وزارة التربية

الفيزياء 10

الصف العاشر

الجزء الثاني

كتاب المعلّم

المرحلة الثانوية

الفيزياء

كتاب المعلّم

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 الأولى

1433 - 1434 هـ

2012 - 2013 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

صاحب السمو الشيخ صباح الأحمد الجابر الصباح

أمير دولة الكويت

سمو الشيخ نواف الأحمد الجابر الصباح

ولي عهد دولة الكويت

مقدّمة دليل المعلّم

يُسعدنا ونحن نُقدّم هذا الدليل لمعلّمي الفيزياء للصفّ العاشر، أن نُؤكّد أنّ هذا الدليل قد تمّ إعداده ليكون بمثابة أداة مساعدة يستنير بها المعلّم لتحسين أدائه، وجعل تدريسه عملية وظيفية تستند في المقام الأوّل إلى تغيير دوره من مجرّد ناقل وملقّن للمعارف والمعلومات إلى دور ديناميكي، يُعتبَر المعلّم فيه قائدًا موجّهًا ومخطّطًا للمواقف التعليمية في ظلّ منهج مطوّر أُعِدّ خصّيصًا لإعداد قادة المستقبل من شباب الكويت في عصر العلم والتكنولوجيا، اللذين أصبحا من ضرورات الحياة للإنسان المعاصر.

من هذا المنطلق، كان من الضروري، بل من المحتّم، لمعلّم الفيزياء فهم فلسفة المنهج المطوّر الذي يُعالجه، والتي يُمكن توضيحها في المحاور التالية:

أوّلًا: التأكيد على مبدأ استمرارية التعلّم مدى الحياة من خلال العمل على إكساب الطلّاب منهجية التفكير العلمي، والانتقال بهم من التعليم المعتمد على الحفظ والتلقين إلى التعلّم الممتزج بالمتعة والتشويق، وذلك بالاعتماد على تنمية الفكر الاستكشافي لديهم، تنمية مهارات الملاحظة، التحليل، الاستنتاج، التعليل، بالإضافة إلى إتاحة الفرص أمام الطلّاب لممارسة مهامّ المواطنة، استخدام أساليب التعلّم الذاتي، العمل بروح الفريق، المناقشة والحوار وتقبّل آراء الآخرين، عدم التعصّب للرأي، التريّث في إصدار الأحكام.

ثانيًا: تقديم رؤى شاملة متماسكة للعلاقة بين العلم، والتكنولوجيا، والمجتمع (STS: science, technology and society) تعكس دور التقدّم العلمي في تنمية المجتمع المحلّي، بالإضافة إلى التركيز على ممارسة الطلّاب للتصرّف الواعي والفعّال حيال استخدام المخرجات التكنولوجية.

ثالثًا: التركيز على تزويد الطلّاب بالمفاهيم الفيزيائية ومبادئها المتعلّقة بالقضايا الأخلاقية التي واكبت التقدّم العلمي، وتنمية اتّجاهات الطلّاب تجاه هذه القضايا لتقدير إيجابياتها وإدراك سلبياتها.

رابعًا: تزويد الطلّاب بثقافة شاملة مبنية على رؤية واضحة داخل الإطار البيئي الذي يعيشون فيه، من خلال تنمية الاتّجاهات الإيجابية لحسن استخدام هذه الموارد.

خامسًا: تنمية الولاء للوطن وتعميقه بإظهار دور الدولة في ما تُقدّمه من خدمات تعود بالخير والنفع في جميع النواحي الحياتية.

ماذا عن كتاب الطالب؟

1. يتّفق محتوى الكتاب مع جميع الأهداف العامّة لتدريس العلوم، ويُظهر ما بين محتوى وحداته من ترابط وتكامل.
2. تبدأ كلّ وحدة من وحدات الكتاب بافتتاحية تحوي:
   - مقدّمة تستحثّ الطالب على استقراء محتوى الوحدة واستكشافه
   - عرضًا لدروس الوحدة وأهدافها
   - مجموعة من الأنشطة المتنوّعة: تبدأ بنشاط استكشافي ونشاط لمهارة التعبير الكتابي ونشاط للبحث والتحصيل الذاتي
3. يبدأ كلّ درس من دروس كلّ وحدة بالفكرة الأساسية لمحتوى الدرس.
4. ينتهي كلّ درس من كلّ وحدة بمجموعة من الأسئلة متدرّجة المستوى، والتي تنتقل من الاستفهام المباشر إلى التفكير الناقد.
5. يتضمّن محتوى كلّ وحدة مجموعة من المعالم المتميّزة والمرتبطة ارتباطًا وثيقًا بموضوعات الوحدة، على النحو التالي:
   - علم الفيزياء في حياتنا اليومية، الفيزياء والمجتمع، الفيزياء والمواد الدراسية الأخرى، العلم والإنسان
   - العلم والتكنولوجيا والمجتمع
   - الأنشطة العلمية التربوية (نشاط استكشافي، نشاط بحثي أو مقارنة، نشاط مخبري)
6. تنتهي كلّ وحدة بتحديد الأفكار الرئيسة للدروس، وكذلك بتحديد أهمّ المفاهيم التي تحويها، وبتقويم يشمل عددًا من الأسئلة متدرّجة المستوى، روعِي فيه اشتماله على الأسئلة الموضوعية والمقالية بنوعياتها المختلفة، ذات الإجابات القصيرة، كما روعِي فيه ما طرأ من تحديث وتطوير في مجال التقويم. فاشتمل هذا التقويم على أسئلة لبناء خرائط المفاهيم ولتطبيق المفاهيم وتقويمها وتصميم التجارب وتحليل المعلومات والقضايا محلّ البحث.
7. تضمّن الكتاب الأشكال والرسوم التي جاءت مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بموضوعات الكتاب، وقد تمّ توظيفها بشكل يُمكّن الطالب من إدراك العلاقات بين المتغيّرات، من خلال عمليات التفسير والتحليل والاستنتاج.

إنّ تناولنا لكلّ وحدة من الوحدات على حدة في هذا الدليل من حيث الأهداف، الخطّة الزمنية، المعالم، الوسائط التعليمية، طرق تدريس المحتوى والتقويم، ليس الهدف منها وضع قيد على المعلّم، نحدّ به من حرّيته في تناول الأهداف المنشودة ومعالجتها، في الوقت الذي نُقدّر فيه أنّ لكلّ معلّم شخصيته المميّزة، مهاراته، اجتهاداته الخاصّة به.

وأخيرًا ... فإنّنا نتمنّى أن يكون هذا الدليل في مستوى طموحات زملائنا المعلّمين، وأن يجدوا فيه عونًا لهم على أداء رسالتهم التربوية النبيلة حتّى تتحقّق الأهداف المرجوّة.

والله من وراء القصد، وهو يهدي إلى سواء السبيل.

المؤلّفون

المحتويات

الجزء الأوّل

الوحدة الأولى: العلوم والتكنولوجيا ودورها في تنمية المجتمع

الوحدة الثانية: الحركة

الوحدة الثالثة: المادّة وخواصّها الميكانيكية

الجزء الثاني

الوحدة الرابعة: الموجات والصوت

الوحدة الخامسة: الكهرباء الساكنة (الإلكتروستاتيكية) والتيّار المستمرّ

محتويات الجزء الثاني

الوحدة الرابعة: الاهتزازات والموجات	**14**
الفصل الأوّل: الموجات والصوت	**16**
الدرس الأوّل: الحركة التوافقية البسيطة	17
الدرس الثاني: خصائص الحركة الموجية والصوت	20
الوحدة الخامسة: الكهرباء الساكنة (الإلكتروستاتيكية) والتيّار المستمرّ	**37**
الفصل الأوّل: الكهرباء الساكنة	**39**
الدرس الأوّل: الشحنات والقوى الكهربائية (قانون كولوم)	40
الدرس الثاني: الموصّلات والعوازل وطرق الشحن	45
الدرس الثالث: الشحن بالتأثير (الحثّ) واستقطاب الشحن	47

الفصل الثاني: التيّار الكهربائي والدوائر الكهربائية 50

الدرس الأوّل: التيّار الكهربائي ومصدر الجهد 51

الدرس الثاني: المقاومة الكهربائية – قانون أوم 53

الدرس الثالث: القدرة الكهربائية 56

الدرس الرابع: الدوائر الكهربائية 58

الهدف الشامل للتربية في دولة الكويت

تهيئة الفرص المناسبة لمساعدة الأفراد على النمو الشامل المتكامل روحيًا وخلقيًا وفكريًا واجتماعيًا وجسمانيًا إلى أقصى ما تسمح به استعداداتهم وإمكاناتهم في ضوء طبيعة المجتمع الكويتي وفلسفته وآماله وفي ضوء المبادئ الإسلامية والتراث العربي والثقافة المعاصرة بما يكفل التوازن بين تحقيق الأفراد لذواتهم وإعدادهم للمشاركة البناءة في تقدم المجتمع الكويتي والمجتمع العربي والعالم عامه.

الأهداف العامة لتعليم العلوم

تؤكد أهداف تعليم العلوم في مراحل التعليم العام على تنمية الخبرات المختلفة: الجانب المعرفي والجانب المهاري والجانب الوجداني. هذا وقد صيغت الأهداف التالية لكي تحقق الجوانب الثلاثة بحيث تساعد المتعلم على:

1. تعميق الإيمان بالله سبحانه وتعالى من خلال تعرفه على بديع صنع الله وتنوع خلقه في الكون والإنسان.
2. استيعاب الحقائق والمفاهيم العلمية، واستخدامها في مواجهة المواقف اليومية، وحل المشكلات، وصنع القرارات.
3. اكتساب بعض مفاهيم ومهارات التقانة بما ينمي لديه الوعي المهني، وحب وتقدير العمل اليدوي، والرغبة في التصميم والابتكار.
4. اكتساب قدر مناسب من المعرفة والوعي البيئي بما يمكنه من التكيف مع بيئته، وصيانتها، والمحافظة عليها، وعلى الثروات الطبيعية.
5. اكتساب قدر مناسب من المعرفة الصحية والوعي الوقائي بما يمكنه من ممارسة السلوك الصحي السليم والمحافظة على صحته وصحة بيئته ومجتمعه.
6. اكتساب مهارات التفكير العلمي وعمليات التعلم وتنميتها وتشجيعه على ممارسة أساليب التفكير العلمي وحل المشكلات في حياته اليومية.
7. تنمية مهارات الاتصال، والتعلم الذاتي المستمر، وتوظيف تقنيات المعلومات ومصادر المعرفة المختلفة.
8. فهم طبيعة العلم وتاريخه وتقدير العلم وجهود العلماء عامه والمسلمين والعرب خاصة والتعرف على دورهم في تقدم العلوم وخدمة البشرية.
9. اكتساب الميول والاتجاهات والعادات والقيم وتنميتها بما يحقق للمتعلم التفاعل الإيجابي مع بيئته ومجتمعه ومع قضايا العلم والتقانة والمجتمع.

الأهداف العامّة لتدريس الفيزياء في المرحلة الثانوية

يهدف تعليم الفيزياء في المرحلة الثانوية في دولة الكويت إلى:

1. إكساب الطالب المعرفة الأساسية للمصطلحات، الحقائق، المفاهيم، القوانين، القواعد، النظريات العلمية والعملية واستيعابها، القدرة على تطبيقها في مواقف جديدة وغير نمطية.
2. تنمية المهارات المختلفة، على سبيل المثال:
   (أ) إجراء التجارب العملية
   (ب) استخدام الأدوات والأجهزة العلمية
   (جـ) التعلّم التعاوني، وذلك من خلال العمل في مجموعات، وبثّ روح المواطنة
   (د) الملاحظة، القياس، كتابة التقارير العلمية
   (هـ) عمل الرسوم التخطيطية والبيانية
3. تعزيز تقدير الطالب لمادّة الفيزياء وإسهاماتها في دفع عجلة التنمية والتطوّر التكنولوجي الحادث في العالم، وانعكاس هذا على المجتمع الذي نعيش فيه.
4. تعزيز حبّ الطالب وشغفه بعلم الفيزياء، ورغبته في الاستمرار في دراسة هذا العلم.

مخطّط الوحدة الرابعة: الاهتزازات والموجات

الفصل	الدرس	الأهداف	عدد الحصص	معالم الوحدة
1 . الموجات والصوت	1–1 الحركة التوافقية البسيطة	✍ يعرّف الحركة التوافقية البسيطة ويصفها. ✍ يذكر بعض تطبيقات الحركة التوافقية البسيطة. ✍ يستنتج العلاقة بين الجانب المعرفي للعلوم والجانب التطبيقي منها وأهمّيتها في تنمية المجتمع.	2	**اكتشف بنفسك:** ما هي الموجات؟
	1–2 خصائص الحركة الموجية والصوت	✍ يحدّد الخصائص العامّة للموجات. ✍ يعرّف معنى انعكاس الصوت وانكساره. ✍ يعرّف معنى تراكب الصوت وتداخله وحيوده. ✍ يعرّف الموجات الموقوفة (الساكنة). ✍ يصف اهتزاز الأوتار وتحديد والعوامل التي يتوقّف عليها تردّد الوتر المهتزّ. ✍ يصف اهتزاز الأعمدة الهوائية ويعرّف معنى 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.	8	**توظيف الفيزياء:** اختصاصيّو الزلازل **توظيف الفيزياء:** ضابط الشرطة **العلوم والتكنولوجيا والمجتمع:** صحّتك والضوضاء **العلوم والتكنولوجيا والمجتمع:** الخفّاش **توظيف الفيزياء:** الفيزياء يُلغي أو يُخفّف الضوضاء **نشاط إثرائي:** الضربات
حلّ أسئلة مراجعة الوحدة			2	
إجمالي عدد الحصص			12	

الوحدة الرابعة

الاهتزازات والموجات

مكوّنات الوحدة

الفصل الأوّل: الموجات والصوت

الدرس الأوّل: الحركة التوافقية البسيطة

الدرس الثاني: خصائص الحركة الموجية والصوت

مقدّمة

درسنا في سياق سابق أحد أنماط الحركة وهو الحركة الانتقالية. في هذه الوحدة، سنتناول نمطًا جديدًا للحركة وهو الحركة الاهتزازية، حيث سنتعرّف خصائص هذه الحركة ومعادلاتها واستخداماتها في حياتنا اليومية. وسندرس أيضًا الموجات وعلاقتها بالحركة الاهتزازية ونُبيّن دورها في نقل الطاقة. كما سنتعرّف علم الصوت والموجات الصوتية المصاحبة لصدوره، وكيفية انتقالها في الأوساط المادّية المختلفة والعوامل المؤثّرة في انتقالها. وسندرس أيضًا بعض الظواهر المرتبطة بالموجات بشكل عامّ، والموجات الصوتية بشكل خاصّ، من انعكاس وانكسار وتراكب وتداخل وغيرها.

