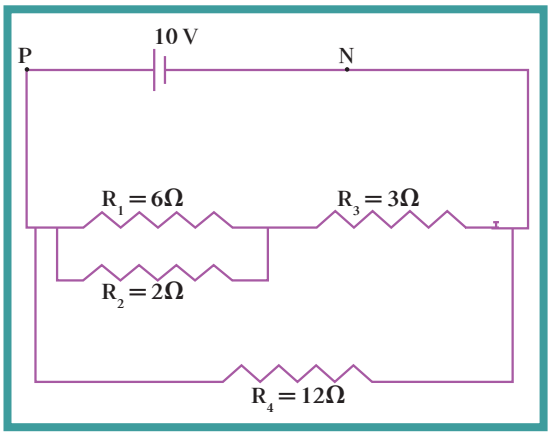
(د) شدّة التيّار المارّ في المقاومتين R_2 و R_3.

(هـ) فرق الجهد بين النقطتين A وP.

(و) الطاقة المستهلكة في المقاومة R_1 إذا ما استُخدِمت لمدّة ساعة واحدة.



5. دائرة مركّبة تحتوي على أربع مقاومات موصّلة كتلك الموضّحة في الشكل التالي . إحسب:



(أ) المقاومة المكافئة .

(ب) شدّة التيّار المارّ خلال R_1 وR_2 .

(جـ) فرق الجهد بين طرفي المقاومة R_1 وR_3 .

(د) الطاقة الكهربائية المستهلكة في R_2 خلال 10 دقائق .

مهارة التواصل

صمّم ملصقًا تُوضّح فيه للناس أهمّية الكهرباء كطاقة، وأهمّية ترشيد استخدامها، وقواعد السلامة في التعامل معها .

نشاط بحثي

قم ببحث تُبيّن فيه الأثر السلبي للكهرباء الساكنة .

اذكر في بحثك بعض الأمثلة عن ذلك الأثر السلبي ، واقترح حلًّا مناسبًا وطرقًا للتحكّم فيها .

ملاحظات

شركة مطابع الرسالة - الكويت
أودع بمكتبة الوزارة تحت رقم (٨٥) بتاريخ ٩/ ٦/ ٢٠١٤م