استعرض أهداف الوحدة والمصطلحات المستخدمة في دروسها.

التعليق على الصورة الافتتاحية للوحدة

دع الطلّاب يتفحّصون صورة افتتاحية الوحدة ويقرأون التعليق المصاحب لها، واستهلّ موضوع الوحدة من خلال تعليقاتهم.

تُظهر الصورة أنّ للموجة سعة تختلف بين موجة وأخرى.

الفت انتباه الطلّاب إلى الطاقة التي تنقلها الموجات والتي تظهر في حركة المتزلّج على سطح الماء.

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 بحوالي 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

اكتشف بنفسك

اطلب إلى الطلّاب تنفيذ هذا النشاط ضمن مجموعات والإجابة عن الأسئلة.

الإجابات:

1. إنّ سبب حدوث الموجة هو الحركة الاهتزازية للقلم.
2. إنّ حركة القلم عدّة مرّات في وقت محدّد تُمثّل تردّد الموجة، وهو إحدى خصائص الموجة.
3. كلّما كبر عدد الاهتزازات في الثانية، كانت المسافة بين قمم الموجات أقرب إلى بعضها بعضًا.
4. إنّ العلاقة بين عدد الاهتزازات في وقت محدّد والمسافة بين قمّتين متتاليتين هي علاقة تناسب طردي.

الأهداف المرجوّ اكتسابها بعد دراسة الوحدة الرابعة

الأهداف المعرفية

يُرجى أن يكون الطالب قادرًا على أن:

- يعرّف الحركة التوافقية البسيطة.
- يحدّد الخصائص العامّة للموجات.
- يعرّف كل من انعكاس الصوت وانكساره.
- يفسّر معنى تراكب الصوت وتداخله وحيوده.
- يعرّف الموجات الموقوفة (الساكنة).
- يشرح قانون انعكاس الصوت.
- يصف كيفية تداخل الصوت والموجات الموقوفة.
- يُعيّن سرعة الصوت باستخدام الرنين في الأعمدة الهوائية.

الأهداف المهارية

يُرجى أن يكتسب الطالب المهارات التالية:

- استخدام القواعد والصيغ الرياضية.
- استخدام الجداول والرسوم البيانية.
- المقارنة والاستنتاج بين ظواهر موجية مختلفة.
- قياس الزمن الدوري لحركة اهتزازية.
- استخدام أدوات مختلفة لتحقيق بعض ظواهر الصوت عمليًّا.

الأهداف الانفعالية

يُرجى أن يكتسب الطالب أوجه التقدير التالية:

- تقدير جهود العلماء وإسهاماتهم في دراسة الصوت.
- تقدير أهمّية علم الصوتيات في مجال الاتّصالات والطبّ والبحث والتنقيب عن النفط والمعادن.

الفصل الأوّل

الموجات والصوت

دروس الفصل

الدرس الأوّل: الحركة التوافقية البسيطة

الدرس الثاني: خصائص الحركة الموجية والصوت

لو تأمّلنا من حولنا لوجدنا أنّ الكثير من الظواهر الموجية تُحيط بنا، مثل اضطراب سطح الماء الساكن عند إلقاء حجر فيه، أو انتشار صوت وتر مهتزّ لآلة موسيقية ناشرًا موجة صوتية، أو حركة موجة زلزالية في القشرة الأرضية ناقلة طاقة إلى السطح.

في هذا الفصل، يعود سبب اهتمامنا بدراسة الصوت كنموذج عن الحركة الموجية إلى أهمّية علم الصوت وارتباطه بالكثير من المجالات في حياتنا اليومية، ومساهمته الكبيرة في تطوّرها وتقدّمها. ففي مجال الاتّصالات، نجد أنّ لعلم الصوتيات دورًا كبيرًا في تطوّر الاتّصالات السلكية واللاسلكية، وإنشاء الإذاعات المسموعة التي تطوّرت في ما بعد لتُصبح محطّات مرئية وصولًا إلى مرحلة التواصل عبر الإنترنت.

وفي المجالات الطبّية تبرز مساهمة علم الصوت في صناعة السمّاعات الطبّية وفي استخدام الموجات الصوتية في التصوير. وتُساهم دراسة علم الصوت أيضًا في تطوير أدوات ووسائل البحث والتنقيب عن النفط والمعادن والكشف عن الزلازل.

اختبار المعلومات السابقة لدى الطلاب

- تمهيدًا للفصل، وجّه إلى الطّلاب أسئلة حول تعريف الموجة وأنواعها.
- ذكّرهم بأنّ الموجات الميكانيكية هي مستعرضة وطولية، واسألهم عن الفرق بين الموجات الطولية والموجات المستعرضة.
- أكّد على الفرق بين الاهتزازة والموجة، ثمّ أظهر العلاقة بين الاهتزازة والموجة من خلال أمثلة بسيطة من الحياة اليومية.

استخدام الصورة الافتتاحية للفصل

دع الطلّاب يتفحّصون صورة افتتاحية الفصل ويقرأون التعليق المصاحب لها. تكلّم عن الموجة الزلزالية كأحد أنواع الموجات، وعن الطاقة المدمّرة التي تنقلها الموجة من قشرة الأرض إلى سطحها مشيرًا إلى أنّ الموجات تنقل الطاقة من نقطة إلى أخرى.

دروس الفصل
الدرس الأوّل
- الحركة التوافقية البسيطة

الدرس الثاني
- خصائص الحركة الموجية والصوت

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.

خلفية علمية

عندما تلقي حجرًا في بركة ماء، تشاهد تولُّد دوائر متّحدة المركز عند نقطة ملامسة الحجر لسطح الماء، ثم تتّسع تدريجيًّا منتشرة في اتجاه جوانب البركة. ما ينتقل بالفعل هو ما يُعرف بالموجات، أمّا جزيئات الماء فهي تهتزّ في مكانها ولا تنتقل.

الموجات عبارة عن اضطرابات تنتقل في الوسط باتّجاه معيّن وبسرعة معيّنة. هناك موجات ميكانيكية مستعرضة وطولية تستوجب وجود وسط مادّي لتنتشر، مثل موجات الماء وموجات الصوت. وهناك أيضًا موجات لا تحتاج إلى وسط مادّي لتنتشر، تسمّى موجات كهرومغناطيسية، مثل موجات الضوء، وهي دائمًا موجات مستعرضة.

تتمتّع الموجات بخصائص مشتركة، منها الانتشار في خطوط مستقيمة والانعكاس والانكسار والحيود والتداخل.

الدرس 1-1 الحركة التوافقية البسيطة

الأهداف

- يعرّف الحركة التوافقية البسيطة ويصفها.
- يصف بعض تطبيقات الحركة التوافقية البسيطة.

الأدوات المستعملة: أقلام تأشير، نماذج ولوحات تعليمية، شرائط فيديو، أقراص مدمجة

صفحات الطالب: من ص 14 إلى ص 18

صفحات الأنشطة: —

عدد الحصص: 5

1. قدّم وحفّز

حثّ الطلّاب على الدرس من خلال إجراء نشاط يُوضّح نتائج ما يُظهره شكل 1 ص 14، مستخدمًا نابضًا وكتلة.

دعهم يلاحظون الحركة الاهتزازية وكيف أنّها تُعيد نفسها في فترات زمنية متساوية، واطلب إليهم تعريف الحركة الدورية.

الفت انتباههم إلى وجود الاحتكاك الذي يُؤثّر في نتائج النشاط الذي قاموا به، وإلى وجود فرق بين الحركة الدورية والحركة التوافقية البسيطة من خلال طرحك السؤال التالي:

- هل كلّ حركة اهتزازية دورية تُعَدّ حركة توافقية بسيطة؟

2. علّم وطبّق

2. 1 مناقشة

عرّف الطلاب إلى قوّة الإرجاع (المعيدة) التي تُسبّب الحركة التوافقية البسيطة.

أشر إلى دور هذه القوّة في إرجاع الكتلة المربوطة في نهاية النابض إلى وضعية الاتّزان، وإلى اتّجاهها المعاكس لاتّجاه القوّة المسبّبة للإزاحة، وإلى مقدارها المساوي للقوّة المسبّبة للإزاحة.

حاورهم وحثّهم على استنتاج تعريف الحركة التوافقية البسيطة وارتباطها بقوّة الإرجاع.

[تُعدّ الحركة التوافقية البسيطة حركة اهتزازية تتناسب فيها قوّة الإرجاع تناسبًا طرديًّا مع الإزاحة الحاصلة للجسم، وفي اتّجاه معاكس لها عند إهمال الاحتكاك.]

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 عن موضع الاتّزان ويستطيل النابض بإزاحة مقدارها (x) عن موضع الاتّزان. وعندما نترك الجسم، يُؤثّر النابض على الكتلة بقوّة تُسمّى قوّة الإرجاع Restoring force لتُعيدها إلى موضع الاتّزان. وتكون قوّة الارجاع

14

2.2 مناقشة

ذكّر الطلّاب بما درسوه في الرياضيات عن شكل منحنى الجيب وعن المعادلة الرياضية التي تُمثّله، وأشر إلى تطابق ذلك وتداخله مع التمثيل البياني للحركة التوافقية البسيطة الذي سبق وأعدّوه.

اكتب للطلّاب معادلة الإزاحة في الحركة التوافقية البسيطة ووضّح معنى رموز المعادلة ووحدة قياس كلّ رمز بحسب النظم الدولية للوحدات. وأشر إلى خصائص الحركة التوافقية البسيطة من سعة وتردّد، وغيرها.

اعرض المثال المحلول ص 16 أمام الطلّاب وبيّن خطوات طريقة الحلّ للإجابة على أجزائه.

تحقّق من فهم الطلّاب لخصائص الحركة التوافقية البسيطة بإعطائهم الوقت الكافي للاطّلاع على " الأسئلة التطبيقية وحلّها" والقيام بحلّها للوصول إلى الإجابات المعطاة في نهاية كلّ مسألة.

3.2 مناقشة

قسّم الطلّاب إلى مجموعات لتنفيذ نشاط البندول البسيط كتطبيق عملي على الحركة التوافقية البسيطة.

تأكّد أنّ جميع المجموعات تمكّنت من قياس الزمن الدوري للبندول. ثمّ اطلب إلى الطلّاب إثبات معادلة الزمن الدوري عمليًّا، واحرص على تعرّف جميع المجموعات العوامل المؤثّرة في الزمن الدوري.

اعرض المثال المحلول ص 17 أمام الطلّاب وبيّن خطوات طريقة الحلّ للإجابة على أجزائه.

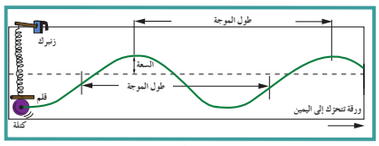
مساوية للقوّة المؤثّرة من حيث المقدار وعكسها من حيث الاتّجاه، كما أنّ هذه القوّة تتناسب طرديًّا مع إزاحة الجسم المهتزّ. تتكرّر هذه الحركة في فترات زمنية متساوية وتستمرّ في غياب الاحتكاك فوق السطح الأملس بسبب قوّة الإرجاع تلك تنشأ حركة اهتزازية تُسمّى الحركة التوافقية البسيطة.

لذا يُمكن تعريف **الحركة التوافقية البسيطة Simple harmonic motion بأنّها حركة اهتزازية تتناسب فيها القوّة المعيدة (قوة الإرجاع) طرديًّا مع الإزاحة الحادثة للجسم وتكون دائمًا 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)

سنُلاحظ 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 (اتزانه).**
- **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 وk 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.

نقاط 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. قيّم وتوسّع

1.3 تقييم استيعاب الطلاب للدرس

اطلب إلى الطلّاب حلّ بعض المسائل الإضافية حول خصائص الحركة التوافقية البسيطة، فيجدون على سبيل المثال كلًّا من السعة، والزمن الدوري، والتردّد، وزاوية الطور، والسرعة الزاوية، وغيرها، مستخدمين معادلة الإزاحة. كما يقومون بحلّ مسائل إضافية حول احتساب الزمن الدوري لبندول بسيط مستخدمين العلاقة الرياضية للزمن الدوري.

2.3 إعادة عرض الدرس

في حال وجود أيّ التباس أو سوء فهم لدى الطلّاب، أعد عملية الشرح وركّز على السبب الذي أدّى إلى سوء الفهم. شدّد أيضًا على ضرورة الاستخدام الصحيح للعلاقات الرياضية ووحدات القياس المناسبة.

إجابات أسئلة الدرس 1–1

1. راجع كتاب الطالب.
2. الزمن الدوري: $T = \frac{1}{f}$

$$T = \frac{1}{100} = 0.01(s)$$

3. (أ) $T = 2\pi\sqrt{\frac{1}{10}} = 1.98(s)$

(ب) لا تُؤثّر الكتلة في الزمن الدوري.

(جـ) $T' = 2\pi\sqrt{\frac{1}{g'}}$

ولكن $g' = 5(g)$

وهذا يعني أنّ

$$T' = 2\pi\sqrt{\frac{1}{5g}} = 0.89(s)$$

4. $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{0.2}{100}} = 0.28(s)$

5. يُحسب عمليًّا الزمن الدوري باستخدام ساعة الإيقاف.

تُستخدم القاعدة $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ لاحتساب (g).

6. $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{6}(s)$

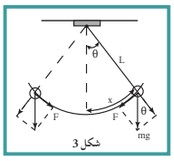
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow \frac{1}{6} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{200}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{36} = \frac{40\ m}{200}$$

$$m = \frac{200 \times 1}{40 \times 36} = 0.138(kg)$$

3.1 تطبيقات عملية للحركة التوافقية البسيطة

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).



شكل 3

نُحرّك الثقل حركة بسيطة لا تبعد كثيرًا عن موضع الإتزان (لا تزيد عن 10°) 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 رأسيًا، وحينما اتّزن الجسم سُحب ثمّ تُرك 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) $f = (50)Hz$

17

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 وُضع على كوكب آخر عجلة جاذبيته خمسة أمثال عجلة جاذبية الأرض

رابعًا – عُلّق 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 أُعطيت استخدامهم من كرة معدنية وخيطًا رفيعًا وساعة إيقاف، اشرح كيف يُمكنك حساب عجلة الجاذبية الأرضية.

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

18

الدرس 1-2 خصائص الحركة الموجية والصوت

الأهداف

- يستنتج الخصائص العامّة للموجات.
- يُعرّف معنى انعكاس الصوت وانكساره.
- يُعرّف معنى تراكب الصوت وتداخله وحيوده.
- يُعرّف الموجات الموقوفة (الساكنة).
- يصف اهتزاز الأوتار ويذكر العوامل التي يتوقّف عليها تردّد النغمة الأساسية لوتر.
- يُعرّف اهتزاز الأعمدة الهوائية ومعنى الرنين في الصوت.
- يكتسب مهارة القيام ببعض الأنشطة البسيطة.

صفحات الطالب: من ص 19 إلى ص 34

صفحات الأنشطة: من ص 15 إلى ص 18

عدد الحصص: 10

الأدوات المستعملة: أقلام تأشير، نماذج ولوحات تعليمية، أفلام فيديو، أقراص مُدمجة، أنبوب كونيك، شوكة رنّانة، جهاز ميلد، صونومتر، أنابيب مفتوحة

1. قدّم وحفّز

1.1 تنشيط المعرفة السابقة

لتقدير مدى معرفة الطلاب عن الموجات وتحفيزهم، اطرح عليهم الأسئلة التالية:

- ما هي الموجة؟ **[اضطراب ينتشر في وسط معيّن ويعمل على نقل الطاقة]**
- كيف تحدث الموجة؟ **[عندما تنتقل الحركة الإهتزازية من المنبع إلى جميع جزيئات الوسط المادي المرن]**
- ما علاقة الموجة بالحركة الاهتزازية؟ **[الحركة الاهتزازية تُولّد الموجات في وسط معيّن.]**
- ما هي الظواهر المتعلّقة بالموجات؟ **[الانعكاس، الانكسار، ...]**
- كيف يصدر الصوت؟ **[يصدر الصوت نتيجة إهتزاز الأجسام المختلفة في وسط مادي مرن.]**

ناقش الطلّاب وأعطهم الوقت الكافي لاستعادة معرفتهم السابقة عن خصائص الموجة من سعة، وتردّد، وزمن دوري.

2.1 توظيف الفيزياء

استخدم «توظيف الفيزياء» لإبراز أهمّية دراسة خصائص الموجات. أخبر الطلّاب أنّه عند حدوث زلزال، يدرس اختصاصي الزلازل الموجات التي تُحدثها طاقته ويُقارن بين سرعة الموجات وسعتها من أجل وصف الزلزال والتنبّؤ بحدوثه في المستقبل. واذكر أيضًا أنّ دراسة هذه الخصائص أدّت إلى تصميم أجهزة حديثة ومتطوّرة تقيس سرعة الموجات وسعتها بدقّة مثل الردارات.

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 المستقبل 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، ستتعلّم خصائص الموجات بشكل عامّ، والموجات الصوتية بشكل خاصّ. وستدرس كيفية توليد الموجات الموقوفة في الأوتار المهتزّة والأعمدة الهوائية.

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.

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 $v = \lambda . f$

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

2. علّم وطبّق

1.2 مناقشة

أعد تعريف كلّ من خصائص الموجة (تردّد، طول موجي، زمن دوري) وذكّر الطلّاب العلاقة الرياضية $v = \lambda f$، ثمّ اعط مثالًا على استخدامها لتحديد سرعة الموجة.

أكّد للطلّاب أنّ ما تعلّموه بشكل عامّ عن ظواهر الموجات، من انعكاس وانكسار وغيرها، ينطبق على الموجات الصوتية، وهذا ما سيكتشفونه ويتحقّقون منه، بالإضافة إلى ظواهر أخرى سيتعرّفونها في سياق الدرس.

2.2 مناقشة

اشرح بعض تطبيقات ظاهرة انعكاس الصوت، واعط مثالًا عن استخدام ظاهرة الصدى في قياس أعماق البحار والمحيطات وفي تحديد ارتفاع الطائرة.

أشر إلى تأثير ظاهرة انعكاس الصوت والصدى في هندسة الصوتيات حيث يُراعى التقليل من آثاره على وضوح الصوت عند تصميم قاعات المحاضرات والمسارح والتسجيل الإذاعي.

اشرح لهم كيفية استخدام ظاهرة انعكاس الصوت على الأسطح المقعّرة في تركيز الصوت، وذلك لزيادة وضوحه وشدّته. أعط مثالًا على استخدام ذلك في الحرم المكي ومسجد الرسول.

أعطهم أيضًا أمثلة عن تطبيقات انعكاس الصوت، مثل عملية نقل الأصوات بالأنابيب كما هي الحال في سمّاعة الطبيب حيث تكون لتلك الأنابيب معاملات امتصاص صغيرة تُقلّل من امتصاص جدرانها للطاقة الصوتية.

اطلب إلى الطلّاب البحث في شبكة الإنترنت عن انعكاس الصوت وتطبيقاته المختلفة، وذلك بهدف إثراء معرفتهم وتعزيز تقديرهم لأهمّية هذه الظاهرة في الحياة العملية.

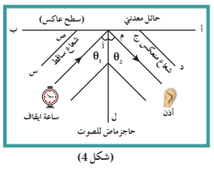
- تنعكس الموجات على السطوح العاكسة محققة قوانين الانعكاس.
- تنكسر الموجات عند إنتقالها بين وسطين مختلفين محققة قوانين الانكسار.
- من خصائص الموجات ما يُعرف بالتراكب والتداخل والحيود. سوف نتطرّق إلى هذه الظواهر في سياق هذا الدرس.

2. انعكاس الصوت وانكساره
Sound Refraction and Diffraction

يُعرف 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 يُمتصّ. 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 تُمتصّ 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 $[\theta_i = \theta_r]$.**

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

صخب والضوضاء

نحن نُحاول حماية أعيننا من الضوء الشديد، ولكن لا نُعير مثل هذا الاهتمام لأذاننا. 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.

ويُعرف 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 $s\left(\frac{1}{10}\right)$ بعد وصول الصوت إلى طبلة الأذن، فإذا وصل الصوت المنعكس إلى الأذن في زمن أقلّ من $s\left(\frac{1}{10}\right)$ 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 $s\left(\frac{1}{10}\right)$ 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 $s\left(\frac{1}{10}\right)$ تُعادل

$(34)\ m = \frac{1}{10} \times 340$، 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. تغيّر 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 حدًا معيّنًا 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.

(ج) 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).

3.2 مناقشة

اطرح السؤالين الواردين في كتاب الطالب:

- ماذا يحدث عندما تلتقي موجتان في الوسط نفسه؟ وكيف تنتشران بعد أن تلتقيا؟

استمع إلى توقّعات الطلّاب وإجاباتهم، ثم عرّف مبدأ التراكب بين موجتين ملتقيتين في وسط محدّد.

أكّد على ضرورة أن تكون الموجات المتراكبة من النوع نفسه وإلّا لن يتحقّق مبدأ التراكب بينها.

فسّر للطلّاب أنّ مبدأ التراكب هو الذي يُمكّننا من سماع صوت شخص ما بوضوح رغم تقاطعه مع أصوات أخرى في المكان.

4.2 مناقشة

عرّف ظاهرة التداخل منطلقًا من كونها تراكب بين موجتين لهما التردّد نفسه.

أشر إلى وجود نوعين من التداخل: التداخل الهدمي والتداخل البنائي.

وضّح دور فرق المسار في تحديد نمط التداخل، واعرض العلاقة الرياضية التي تُحدّد نمطي التداخل (هدمي أو بنائي) وتُفرّق بينهما، وفسّرها.

وضّح أنّ الموجات الصوتية تتداخل كأيّ نوع آخر من الموجات. إذ كان تداخلها بنائيًّا تزداد شدّة الصوت، بينما تقلّ أو تنعدم إذا كان تداخلًا هدميًّا.

5.2 مناقشة

لتوضيح ظاهرة التداخل في الصوت، قسّم الطلّاب إلى مجموعات لتنفيذ نشاط يُظهِر التداخل في الصوت باستخدام أنبوب كيونيك.

وزّع المهامّ داخل المجموعات (إعداد الأدوات المستخدمة، تشغيل مصدر الصوت، تحريك الأنبوب للداخل والخارج حتّى سماع أعلى صوت ومن ثمّ أضعف صوت، قياس المسار في الحالتين، احتساب الطول الموجي، تسجيل القراءات والملاحظات والنتائج).

فسّر ارتفاع شدّة الصوت وتلاشيها في الحالتين، وعرّف كلًّا من العقدة والبطن، وحساب طول الموجة. تطرّق إلى كيفية احتساب سرعة الصوت مستخدمًا العلاقة الرياضية بين تردّد المصدر الصوتي (الشوكة الرنّانة) وطول الموجة.

شدّد على أنّ طول الموجة يُساوي ضعف المسافة بين عقدتين متتاليتين أو بطنين متتاليين.

6.2 مناقشة

وضّح الفرق بين ظاهرتي التداخل والضربات وذلك من أجل توسيع نطاق معرفة الطلّاب.

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:

$0.6 \times 340 = (204)$m.

لنفترض أنّ مصدر الصوت يحدث في قاعة طولها $\frac{204}{2} = (102)$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 s(1). وفي المسارح يصل زمن الترديد إلى s(2.5).

ويُمكن تصحيح الهندسة الصوتية لقاعة ما باستخدام ألواح من مادّة ماصّة للصوت (شكل 5)، مثل الفلين والجبس والنسيج الزجاجي. توضع 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 يوريثين

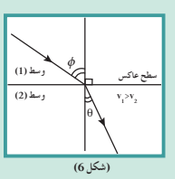
3.2 انكسار الصوت Sound Refraction

انكسار الصوت هو التغير 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:

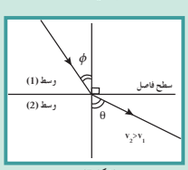
$$\frac{\sin \phi}{\sin \theta} = \frac{v_1}{v_2}$$

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.

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.

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.

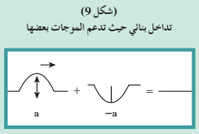
وهناك نمطان من التداخل: الأوّل هو التداخل البنائي حيث تدعم الموجات بعضها فتقوى، كالتقاء قمّتين مثلًا (شكل 9). والنمط الثاني هو التداخل الهدمي حيث تُلغي الموجات بعضها كالتقاء قمّة موجة مثلًا مع قاع موجة أخرى (شكل 10). يسهل رؤية تداخل الموجات على سطح الماء عندما يُلامس جسمان مهتزّان سطح الماء بالتردّد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

أثناء النهار

أثناء المساء (الليل)

(شكل 8)
يختلف انكسار الصوت في الهواء باختلاف درجة حرارة طبقات الهواء.

(شكل 9)
تداخل بنائي حيث تدعم الموجات بعضها



(شكل 10)
تداخل هدمي حيث تلغي الموجات بعضها

(شكل 11)
تداخل ناتج عن تراكب أمواج الماء من مصدرين مهتزين.

7.2 مناقشة

عرّف ظاهرة الحيود بأنّها انحناء الموجات حول حافّة حادّة أو عند عبورها خلال فتحة صغيرة. وضّح للطلّاب ظاهرة الحيود عبر إجراء نشاط عملي يُستخدَم فيه حوض الموجات حيث يظهر انحناء الموجات المستقيمة باستخدام شرائح متعدّدة، ويتبيّن ازدياد الانحناء كلّما كان طول الفتحة أصغر.

أكّد للطلّاب أنّ ظاهرة الحيود تحدث في الموجات الصوتية عند اصطدام موجات الصوت بحواجز وفتحات تتناسب أبعادها مع الطول الموجي للموجات الصوتية، ما يسمح لنا بسماع صوت يفصلنا عنه حاجز.

8.2 مناقشة

أجر نشاطًا تطبيقيًّا لتعريف الموجات الموقوفة وإظهار قطاعاتها، مستخدمًا حبلًا مربوطًا بالحائط تقوم بهزّه بطريقة منتظمة ليُصدر موجة تسقط على الحائط وتنعكس، فيحدث تراكب بين الموجتين الساقطة والمنعكسة وتنتج موجة موقوفة.

عرّف الموجات الموقوفة بأنّها تراكب بين قطارين متماثلين من الموجات لهما السعة والتردّد نفسيهما ويسيران في اتّجاهين متعاكسين.

أشر إلى النقاط الساكنة والنقاط ذات السعة الكبيرة للموجة الموقوفة، وإلى تغيير عدد القطاعات مع تغيّر تردّد اهتزاز الحبل.

9.2 مناقشة

أشر إلى تكوّن الموجات الموقوفة عند اهتزاز الأوتار في الآلات الموسيقية الوترية وفي الأعمدة الهوائية المهتزّة في حالة الرنين في آلات النفخ الموسيقية.

لإظهار الموجات الموقوفة في الأوتار المهتزّة، قسّم الطلّاب إلى مجموعات واطلب إليهم تنفيذ نشاط " الموجات الموقوفة (تجربة ميلد)" في كتاب الانشطة ص 15.

بيّن من خلال تجربة ميلد كيفية تعيين سرعة الموجات الموقوفة.

أنصاف الأقطار الداكنة هي نقاط تتفق في أنّ فرق المسير يُساوي:

$\Delta S = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$ حيث ... n = 0, 1, 2, 3 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 هو عدد صحيح

تُمثّل هذه المناطق تداخلًا بنائيًّا حيث تصل الموجات بحالات متّفقة الطور قمّة مع قمّة أو قاع مع قاع.

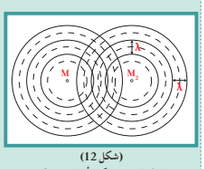
أمّا بالنسبة إلى تداخل الموجات الصوتية، فيُمكن دراسته بالمقارنة مع التداخل على سطح الماء. فإنّ قمّة الموجة في الموجات المستعرضة على سطح الماء تُقابل التضاغط في موجات الصوت الطولية، وكذلك يُقابل القاع التخلخل ويُؤثّر في شدّة الصوت.

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 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 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، والتداخل الهدمي للصوت عندما يكون فرق المسير $\lambda/2$ ولا نسمع صوتًا.



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

إثراء

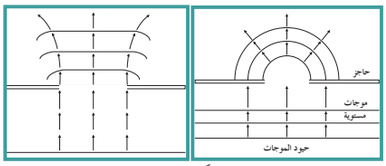
الضربات

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

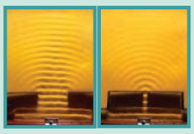
إذا قمت بربط حبل في حائط ما، ثمّ قمت بهزّ الطرف الحرّ لهذا الحبل لتُرسل نبضة فيه، سوف تُلاحظ أنّ هذه النبضة ستنعكس عند الحائط. أمّا إذا حرّكتَ الحبل بطريقة منتظمة، فسوف تُحدث موجات ساقطة على الجدار وموجات منعكسة. تلتقي الموجات الساقطة على الجدار مع الموجات المنعكسة وتتداخل، فينقسم الحبل إلى عدّة قطاعات 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.

توظيف الفيزياء

الفيزياء يُخفّف أو يُلغي الضوضاء

يُعتبَر التداخل الهدمي للصوت خاصّية مفيدة في التقنية ضدّ الضوضاء. فقد تمّ تجهيز بعض الآلات 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.



(شكل 14)
موجات مستوية تمرّ من فتحات مختلفة الاتّساع

(شكل 15)
حيود موجات مستقيمة في حوض ماء

10.2 مناقشة

أشر للطلّاب إلى أنّ وجود أطوال وأنواع معيّنة من الأوتار في الآلات الوترية، وأطوال أعمدة هوائية معيّنة في آلات النفخ يؤدّي إلى إصدار نغمات ذات تردّدات مختلفة.

أكّد أنّ عدد القطاعات المُكوّنة على الوتر المهتزّ يُحدّد تردّد النغمات الصادرة عنه وأنّ هذه القطاعات تتغيّر بتغيير عدّة عوامل منها طول الوتر، ونوعه، وقوّة الشدّ عليه.

اعرض أمام الطلّاب الأمثلة المحلولة ص 28 و30 عن العوامل التي يتوقّف عليها تردّد النغمة الأساسية في الأوتار المهتزّة، وبيّن خطوات طريقة الحلّ للإجابة عن أجزائه.

تحقّق من فهم الطلّاب للعوامل المؤثّرة في تكوين الموجة الموقوفة وعدد قطاعاتها بإعطائهم الوقت الكافي لحلّ " الأسئلة التطبيقية وحلّها" للوصول إلى الإجابات المعطاة في نهاية كلّ مسألة.

11.2 مناقشة

قارن بين اهتزاز الأعمدة الهوائية واهتزاز الأوتار المستعرضة واستنتج التشابه في تكوّن الموجة الموقوفة في كلّ منهما.

عرّف حالة الرنين التي تُؤدّي إلى اهتزاز جزيئات الوسط بسعة عظمى نتيجة تأثّرها بمصدر يهتزّ بتردّد يُساوي أحد تردّدات الوسط الأساسية أو التوافقية.

أشر إلى وجود نوعين من الأعمدة الهوائية: مغلقة أو مفتوحة الطرف. ووضّح أنّ تردّد النغمات الصادرة عنها يختلف باختلاف نوعها وطولها.

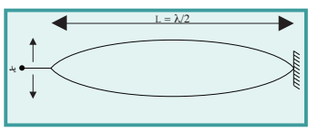
اشرح العلاقة الرياضية التي تُبيّن العلاقة بين نوع العمود الهوائي وطوله وتردّد النغمات الصادرة عنه.

وزّع الطلّاب على مجموعات لتنفيذ نشاط «تعيين سرعة الصوت في الهواء باستخدام الرنين في الأعمدة» في كتاب الأنشطة ص 17.

وزّع المهامّ داخل المجموعات (إعداد المخبار والماء والشوكة الرنّانة معلومة التردّد، إحداث اهتزاز، تحريك الأنبوب رأسيًّا، قياس طول أقصر عمود هوائي، تكرار العملية مع تردّدات مختلفة، احتساب الطول الموجي وسرعة الصوت.

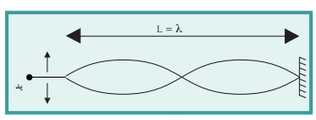
تأكّد من أنّ جميع المجموعات قد نفّذت خطوات النشاط بدقّة وتوصّلت إلى احتساب متوسّط سرعة الصوت.

يُمكن أن تُكوّن 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).



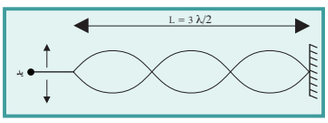
(شكل 17)
موجة موقوفة لها قطاع واحد

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 مكوّنة من قطاعين

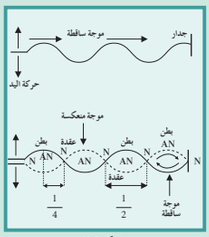
أمّا إذا حرّكنا الحبل بتردّد ثلاث مرّات أكثر، نحصل على موجة لها ثلاثة قطاعات (شكل 19).



(شكل 19)
موجة موقوفة مكوّنة 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.

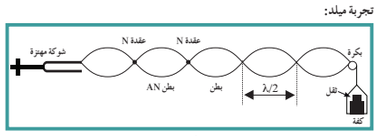


(شكل 16)
تراكب الموجات الساقطة والمنعكسة لتكوّن موجة موقوفة. تُسمّى النقاط الساكنة عقدًا، أمّا النقاط ذات السعة الكبيرة، فتسمّى بطون.

1.7 الأوتار المهتزّة
Vibrating Strings

لكي نفهم تكوّن 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 حوالي m(2)، ويمرّ الطرف الآخر للوتر فوق بكرة ملساء، وينتهي في كفّة توضع 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: $\boxed{v = \frac{2L}{n} . f}$

ملاحظة

يُمكن استخدام عمود هوائي مفتوح وتكرار النشاط السابق واحتساب سرعة الصوت انطلاقًا من الصيغة $v = 2fL$.

كذلك يُمكن احتساب سرعة الصوت بدقّة باستخدام العلاقة الرياضية:

عامود مغلق: $v = 4f(L + 0.6r)$

عامود مفتوح: $v = 2f(L + 1.2r)$

حيث r = نصف قطر أنبوب الرنين المستخدم في النشاط

اعرض المثال المحلول ص 33 عن الرنين في الأعمدة الهوائية، وبيّن خطوات طريقة الحلّ للإجابة عن أجزائه.

تحقّق من فهم الطلّاب للعوامل المؤثّرة في رنين الأعمدة الهوائية بإعطائهم الوقت الكافي لحلّ «أسئلة تطبيقية وحلّها» للوصول إلى الإجابات المعطاة في نهاية كلّ مسألة.

3. قيّم وتوسّع

1.3 تقييم استيعاب الطلّاب للدرس

اطلب إلى الطلّاب القيام بحلّ "أسئلة تطبيقية وحلّها" الموجودة في كتاب الطالب ص 28 و33 أو قم بإعطاء الطلّاب مسائل إضافية مشابهة في حال تمّ حلّ المسائل المطروحة في الكتاب خلال شرح الدرس.

يجب أن تتركّز تلك المسائل على جميع المواضيع التي مرّت في الدرس، مثل التداخل الهدمي والبنائي والموجات الموقوفة في الأوتار المهتزّة والرنين في الأعمدة الهوائية، وغيرها.

2.3 إعادة عرض الدرس

في حال وجود أي التباس أو سوء فهم لدى الطلّاب، أعد عملية الشرح وركّز على السبب الذي أدّى إلى سوء الفهم. شدّد على استخدام العلاقة الرياضية ووحدات القياس المناسبة.

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:

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

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)، يمكّننا 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 ، 2 Hz)

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

العوامل المؤثّرة بالنغمة الأساسية

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

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

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

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

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:

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

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

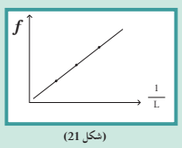
3. كتلة وحدة الأطوال من الوتر (n): يتناسب تردّد الوتر عكسيًّا مع الجذر التربيعي لكتلة وحدة الأطوال منه عند ثبوت طوله وقوّة الشدّ (شكل 23)، أي:

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

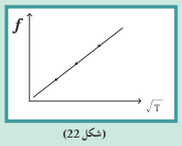
$$\frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}}$$

ويُمكن تمثيل العلاقات السابقة بيانيًّا كالتالي:

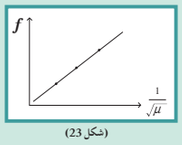
- العلاقة بين التردّد وطول الوتر (عند ثبوت باقي العوامل) (شكل 21)
- العلاقة بين التردّد وقوّة شدّ الوتر (عند ثبوت باقي العوامل) (شكل 22)
- العلاقة بين التردّد وكتلة وحدة الأطوال من الوتر (عند ثبوت باقي العوامل) (شكل 23)



(شكل 21)



(شكل 22)



(شكل 23)

إجابات أسئلة الدرس 1–2

1. أهمّ خصائص الموجات: الانتشار في خطوط مستقيمة في جميع الاتجاهات ، الانعكاس عند السطوح العاكسة ، الانكسار بين وسطين مختلفين ، الحيود ، التداخل

2. قانونا انعكاس الصوت:
- يقع كلّ من الشعاع الصوتي الساقط والشعاع الصوتي المنعكس والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس في مستوى واحد يتعامد مع السطح العاكس.
- زاوية السقوط تُساوي زاوية الانعكاس.

3. استخدام مبدأ انعكاس الصوت في قياس أعماق البحار والمحيطات، وفي قياس ارتفاع الطائرات، وفي تركيز الصوت عند انعكاسه على أسطح معقّرة. استخدام الانعكاس في نقل الصوت عبر الأنابيب، كما هي حال سمّاعة الطبيب.

4. انكسار الصوت: تغيّر في اتجاه مسار الموجة الصوتية عند انتقالها بين وسطين مختلفي الكثافة.

5.
- التراكب: ظاهرة عبور الموجات من نوع واحد بعضها بعضًا بدون أن يطرأ عليها أي تعديل.
- التداخل: تراكب مجموعة من الموجات من نوع واحد ولها التردّد نفسه، ينتج عنه ازديادًا في السعة (إذا كان بنائيًا) أو ضعفًا في السعة (إذا كان هدميًا).
- الحيود: تغيّر في مسار الموجة أو انحناؤها عند مرورها في فتحة ضيّقة بالنسبة إلى طولها الموجي، أو عند مرورها بحافّة حادّة في الوسط نفسه.

6. يظهر استخدام أنبوب كيونيك التداخل في الصوت. ولتعيين سرعة الصوت باستخدام أنبوب كيونيك، يمكن استخدام الصيغة التالية: سرعة الصوت = التردّد × طول الموجة.
هكذا، يمكن معرفة تردّد الشوكة الرنّانة واحتساب طول الموجة، والتي هي أربعة أضعاف المسافة بين العقدة والبطن.

7.
- الموجات الموقوفة: هي الموجات التي تنشأ عن تراكب الموجات الساقطة والموجات المنعكسة على حبل مرن. تشرح تجربة ميلد كيفية حدوث الموجات الموقوفة (الساكنة).
- البطن: هو موضع في الموجة ذات سعة اهتزاز قصوى.
- العقدة: هو موضع في الموجة الموقوفة تساوي فيه سعة اهتزاز جزيئات الوسط صفرًا.

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

3. 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، $f = ?$

4. احسب غير المعلوم:

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

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

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

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

$$f_0 = 175\ Hz$$

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

5. 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 $f_2 = ?$

6. 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:

$$\frac{500}{f_2} = \frac{100}{50} \qquad f_2 = 250\ Hz$$

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 هوائيًا 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:

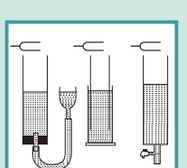
$$\lambda = \frac{4L}{3}$$

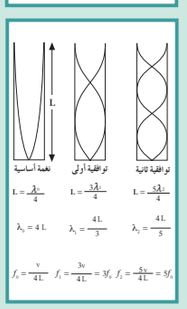
ويكون تردّد هذه النغمة: $f_1 = \frac{3v}{4L}$ (حيث سرعة الصوت في الهواء = v)

وتُعطى تردّدات النغمات التوافقية الأخرى على الشكل التالي:

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

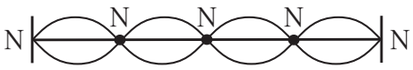
أي أنّ تردّد هذه النغمات يتناسب مع الأعداد الصحيحة الفردية.





(شكل 25)
أعمدة هوائية مغلقة تصدر نغمات متعددة

.8

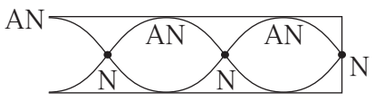


تنتج النغمة التوافقية الثالثة من انقسام الوتر إلى أربعة قطاعات.

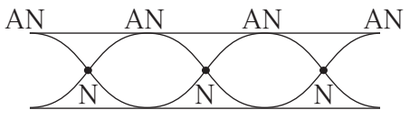
يساوي تردّد النغمة الأساسية: $F_o = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$

.9 في ما يلي، رسم يمثّل نغمة توافقية ثانية في:

- عمود مغلق



- عمود مفتوح



- في العمود المغلق

تردّد النغمة الأساسية: $f_o = \frac{V}{4L}$

تردّد النغمات التوافقية: $f_n = (2n + 1)\frac{V}{4L}$

$$\boxed{\frac{f}{f_o} = (2n + 1)}$$

- في العمود المفتوح

تردّد النغمة الأساسية: $f_o = \frac{V}{2L}$

تردّد النغمات التوافقية: $f = \frac{nV}{2L}$

$$\boxed{\frac{f}{f_o} = n}$$

.10 راجع كتاب الأنشطة.

.11 نعم، إذا كان التداخل بينهما هدميًا.

.12 $\lambda = \frac{v}{f}$

$$\lambda_1 = \frac{340}{20} = 17(m)$$

$$\lambda_2 = \frac{340}{20\,000} = 17 \times 10^{-3} = 0.017(m)$$

.13 $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{1} = 340(Hz)$

.14 $d = \frac{vt}{2} = 170(m)$

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 عادةً 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.

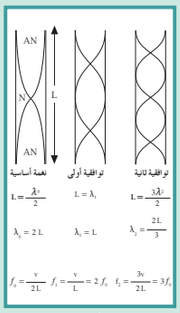
(ب) الرنين في الأعمدة الهوائية المفتوحة

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).

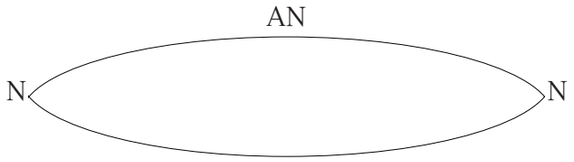
تُعطى بالعلاقة: $f_{n-1} = \frac{nv}{2L}$

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



(شكل 26)
أعمدة هوائية مفتوحة

.15



$$L = \frac{\lambda}{2} = \frac{v}{2f_o}$$

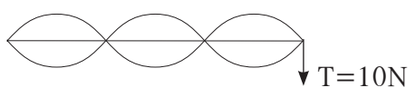
$$f_0 = \frac{v}{2L} = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$= \frac{1}{2 \times 0.5}\sqrt{\frac{40}{\frac{50 \times 10^{-3}}{50 \times 10^{-2}}}}$$

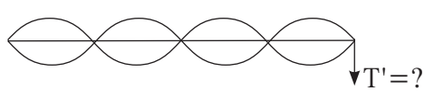
$$= 20(Hz)$$

.16

$$T' = 10(N)$$



$$T' = ?$$



$$L = L$$

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

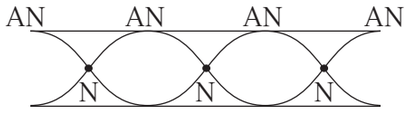
$$\frac{3v}{2\cancel{\lambda}} = \frac{2v'}{\cancel{\lambda'}}$$

$$\frac{3}{2}\sqrt{T} = 2\sqrt{T'}$$

$$\frac{3\sqrt{10}}{4} = \sqrt{T'}$$

$$T' = \frac{90}{16} = 5.625(N)$$

.17



$$L = \frac{\lambda}{2} = \frac{v}{2f_o}$$

$$f_o = \frac{v}{2L} = \frac{340}{2 \times 0.25} = 170(Hz)$$

النغمة الأساسية = 170(Hz)

النغمة التوافقية الثالثة:

$$f = 4f_o$$

$$= 4 \times 170 = 680(Hz)$$

مثال (4)

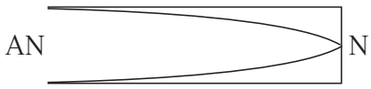
إذا كانت سرعة الصوت في الهواء (340)m/s، إحسب:
أوّلًا: تردّد النغمة الأساسية التي يُصدرها عمود هوائي طوله (100)cm إذا كان العمود:
(أ) مغلقًا
(ب) مفتوحًا
ثانيًا: تردّد النغمة التوافقية الثانية إذا كان العمود:
(أ) مغلقًا
(ب) مفتوحًا
طريقة التفكير في الحلّ
1. حلّل: اذكر المعلوم وغير المعلوم.
المعلوم: سرعة 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.
النتائج: 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 تتّفق مع نغمة الوتر إذا ازدادت شدّة الوتر بمقدار (9)N.
النتائج: 64 cm

18.



$$L = \frac{\lambda}{4} = \frac{v}{4f_o}$$

النغمة الأساسية:

$$f_o = \frac{v}{4L} = \frac{340}{4 \times 0.4} = 212.5(Hz)$$

النغمة التوافقية الرابعة

$$f = 9\, f_o = 9 \times 212.5 = 1912.5(Hz)$$

19. لكي يكون التداخل بنائيًا، يجب أن يكون فرق المسير $(\Delta s = n\lambda)$. وبما أن x هي أقرب مسافة، إذًا:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$= \frac{343}{200}$$

$$= 1.7(m)$$

$$d - x = \lambda$$

$$d^2 = 9 + x^2$$

$$(x + \lambda)^2 = 9 + x^2$$

$$2\lambda x + \lambda^2 = 9$$

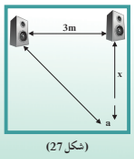
$$x = \frac{9 - \lambda^2}{2\lambda} = 1.8(m)$$

$$x = \frac{9 - (1.7)^2}{2 \times 1.7}$$

$$= 1.8(m)$$

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 النغمة الأساسية لوتر طوله (50)cm وكتلته (50)g إذا كانت قوّة الشدّ عليه تُساوي (40)N.
16. وتر مشدود بقوّة F = 10 N يُشكّل موجة موقوفة من ثلاثة قطاعات. ما مقدار القوّة 'F 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 (200)Hz = f؟



(شكل 27)

مراجعة الوحدة الرابعة

الأفكار الرئيسية في الوحدة:

قم بتوجيه الأسئلة التالية لتلخيص محتويات الوحدة:

◄ ما هي الحركة التوافقية البسيطة؟ **(هي حركة اهتزازية تتناسب فيها قوّة الإرجاع طرديًّا مع الإزاحة الحاصلة للجسم وتكون في اتّجاه معاكس لها عند إهمال الاحتكاك).**

◄ اذكر معادلة الإزاحة في الحركة التوافقية البسيطة؟

$(y = A \sin(\omega t + \phi))$

◄ ما هي خصائص الحركة التوافقية البسيطة؟ **(خصائص الحركة التوافقية البسيطة هي السعة، والتردّد، والزمن الدوري، والسرعة الزاوية، وزاوية الطور).**

◄ ما هي خصائص الحركة الموجية ؟

(خصائص الحركة الموجية (الصوت) هي:

- **الانتشار في خطوط مستقيمة في جميع الاتّجاهات**
- **الانعكاس، وهو تغيير مسار الشعاع الضوئي في الوسط نفسه**
- **الانكسار، وهو تغيير مسار الشعاع الصوتي عند نفاذه بين وسطين مختلفين.)**

◄ اذكر أهمّ تطبيقات ظاهرة انعكاس الصوت. **(من أهم تطبيقات انعكاس الصوت: صدى الصوت، الصوتيات المعمارية أو هندسة الصوت، تسليط الصوت أو تركيزه في المسارح أو القاعات الكبيرة، نقل الصوت بالأنابيب).**

◄ يشكّل الحيود إحدى خصائص الحركة الموجية. عرّف الحيود. **(الحيود هو ظاهرة انحناء الموجات حول حافّة حاجز أو حول حافّتي فتحة صغيرة.)**

◄ ما الفرق بين الموجات الموقوفة والمتحرّكة؟ **(الموجات المتحرّكة تنقل الطاقة من مكان إلى آخر على عكس الموجات الموقوفة التي تتحرّك في مكانها من دون أن تنتقل.)**

◄ بم تختلف العقد عن البطون في الموجة الموقوفة؟ **(العقد هي الأجزاء الثابتة والبطون هي الأجزاء ذات السعة العظمى).**

◄ ما هي العوامل التي يتوقّف عليها تردّد النغمة الأساسية للوتر المهتزّ؟ **(طول الوتر، قوة شدّ الوتر، كتلة وحدة الأطوال في الوتر)**

خريطة المفاهيم

أطلب من الطلّاب تنظيم خريطة مفاهيم مستعينين بالمصطلحات الواردة ويناقشونها في ما بينهم بإشرافك.

مراجعة الوحدة الرابعة

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 الضوئي 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. وتحصل 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:

إجابات أسئلة الوحدة

تحقق من فهمك

1. التردّد
2. لا تنتقل جزيئات الوسط الناقل للصوت
3. 35.8 m
4. أربعة أمثال الطول الأصلي
5. 0.5 m
6. 0.628 s
7. 12 cm
8. اتّجاه الانتشار
9. (أ) $n\lambda$ (بنائي)

$n = 0, 1, 2, 3$

$(2n + 1)\frac{\lambda}{2}$ (هدمي)

$n = 0, 1, 2, 3$

(ب) $\frac{V_1}{V_2}$

(جـ) $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

(د) $v = f\lambda$

الطول الموجي × التردد = سرعة الموجة

(هـ) طول الوتر، قوة شدّ الوتر، كتلة وحدة الأطوال من مادة الوتر

(و)

- ظاهرة صدى الصوت
- تركيز الصوت وتقويته في المساجد والمسارح
- الصوتيات المعمارية (هندسة الصوت)
- نقل الصوت بالأنابيب

تحقق من معلوماتك

1. حركة اهتزازية تتناسب فيها القوة المعيدة طرديًا مع الإزاحة الحاصلة للجسم، وذلك في غياب الإحتكاك.
   يمكن تمثيل هذه الحركة بالمعادلة التالية:
   $y = A \sin(\omega t + \phi)$
2. حركة البندول البسيط، حركة كتلة معلّقة بنابض يهتزّ
3. الصدى هو نتيجة انعكاس الموجة الصوتية.
4. ينتج تداخل الموجات الصوتية عن التقاء موجتين صوتيتين لهما التردّد نفسه. ويمكن أن ينتج عن هذا التداخل زيادة في شدّة الصوت إذا كان تداخلًا بنائيًا، وضعف أو انعدام في شدّته إذا كان هدميًا.
5. (أ) $\lambda_1 = 6(cm)$ $\quad v_1 = 21(m/s)$
   $\lambda_2 = 4(cm)$ $\quad v_2 = ?$

$$\frac{V_1}{\lambda_1} = \frac{V_2}{\lambda_2}$$

$$\frac{21}{6} = \frac{V_2}{4}$$

$$V_2 = 14(m/s)$$

(ب) إن التردّد في جزأي الحوض ثابت ويساوي:

$$f = \frac{V_1}{\lambda_1} = \frac{21}{0.06} = 350(Hz)$$

أسئلة مراجعة الوحدة 4

تحقق من فهمك

ضع علامة (✓) في المربّع الواقع أمام العبارة الصحيحة، وعلامة (✗) في المربّع الواقع أمام العبارة غير الصحيحة 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 يُساوي:
   ☐ 12.5 m ☐ 15.3 m ☐ 22.1 m ☐ 35.8 m

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 يُساوي(4)Hz، فإنّ طولها الموجي يُساوي:
   ☐ 0.5 m ☐ 2 m ☐ 6 m ☐ 8 m

6. نابض ثابت مرونته (100)N/m، ومعلق فيه كتلة مقدارها (1)kg. فإذا تُرك ليتحرّك حركة توافقية بسيطة، فإنّ الزمن الدوري يساوي:
   ☐ 0.134 s ☐ 0.628 s ☐ 3.14 s ☐ 6.28 s

7. تشكّلت موجة موقوفة على وتر طوله (96)cm وكان يحتوي على (17) عقدة، فإنّ الطول الموجي يُساوي:
   ☐ 5.65 cm ☐ 6 cm ☐ 12 cm ☐ 17 cm

8. تختلف موجات الصوت الساقطة عن المنعكسة في:
   ☐ التردّد ☐ اتّجاه الانتشار ☐ السرعة ☐ الطول الموجي

37

6. ويمكن احتسابه أيضًا بالطريقة التالية:

$$f = \frac{V_2}{\lambda_2} = 350(Hz)$$

7. راجع كتاب الأنشطة

8. **(أ)** تُسمّى هذه النقاط عقدًا

(ب) سرعة الموجة $v = \lambda f$

ولكن λ تساوي:

$$\lambda = 2 \times 47 = 94(cm)$$

وهذا يعني أن:

$$v = 0.94 \times 50 = 47(m/s)$$

9. سرعة الصوت:

$$v = \frac{200}{0.6} = 333.3(m/s)$$

باعتبار أن سرعة الضوء أكبر بكثير من سرعة الصوت، أي أنه يمكن تجاهل الزمن الذي يحتاجه الضوء للوصول إلى الشخص الآخر.

$$(\Delta t = t_s - t_l = 0.6(s))$$

10. في التداخل البنائي، يكون فرق المسير

$\Delta s = n\lambda$ و $n = 0, 1, 2, 3 \ldots$

في التداخل الهدمي، يكون فرق المسير

$\Delta s = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$ و $n = 0, 1, 2, 3$

11. التداخل هو خاصّية لجميع الموجات.

12. التراكب بين قطارين من الأمواج الساقطة والمنعكسة التي لها التردّد والسعة نفسيهما، ولكن في اتجاهين متعاكسين

13. نعم، إذا حصل تداخل بينهما وكانتا غير متفقتين في الطور

تحقق من مهاراتك

1. $f = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$

$L = 1\ m,\ T_1 = 1225\ N.,\ f_1 = 300(Hz)$

$L = const.\ \mu = const.\ f_2 = 420(Hz)$

(أ) حساب قوة الشد (T_2):

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

$$\frac{300}{420} = \sqrt{\frac{1225}{T_2}}$$

$$\frac{300 \times 300}{420 \times 420} = \frac{1225}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{1225 \times 1764}{900} = 2401(N)$$

(ب) حساب الطول (L_2):

$T = const.$

$\mu = const.$

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:

6. أحدث عمود هوائي مغلق رنينًا مع شوكة رنّانة عندما كان طوله (25) cm . وعندما حدث الرنين الثاني (التوافقية الأولى) كان طول العمود الهوائي (77)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

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{L_2}{L_1} \Rightarrow \frac{300}{420} = \frac{L_2}{1}$$

$$L_2 = \frac{300}{420} = \frac{5}{7}\ m \simeq 0.7(m)$$

2. $L = 1.4(m)$

$$m = \frac{0.052}{1.4}\ (kg/m)$$

$$T = 16 \times 9.81(N)$$

$$f = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

$$= \frac{1}{2 \times 1.4}\sqrt{\frac{16 \times 9.81 \times 1.4}{0.052}}$$

$$= \sqrt{\frac{744}{0.052}}$$

$$\approx 23.21(Hz)$$

3. $L_1 = 0.5m.\ T_1 = 39.2N,\ f_1 = 200(Hz)$

$L_2 = 0.6m.\ T_2 = 88.2N,\ f_2 = ?$

$\mu = const.$

$$f_1 = \frac{1}{2L_1}\sqrt{\frac{T_1}{\mu}},\ f_2 = \frac{1}{2L_2}\sqrt{\frac{T_2}{\mu}}$$

$$\frac{f_1^2}{f^2_2} = \frac{4L^2_2}{4L^2_1} \times \frac{T_1 \times \mu}{\mu \times T_2}$$

$$\frac{f_1^2}{f^2_2} = \frac{T_1 \times L_2^2}{T_2 \times L_1^2}$$

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{L_2}{L_1} \times \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

$$\frac{200}{F_2} = \frac{0.6}{0.5} \times \sqrt{\frac{39.2}{88.2}}$$

$$f_2 = \frac{1000}{6} \times \sqrt{\frac{88.2}{39.2}} = \frac{1000}{6} \times 5.1 = \frac{1500}{6}$$

$$= 250(Hz)$$

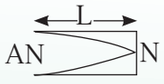
4. $f_1 = 256,\ L_1 = 0.5(m)$

$f_2 = ?,\ L_2 = 0.4(m)$

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

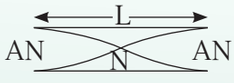
$$f_2 = \frac{256 \times 0.5}{0.4} = 320(Hz)$$

5. عمود هوائي مغلق



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

عمود هوائي مفتوح



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

6. $L_1 = 0.25(m)$ (نغمة أساسية) , $v = 338(m/s)$

$L_2 = 0.77(m)$ (نغمة توافقية أولى) , $\lambda_2 = ?$

$\lambda_1 = 4L_1$ (عمود مغلق) , $v = f_1 . 4L_1$

$\lambda_2 = \frac{4L_2}{3}$ $\quad v = f_2\frac{4L_2}{3}$

(نغمة أساسية) $\lambda_1 = 4 \times 0.25 = 1(m)$

(توافقية أولى) $\lambda_2 = \frac{4}{3} \times 0.77 = 1.02(m)$

f شوكة $= \frac{338}{1} = 338(Hz)$

7. الرنين الثالث في العمود المغلق $L_1 = \frac{7}{4}\lambda_4$

الرنين الرابع في العمود المفتوح $L_2 = 2\lambda_4$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{7}{4 \times 2} = \frac{7}{8}$$

8. العمود يصدر توافقية رابعة (خمس عُقد)

(أ) $v = 33(m/s)\ ,\ f = 600(Hz)$

$\lambda = ?$

$\lambda = \frac{v}{f}$

(ب) $\lambda = \frac{330}{600} = 0.55(m)$

المسافة بين عقدتين $= \frac{0.55}{2} = 0.275(m)$

9. العمود مفتوح: المسافة بين عقدتين $= 0.20(m)$

(أ) $L = \lambda = 0.4(m)$

(ب) نغمة توافقية أولى

(جـ) $V = \lambda f = 0.4 \times 800$

$= 320(m/s)$

10.

$$L = \frac{3\lambda}{2} = \frac{3}{2f}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

عند تغيير التردّد ليصبح $f' = 2f$

$$L = \frac{n\lambda'}{2} = \frac{n}{2f'}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

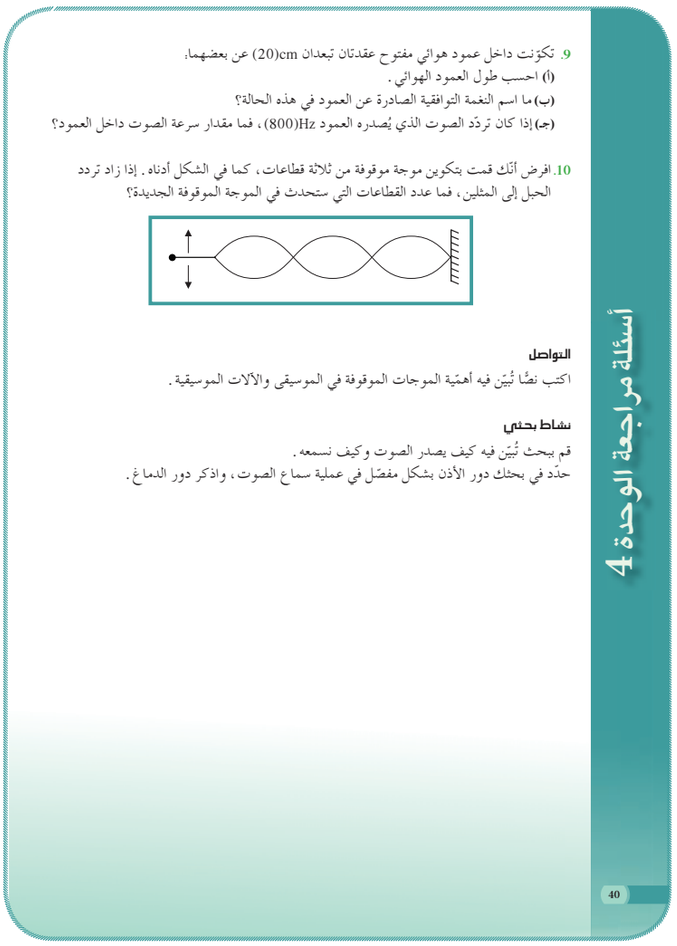
$n = 6$

مهارة التواصل

يناقش الطلاب ما كتبوه حول الآلات الموسيقية الوترية والآت النفخ التي تعتمد على الموجات الموقوفة المتكوّنة على أوتارها أو في الأعمدة الهوائية في داخلها، وحول العوامل المؤثّرة في النغمات الصادرة عن هذه الآلات. قم بتوجيه النقاش وتصويبه عندما ترى حاجة إلى ذلك.

نشاط بحثي

قسّم الطلاب إلى مجموعات ووجّههم للقيام بالبحث، ثم اطلب إليهم مناقشة ما توصّلوا إليه.



مخطّط الوحدة الخامسة

الكهرباء الساكنة (الإلكتروستاتيكية) والتيّار المستمرّ

الفصل	الدرس	الأهداف	عدد الحصص	معالم الوحدة
1 . الكهربائية الساكنة	1–1 الشحنات والقوى الكهربائية (قانون كولوم)	✻ يعرّف القوى الكهربائية بين الأجسام المشحونة. ✻ يوضّح كيف يمكن إكساب جسم ما شحنة موجبة أو شحنة سالبة. ✻ يصف تركيب الكشّاف الكهربائي ويعدِّد بعضًا من استخداماته البسيطة. ✻ يعرّف قانون كولوم. ✻ يطبّق المعادلة الرياضية لقانون كولوم.	3	**اكتشف بنفسك:** الماء المنحني **تداخل الفيزياء والكيمياء:** الكهربائية والروابط الكيميائية **العلوم والتكنولوجيا والمجتمع:** احذر الشحنات
	2–1 الموصّلات والعوازل وطرق الشحن	✻ يميّز بين الموصّلات والعوازل. ✻ يشرح طريقتي الشحن بالدلك واللمس.	2	**الفيزياء في المجتمع:** قطار يسبح في الهواء
	3–1 الشحن بالتأثير واستقطاب الشحنة	✻ يصف كيفية شحن مادّة عازلة. ✻ يصف كيفية شحن موصّل بدون تلامس. ✻ يصف كيفية شحن عازل عن طريق الاستقطاب.	2	**الفيزياء في المنزل:** الشحن **الفيزياء في المطبخ:** الطبخ بالميكروويف

الفصل	الدرس	الأهداف	عدد الحصص	معالم الوحدة
2 . التيار الكهربائي والدوائر الكهربائية	2–1 التيّار الكهربائي ومصدر الجهد	✻ يصف سريان الشحنة الكهربائية في موصل. ✻ يصف ماذا يحدث داخل السلك الحامل للتيّار. ✻ يعطي أمثلة لمصادر الجهد التي تُحافظ على فرق الجهد في الدوائر الكهربائية.	2	
	2–2 المقاومة الكهربائية وقانون أوم	✻ تعريف قانون أوم ويطبّقه. ✻ يذكر العوامل التي تُؤثّر في مقاومة السلك. ✻ يذكر أسباب الصدمة الكهربائية.	3	**العلاقة بالكيمياء الكهربائية:** التحليل الكهربائي
	2–3 القدرة الكهربائية	✻ يربط بين القدرة الكهربائية المستخدمة بواسطة جهاز ما وبين التيّار وفرق الجهد.	2	
	2–4 الدوائر الكهربائية	✻ يوضّح شكل الدوائر الموصّلة. ✻ يُعرّف دوائر التوالي ودوائر التوازي وفهم خصائص كلّ منها. ✻ يحسب المقاومة المكافئة لدوائر تحتوي على مقاومتين أو أكثر. ✻ يوضّح أسباب الحمل الزائد على الدوائر الكهربائية الموجودة في المنازل وكيفية تجنّبها.	5	**الفيزياء في المختبر:** اختصاصي الكهرباء **ارتباط الفيزياء بالتكنولوجيا:** القياس بالتيّار الكهربائي
حلّ أسئلة مراجعة الوحدة			2	
إجمالي عدد الحصص			21	

الوحدة الخامسة

الكهرباء الساكنة (الإلكتروستاتيكية) والتيّار المستمرّ

مكوّنات الوحدة

الفصل الأوّل: الكهربائية الساكنة

الدرس الأوّل: الشحنات والقوى الكهربائية (قانون كولوم)

الدرس الثاني: الموصّلات والعوازل وطرق الشحن

الدرس الثالث: الشحن بالتأثير واستقطاب الشحنة

الفصل الثاني: التيّار الكهربائي والدوائر الكهربائية

الدرس الأوّل: التيّار الكهربائي ومصدر الجهد

الدرس الثاني: المقاومة الكهربائية وقانون أوم

الدرس الثالث: القدرة الكهربائية

الدرس الرابع: الدوائر الكهربائية

مقدّمة

اكتُشِفت الكهرباء الساكنة قبل الميلاد بنحو 600 سنة، لتصبح اليوم تكنولوجيا الكهرباء، بقسميها الساكن والمتحرّك، جزءًا أساسيًّا من حياتنا. فنحن نستخدم الكهرباء الساكنة في الكثير من الأجهزة الحديثة، مثل أجهزة تصوير المستندات، كما أصبحت جزءًا من الصناعة حيث تُستخدم في مصانع طلاء السيارات. وتُستخدَم الكهرباء الساكنة أيضًا في المحافظة على البيئة بعد أن دخلت في صناعة المرشّحات (Electrostatic filters) وغيرها. أمّا الكهرباء المتحرّكة، التي تنتج عن حركة الشحنات في الدوائر الكهربائية، فهي تُستعمَل في تشغيل الكثير من الأجهزة التي لا نستطيع التخلّي عنها لارتباطها بحياتنا ورفاهيتنا.

استعرض أهداف الوحدة والمصطلحات المستخدمة في دروسها.

التعليق على الصورة الافتتاحية للوحدة

ادع الطلّاب إلى التعليق على صورة افتتاحية الوحدة، وذلك بطرحك أسئلة تتعلّق بانحناء الماء قرب البالون، ثمّ استهلّ موضوع الوحدة من خلال إجاباتهم وتعليقاتهم.

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 وبعدد 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 تؤثّر 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

41

اكتشف بنفسك

اطلب إلى الطلّاب تنفيذ هذا النشاط ضمن مجموعات والإجابة عن الأسئلة.

الإجابات:

1. شحنة كهربائية
2. استمرّت بالانسياب بشكلها الطبيعي
3. انحنى مسار انسيابها
4. إنّ الحديد هو موصّل للكهرباء، فلا يُمكن تجميع شحنات ساكنة عليه بدلكه بقطعة من الصوف.
5. تبقى الشحنات ثابتة في الموادّ العازلة ولكنّها تتحرّك في الموادّ الموصّلة مكوّنة تيّارًا كهربائيًّا.

الأهداف المرجوّ اكتسابها بعد دراسة الوحدة الخامسة

الأهداف المعرفية

يُرجى أن يكون الطالب قادرًا على أن:

- يُعرّف الشحنات الكهربائية وأنواعها.
- يُعرّف الموصّلات والعوازل.
- يُعرّف مبدأ استقطاب الشحنات.
- يُعرّف قانون كولوم وتطبيقاته.
- يُعرّف قانون أوم.
- يُعرّف المقاومة والمقاومة المكافئة.
- يُعرّف القدرة الكهربائية ويربط بينها وبين التيّار وفرق الجهد.
- يُعرّف الدائرة الكهربائية وطرق توصيلها.

الأهداف المهارية

يُرجى أن يكتسب الطالب المهارات التالية:

- استخدام العلاقات والصيغ الرياضية.
- استخدام الجدوال والرسوم البيانية.
- المقارنة والاستنتاج بين العوازل والموصّلات.
- شحن بعض الأجسام باستخدام طرق متعدّدة.
- توصيل الدوائر الكهربائية على التوالي والتوازي.
- استخدام بعض الأدوات في الأنشطة المخبرية.

الأهداف الانفعالية

يُرجى أن يكتسب الطالب أوجه التقدير التالية:

- تقدير جهود العلماء وإسهاماتهم في دراسة الكهرباء وتطوّرها.
- تقدير أهمّية الطاقة الكهربائية وضرورة ترشيد استهلاكها.
- تقدير أهمّية استخدام الكهرباء بشكل آمن وتجنّب أخطار الحمل الزائد في كهرباء المنزل وتجنّب الصدمة الكهربائية.

الفصل الأوّل

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

دروس الفصل

الدرس الأوّل: الشحنات والقوى الكهربائية (قانون كولوم)

الدرس الثاني: الموصّلات والعوازل وطرق الشحن

الدرس الثالث: الشحن بالتأثير واستقطاب الشحنة

أشر في مقدّمة الفصل إلى المرحلة التاريخية التي سبقت اكتشاف الكهرباء الساكنة، بدءًا من طاليس وملاحظته حول جذب حجر الكهرمان بعد دلكه بالفراء لأجزاء صغيرة من القشّ، مرورًا بشارل دوفاي الذي أكّد وجود نوعين من الشحنات، وإلى بنيامين فرنكلين الذي حدّد الشحنات بالسالبة والموجبة، وصولًا إلى طومسون واكتشافه للإلكترون.

أشر إلى أهمّية مفهوم الكهرباء الساكنة واستخداماتها في أيّامنا هذه، ودورها في تطوّر مفهوم الكهرباء المعروف والمستخدم في حياتنا.

استخدام الصورة الافتتاحية للفصل

ادع الطلّاب إلى التعليق على صورة افتتاحية الفصل، وإلى إعطاء تفسير لظاهرة البرق وسبب حدوث الشرارات. ومن خلال التعليقات، استهلّ موضوع الفصل واذكر بعض المصطلحات التي ستستخدمها في سياق الدروس.

أخطاء شائعة

- تنتج الذرّة الموجبة الشحنة عن اكتساب الذرّة لبروتون.
- يُمكن نزع أو إضافة بروتون كما هي الحال في الإلكترون.

خلفية علمية

الشحنات الكهربائية نوعان: سالبة وموجبة

القوّة الكهربائية هي قوّة تعمل عن بعد نتيجة التأثير المتبادل في ما بينها، فتتولّد قوّة تجاذب بين الشحنات المختلفة وتنافر بين الشحنات المتشابهة.

تحتوي الذرّة المتعادلة على العدد نفسه من الشحنات الموجبة (بروتون) والشحنات السالبة (إلكترون).

عندما تفقد الذرّة تعادلها الكهربائي تُصبح موجبة أو سالبة الشحنة.

تُصبح الذرّة موجبة الشحنة إذا فقدت إلكترونًا أو أكثر وتُسمّى أيونًا موجبًا، أمّا الذرّة التي تكتسب إلكترونًا أو أكثر تُصبح سالبة الشحنة وتُسمّى أيونًا سالبًا.

لا تستطيع الذرّة أن تفقد أو تكتسب بروتونًا لأنّ هذا الأخير موجود داخل النواة وليس من السهل نزعه أو زيادة عدده في نواة الذرّة.

تسمح بعض الموادّ للإلكترونات بالتحرّك وتُسمّى الموصّلات، على عكس العوازل التي تعيق حركة الإلكترونات.

الدرس 1-1

الشحنات والقوى الكهربائيّة (قانون كولوم)

الأهداف

- يُعرّف القوى الكهربائية بين الأجسام المشحونة، ويذكر أنواعها وكيفية حدوث كل نوع.
- يوضّح كيف يمكن إكساب جسم ما شحنة موجبة أو شحنة سالبة.
- يصف تركيب الكشّاف الكهربائي ويعدِّد بعضًا من استخداماته البسيطة.
- يعرّف قانون كولوم.
- يطبّق المعادلة الرياضية لقانون كولوم.

الأدوات المستعملة: أقلام تأشير، رسوم ونماذج توضيحية، أفلام، أقراص مدمجة

صفحات الطالب: من ص 43 إلى ص 48

صفحات الأنشطة: من ص 19 إلى ص 20

عدد الحصص: 3

1. قدّم وحفّز

1.1 تنشيط المعرفة السابقة

لتقدير مدى معرفة الطلّاب عن القوى وأنواعها، اطرح عليهم الأسئلة التالية:

- ما الفرق بين قوّة الاحتكاك وقوّة جذب المغناطيس لقطعة حديد؟
- ما الفرق بين قوّة جذب الأرض وقوّة الاحتكاك؟

بعد مناقشة الطلّاب والاستماع إلى إجاباتهم، ذكّرهم بأنّ بعض القوى تعمل عن بعد مثل قوّة المغناطيس أو قوّة جذب الأرض، وبعضها الآخر يعمل عن طريق اللّمس.

اسأل الطلّاب عن محتويات الذرّة:

- ممّ تتألّف الذرّة؟
- ما هي أوجه الاختلاف بين تلك المكوّنات؟
- هل تتوقّع حدوث أيّ تفاعل بين هذه المكوّنات؟

ناقش الطلّاب ودعهم يُعدّدون محتويات الذرّة [بروتون، إلكترون، ونيوترون] ثمّ يتوصّلون إلى وجود نوع من قوى التفاعل بين بروتونات وإلكترونات الذرّة، يُسمّى القوّة الكهربائية، وهي قوّة تعمل عن بعد كقوّة الجذب بين كتل الأجسام التي تحدث نتيجة شحناتها.

وضّح للطلّاب أنّ من أهداف هذا الدرس تعرُّف القوّة الكهربائية وكيفية احتساب مقدارها باستخدام قانون كولوم.

الدرس 1-1

الشحنات والقوى الكهربائية
Charges and Electrical Forces

الأهداف العامة

- يصف القوى بين الأجسام.
- يوضّح 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. تجذب الإلكترونات إلى البروتونين موجبي 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 تتجاذب 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.

43

2. علّم وطبّق

1.2 مناقشة

انطلق من معرفة الطلّاب للتركيب الذرّي للمادّة، وعرّفهم نوعي الشحنات ثمّ اذكر خصائص كلّ منها:

- تكون الإلكترونات سالبة الشحنة.
- البروتونات موجودة داخل النواة وهي موجبة الشحنة.
- النيوترونات موجودة داخل النواة، ولا شحنة لها.

2.2 مناقشة

اشرح للطلّاب أنّ الذرّة متعادلة كهربائيًّا لأنّ عدد البروتونات مساوٍ لعدد الإلكترونات. ولكن إذا أُضيف أو نُزِع إلكترون واحد أو أكثر من الذرّة، ستحمل هذه الأخيرة شحنة كهربائية تُسمّى أيونًا.

اعتمد على موقع كلّ من البروتون والإلكترون في الذرّة واشرح للطلّاب أنّ الذرّة تُصبح أيونًا إذا ما أُضيفت إليها إلكترونات أو نُزِعت منها إلكترونات.

تُصبح الذرّة التي تكتسب إلكترونًا سالبة الشحنة.

تُصبح الذرّة التي تفقد إلكترونًا موجبة الشحنة.

شدّد أمام الطلّاب أنّه لا يمكن للذرّة أن تُصبح مشحونة بزيادة بروتون أو نزعه، لأنّ البروتون موجود داخل النواة.

3.2 مناقشة

اشرح الطرق الثلاث لانتقال الإلكترونات (الدلك، اللمس، التأثير).

ذكّر الطلّاب بمبدأ حفظ الشحنة الكهربائية وبأنّ ذلك المبدأ يُطبَّق على عمليات الشحن كافّة.

4.2 مناقشة

قم أمام الطلّاب بدلك ساق البلاستيك أو الزجاج بواسطة قطعة من القماش ليكتسب شحنة معيّنة.

دع الطلّاب يُلاحظون ويستنتجون أنّ الشحنة الكهربائية غير مرئية.

تُسمّى الذرّة التي تحمل شحنة كهربائية «أيونًا». والأيون الموجب له شحنة كلّية موجبة، أي أنّه فقَد 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 المدوارٍ يكون ترابطها بالنواة ضعيفًا ويسهل انتزاعها من الذرّة. تختلف قيمة الطاقة اللازمة لنزع إلكترون ما طبقًا لنوع الموادّ المختلفة، فالإلكترونات المطّاط تكون أكثر ارتباطًا 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.

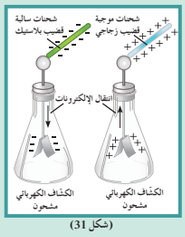
ونختصر ما سبق بالقول إنّ الجسم الذي لا تتساوى فيه أعداد البروتونات والإلكترونات يكون مشحونًا كهربائيًّا. فإن احتوى على إلكترونات أكثر أصبح سالب الشحنة، وإن احتوى على إلكترونات أقلّ أصبح موجب الشحنة. تنتقل الشحنات بثلاث طرق: **الاحتكاك (الدلك)، التوصيل (اللمس) Conduction والتأثير (الحثّ) Induction**.

- الشحن بالدلك هو انتقال الإلكترونات من جسم إلى آخر.
- 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 الكهربائية 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، فيُصبح 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 $1000.5e^-$ أو $10.5e^-$ 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 الشحنة في قانون كولوم الدور نفسه الذي تُؤدّيه الكتلة في قانون نيوتن للجاذبية.

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

ذا خل الفيزياء والكيمياء

الكهربائية والروابط الكيميائية

إنّ الإلكترونات لذرّة ما أقرب إلى بروتونات الذرّات المجاورة منها إلى 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.

اشرح للطلّاب أنّ الإلكتروسكوب (الكشّاف الكهربائي) هو الأداة التي تسمح لنا بالكشف عن الشحنة.

قم بالكشف عن وجود ونوع شحنة الساق بعد شحنه عمليًّا، ووضّح للطلّاب سبب انفراج أوراق الكشّاف الكهربائي كلّما زادت الشحنات عليه.

اسمح لبعض الطلّاب باستخدام الإلكتروسكوب، مشيرًا إلى أنّهم سيقومون جميعًا بذلك في دروس لاحقة في سياق هذا الفصل.

5.2 مناقشة

اشرح للطلّاب أنّ الإلكترونات تميل إلى الحركة لتعود بالجسم إلى حالته المتعادلة، كما أنّ لمس قرص الإلكتروسكوب يُؤدّي إلى فقدان الكهرباء الساكنة، وهو ما يُعرَف بالتفريغ الكهربائي.

6.2 مناقشة

ذكّر الطلّاب بالقانون العامّ للجاذبية بين كتلتي جسمين يبعدان مسافة معيّنة عن بعضهما، وانطلق منه لتُعرّف الطلّاب إلى قانون كولوم الذي يُشبهه بشكله الرياضي.

اذكر نصّ قانون كولوم وعرّف الرموز المستخدمة في العلاقة الرياضية واذكر وحدة قياس كلّ منه بحسب النظام الدولي للوحدات.

اعرض المثال المحلول ص 46 عن تطبيق قانون كولوم وبيّن خطوات طريقة الحلّ للإجابة عن أجزائه.

تحقّق من فهم الطلّاب للصيغة الرياضية لقانون كولوم ومدى تشابهها مع القانون العامّ للجاذبية، وذلك بإعطاء الطلّاب الوقت الكافي لحلّ المثال الآخر ص 47 والتأكّد من توصّلهم إلى الإجابات الصحيحة.

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 (1.7×10^{-27}) kg 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 $\mu C(6)$ موجودة على بعد cm(3) من كرة صغيرة شحنتها $\mu C(1.5)$.
احسب مقدار القوّة الكهربائية بين الشحنتين؟
الناتج: N(90)
2. جسمان مشحونان يُؤثّر أحدهما على الآخر بقوّة N(4). احسب مقدار هذه القوّة بعد مضاعفة قيمة كلّ من الشحنتين.
الناتج: N(16)
3. جسمان مشحونان يُؤثّر أحدهما على الآخر بقوّة N(20). احسب مقدار هذه القوّة بعد مضاعفة المسافة بينهما عن مقدارها السابق.
الناتج: N(5)

7.2 مناقشة

وزّع الطلّاب على مجموعات لتنفيذ نشاط «تحقيق قانون كولوم عمليًّا» في كتاب الأنشطة ص 19، ووزّع المهامّ داخل كلّ مجموعة.

تأكّد من أنّ جميع المجموعات قد نفّذت خطوات النشاط بدقّة، ثمّ اطلب إلى كلّ مجموعة عرض ما توصّلت إليه من نتائج.

بعد مناقشة الطلّاب والتعليق على الرسوم البيانية التي رسموها، استنتج العلاقة بين مقدار القوّة الكهربائية بين شحنتين والمسافة بين مركزيهما.

3. قيّم وتوسّع

1.3 تقييم استيعاب الطلّاب للدرس

لتقييم استيعاب الطلّاب، اطلب إليهم أن يكتبوا نصّ قانون كولوم وأن يُعطوا العلاقة الرياضية للقانون والوحدات المستخدمة لقياسها.

اطلب إلى الطلّاب القيام بحلّ «الأسئلة التطبيقية وحلّها» الموجودة في كتاب الطالب ص 46، ثمّ تأكّد من أنّ إجاباتهم صحيحة.

2.3 إعادة عرض الدرس

في حال وجود أيّ التباس أو سوء فهم لدى الطلّاب، أعد عملية الشرح وركّز على السبب الذي أدّى إلى سوء الفهم، مشدّدًا على ضرورة استخدام العلاقات الرياضية ووحدات القياس المناسبة.

إجابات أسئلة الدرس 1–1

1. تتنافر – تتجاذب
2. الدلك، اللمس، التأثير
3. من خلال تقريبه من كشّاف كهربائي مشحون بشحنة معلومة
4. تعمل السلسلة المعدنية على تفريغ الشحنات المتراكمة على جسم الشاحنة منعًا لحدوث شرارة واحتراقها.

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.

5. (أ)

$$F = \frac{9 \times 10^9 \, |q_1| \, |q_2|}{d^3}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{50 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^{-6}}{(0.2)^2}$$

$$= 225(N)$$

(ب) إذا أصبحت $q' = 2q_1$، تُصبح القوة الكهربائية بين الشحنتين $F' = 2F$

6. $q_A = 20\ \mu c$

$q_B = -40\ \mu c$

$q_C = 0\ \mu c$

بعد ملامسة الكرة (A) الكرة (C)، نحصل على:

$q'_C = 10\mu$

$q_A = 10\mu$

بعد ملامسة الكرة (B) الكرة (C)، نحصل على:

$q''_C = -15\mu$

$q_B = -15\mu$

7. القوة بين A و C هي قوة تنافر تتّجه نحو الشمال ومقدارها:

$$F_{A/C} = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{(0.5)^2}$$

$$= 0.432(N)$$

القوة بين (B) و(C) هي قوة تجاذب اتجاهها نحو اليمين ومقدارها:

$$F_{B/C} = 9 \times 10^9 \times \frac{5 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{(0.3)^2}$$

$$= 2(N)$$

$$F_C = F_{B/C} - F_{A/C}$$

$$= 2 - 0.432$$

$$= 1.568(N)$$

باتّجاه $F_{B/C}$ (اليمين)

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

$$\frac{400}{F_2} = \frac{(\frac{d_1}{8})^2}{(d_1)^2}$$

$$\frac{400}{F_2} = \frac{\frac{d_1^2}{64}}{d_1^2}$$

$$\Rightarrow F_2 = 400 \times 64 = 25\,600(N)$$

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؟

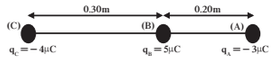
رابعًا – برأيك، لماذا تُجهَّز شاحنة لنقل الغاز أو النفط بسلسلة معدنية تتدلّى من الخلف بشكل يبقى طرفها الأسفل دائمًا على تماسّ مع الأرض؟

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.

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.

الدرس 1-2

الموصّلات والعوازل وطرق الشحن

الأهداف

- يُميّز بين الموصّلات والعوازل.
- يشرح طريقتا الشحن بالدلك واللمس.

الأدوات المستعملة: أقلام تأشير، نماذج ولوحات تعليمية، أفلام فيديو، أقراص مدمجة

صفحات الطالب: من ص 49 إلى ص 51

صفحات الأنشطة: من ص 21 إلى ص 22

عدد الحصص: 2

1. قدّم وحفّز

1.1 استخدام الصورة الافتتاحية للدرس

دع الطلّاب يتفحّصون الصورة الافتتاحية للدرس، ووجّه تعليقاتهم وإجاباتهم بشكل يسمح لك باستهلال موضوع الدرس. أشر إلى أنّ الأسلاك الكهربائية هي موصّلات جيّدة تسمح بسريان الشحنات الكهربائية خلالها، بينما هناك عوازل تمنع سريان الشحنات في الأعمدة المعدنية.

2. علّم وطبّق

1. 2 مناقشة

ابدأ بالمقارنة بين الموادّ الموصّلة والموادّ العازلة، ووضّح أنّ المادّة الموصّلة هي التي تسمح للكهرباء بالمرور من خلالها، مثل النحاس إذ تُستخدَم أسلاك النحاس لوصل الدوائر الكهربائية. أمّا المادّة العازلة هي التي لا تسمح بمرور الكهرباء خلالها، مثل المطّاط والبلاستيك.

أعط أمثلة عن دور الموادّ العازلة في الحماية من أخطار الكهرباء حيث تُستعمَل في القابسات الكهربائية.

يمكنك إعطاء مثال آخر على دور الموادّ العازلة في الحماية، فخوذة رجال الإطفاء مصنوعة من زجاج ليفي يحميهم من الأسلاك الكهربائية المعرّاة عند دخولهم المباني المحترقة.

الفت انتباه الطلّاب إلى أنّ المعادن ليست وحدها موادّ موصّلة، فهناك موادّ موصّلة غير معدنية ومستخدَمة بكثرة مثل الكربون.

2. 2 مناقشة

شدّد على أنّ كلّ الموادّ لها قابلية التوصيل ولكن بنسب مختلفة. فالفلزّات التي تأتي في رأس القائمة هي موصّلة للكهرباء أكثر بملايين المرّات من الزجاج المُندرج في أسفل القائمة، إذ يُسمَح لمقدار ضئيل جدًّا من الكهرباء أن تمرّ من خلالها، ويعود ذلك إلى ترابط الذرّات في المادّة.

الدرس 1-2

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 تُصنّف 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 المدوائر 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 بإحدى الذرّات.

49

3.2 مناقشة

عرّف أشباه الموصّلات وكيفية تحوّلها من موادّ عازلة إلى موادّ موصّلة باستبدال ذرّة من مليون من ذرّاتها بذرّة مادّة مختلفة.

أعط أمثلة عن بعض الموادّ التي تُعتبر أشباه موصّلات مثل السيليكون والجرمانيوم.

أشر إلى أهمّية أشباه الموصّلات في الوصلة الثلاثية، وهي عبارة عن ثلاث شرائح رقيقة متلاصقة من أشباه الموصّلات، تدخل في صناعة جميع الأجهزة الإلكترونية التي نستخدمها في حياتنا اليومية.

4.2 مناقشة

عرّف الطلّاب إلى الموصّلات الفائقة وأشر إلى قدرتها غير المحدودة على توصيل الكهرباء على درجات الحرارة المنخفضة.

شجّع الطلّاب على تقدير جهود العلماء في أبحاثهم حول الموادّ فائقة التوصيل وأهمّيتها في تطوير نقل الطاقة في المستقبل.

أعط الطلّاب مثالًا على أهمّية الموادّ الفائقة في توفير استهلاك الوقود في إطار قراءة الفيزياء في المجتمع «قطار يسبح في الهواء» ص 50.

5.2 مناقشة

أشر إلى طرق شحن الأجسام الموصّلة والموادّ العازلة، وإلى أنّ الأجسام الموصّلة والموادّ العازلة تكون في حالتها العادية غير مشحونة، وتظهر الشحنة الكهربائية عليها نتيجة إحدى العمليات التالية:

- الشحن بالدلك حيث يعمل الدلك المنتظم والمتكرّر لبعض العوازل مثل البلاستيك والألياف الصناعية على نزع بعض الإلكترونات أو إضافتها من أو إلى هذه الموادّ، ما يجعل فيها فائضًا في الشحنات.
- الشحن باللمس ويحدث في الموادّ الموصّلة نتيجة لحركة الإلكترونات الحرّة من نقطة إلى أخرى داخل الموصّل تحت تأثير عامل خارجي مثل فرق الجهد الكهربائي.
- الشحن بالتأثير ويحدث عندما نضع موصّلًا مشحونًا بالقرب من موصّل آخر غير مشحون، فتظهر عليه شحنة نتيجة تأثّره بالموصّل المشحون.

اطلب إلى الطلاب تنفيذ نشاط «عرض طرق الشحن عمليًّا»، والإجابة عن الأسئلة الموجودة في كتاب الأنشطة ص 21.

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 **الموصلات 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 موصلًا 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 k(100)، 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)
يُعتبر السيليكون من أكثر أشباه الموصّلات استعمالًا.

(شكل 36)
ترانزستور يُستخدم 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 ويصبح وكأنّه يسير في الهواء، ما يمنع الاحتكاك ويُقلّل من استهلاك الوقود.

3. قيّم وتوسّع

1.3 تقييم استيعاب الطلّاب للدرس

اطلب إلى الطلّاب تعريف كلّ من الموصّلات والعوازل وأشباه الموصّلات والموصّلات الفائقة. ثم اطلب إليهم إعطاء بعض الأمثلة عن دور الموصّلات والعوازل في حياتهم اليومية.

2.3 إعادة عرض الدرس

في حال وجود التباس أو سوء فهم لدى الطلّاب، أعد عملية الشرح وركّز على السبب الذي أدّى إلى سوء الفهم.

إجابات أسئلة الدرس 1 – 2

1. تتحرّك الإلكترونات بحرّية داخل الموصّلات.
2. **(أ)** الإلكترونات المترابطة
   (ب) الإلكترونات حرة
3. هي المادّة التي تكون عازلة في بعض الظروف وموصّلة في ظروف أخرى
4. هي موصّلات تساوي مقاومتها صفرًا

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.

الدرس 1-3

الشحن بالتأثير واستقطاب الشحنة

الأهداف

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

الأدوات المستعملة: أقلام تأشير، نماذج توضيحية، أفلام فيديو، أقراص مدمجة

صفحات الطالب: من ص 52 إلى ص 56

صفحات الأنشطة: —

عدد الحصص: 2

1. قدّم وحفّز

1.1 استخدام عرض توضيحي

أمسك ساقًا مشحونًا بمواجهة إحدى علب المشروبات الغازية الفارغة المصنوعة من الألومنيوم، سيلاحظ الطلّاب أن العلبة ستتحرّك باتّجاه الساق.

استخدم ملاحظات الطلّاب لتستهلّ الدرس وتوضّح الشحن بالتأثير. دعهم يستنتجون أنّ الشحنات التي نشأت على العلبة مختلفة عن تلك الموجودة على الساق، ما سبّب التجاذب بينهم.

2. علّم وطبّق

1.2 مناقشة

وضّح الخطوات التي اتُّبعت في شحن الكرتين في (شكل 53).

أكّد على أنّ عملية الشحن قد تمّت بدون أن يحدث أي تلامس بين الساق المشحون والكرات، واذكر أنّ هذه العملية تُسمّى «الشحن بالتأثير». ثمّ اطرح السؤال التالي:

- ما السبب في عدم انتظام توزّع الشحنات الكهربائية في (شكل 53)؟

حاور الطلّاب وأشر إلى أنّ عدم انتظام توزّع الشحنات الكهربائية يعود إلى أن مجال التأثير فعّال، ولكن إذا تباعدت الكرتان بحيث يصبح التأثير غير فعّال تتوزّع الشحنات بشكل منتظم.

2.2 مناقشة

اشرح خطوات شحن كرة بالتأثير بعد التوصيل بالأرض (شكل 54). الفت انتباه الطلّاب إلى عملية التأريض التي استُخدمت في الخطوة c وعرّفها. أشر إلى أنّه خلال هذه العملية، تنتقل الإلكترونات إلى الأرض التي تُعتبر مستودعًا هائلًا للشحنات الكهربائية.

الدرس 1-3

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 B وA 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 شُحِنتا بشحنتين متساويتين ولكن مختلفين في النوع.

52

3.2 مناقشة

اعرض بعض الأمثلة على الشحن بالتأثير، مشيرًا إلى حدوثه أثناء العواصف الرعدية حيث تستحثّ الشحنة السالبة لأجزاء السفلية من السحب شحنة موجبة على سطح الأرض، ما يؤدّي إلى تفريغ كهربائي وظهور البرق.

تأكّد من فهم الطلّاب لمبدأ التفريغ الكهربائي ودوره في حدوث البرق والصواعق.

4.2 مناقشة

وضّح للطلّاب أن بنيامين فرنكلين هو من اكتشف أنّ البرق ما هو إلّا ظاهرة كهربائية، وقد اكتشف ذلك ليس لأنّ الصاعقة الكهربائية قد ضربت طائرته الورقية، ولو كان هذا ما حصل فعلًا، لما بقي حيًّا ولما وصلت إلينا تجربته، بل لأنّه لاحظ أنّ طائرته قد جمعت الشحنات من الهواء، لأنّ شعيرات الخيط الذي يربط الطائرة قد انتفضت، وهذا ما انبأه بأنّ الصاعقة أو البرق عبارة عن شرارة كهربائية.

أشر إلى دور فرنكلين في اكتشاف تنقّل الشحنات بسهولة كبيرة في الأجزاء المدبّبة من الموصّل، ما ساهم في ابتكار مانعة الصواعق.

وضّح مبدأ عمل مانعة الصواعق ودورها في حماية المباني التي تُثبَّت عليها من تكوّن شحنات موجبة على المبنى بالتأثير وتفريغها في الأرض.

5.2 مناقشة

استعن بالشكلين 40 أ و40 ب من كتاب الطالب لتعريف مفهوم الاستقطاب.

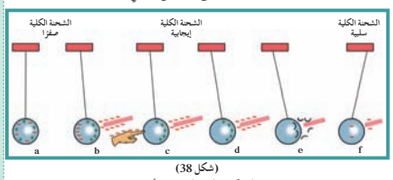
وضّح أثر الاستقطاب في التصاق بالون مشحون بالحائط، عبر القيام بدلك بالون منفوخ بشعرك ودعوة الطلّاب إلى ملاحظة التصاقه بالحائط عند تقريبه منه.

6.2 مناقشة

ناقش النتائج التي يتوصّل إليها الطلّاب بعد تنفيذ نشاط «الفيزياء في المنزل» في كتاب الطالب ص 56.

استنتج مع الطلّاب أن تيّار الماء المتدفّق سينجذب إلى المشط المشحون نظرًا إلى طبيعة جزيئات الماء ثنائية القطبية. اذكر دور الثنائية القطبية للماء في عمل فرن الميكروويف وذلك خلال قراءة «الفيزياء في المطبخ».

ويُقال إنّ الكرتين شُحنَتا 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 الكلية 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.**

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

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.

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

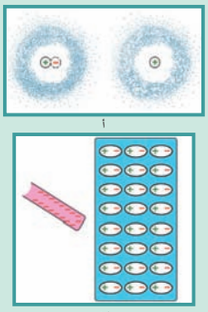
لا يقتصر الشحن بالتأثير على الموصّلات. فعند تقريب قضيب مشحون من مادّة عازلة، لا يحدث فصل للشحنات لأنّ العوازل لا تحوي إلكترونات حرّة.

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. فترتّب 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.



أ

ب

(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 مستقطبة كهربائيًّا.

3. قيّم وتوسّع

1.3 تقييم استيعاب الطلّاب للدرس

لتقييم استيعاب الطلّاب، اطلب إليهم ذكر طرق الشحن المتعدّدة والتمييز بينها.

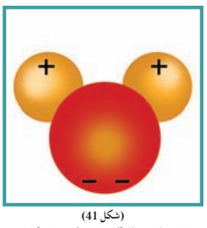
2.3 إعادة عرض الدرس

في حال وجود أيّ التباس أو سوء فهم لدى الطلّاب، أعد عملية الشرح وركّز على السبب الذي أدّى إلى سوء الفهم. كذلك، شدّد على التمييز بين طرق الشحن المختلفة.

إجابات أسئلة الدرس 1 – 3

1. **(أ)** اللمس، الدلك، الحث (التأثير)
   (ب) الحث (التأثير)
2. البرق هو تفريغ كهربائي بين أجزاء من السحابة ولا يصل إلى الأرض. أمّا الصاعقة، فهي تفريغ بين السحابة والأرض وتصل إلى الأرض.
3. تحمي المباني من الصواعق، وتفرّغ الشحنات باتّجاه الأرض
4. تكون الأجزاء التي تحمل شحنات مختلفة أقرب
5. هو جزيء تتوزّع فيه الشحنات بطريقة غير متماثلة، وهو سالب على أحد الجوانب وموجب على الآخر
6. يجب أن تكون الشحنتان على كلّ من الكرتين متساويتان في المقدار ومختلفتان في النوع لأنّ كلّ شحنة موجبة على A ناتجة عن نزع إلكترون منها وإضافته إلى B.
7. لعدم وجود تلامس بين الكرتين والساق المشحونة. أمّا عند ملامسة الساق للكرة الحاملة للشحنة، تنتقل الشحنات فتنقل الشحنة السالبة على الساق.

الكثير من الجزيئات في حالتها الطبيعية – مثل الماء – تكون مستقطبة كهربائيًا. 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 كهربائيًا لجسم عازل كهربائيًا. 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)؟

الفيزياء في المنزل

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؟

الفصل الثاني

التيّار الكهربائي والدائرة الكهربائية

دروس الفصل

الدرس الأوّل: التيّار الكهربائي ومصدر الجهد

الدرس الثاني: المقاومة الكهربائية وقانون أوم

الدرس الثالث: القدرة الكهربائية

الدرس الرابع: الدائرة الكهربائية

وضّح الغرض من دراسة الفصل، وهو بناء معرفة جيدة للتيّار الكهربائي وتصحيح بعض المفاهيم غير الصحيحة المتعلّقة بالكهرباء. وضّح أيضًا أنّ موضوع هذا الفصل هو نتيجة تطوّر مفهوم الكهرباء الساكنة التي أصبحت كهرباء متحرّكة، وأنّه سيتمّ تناول الدائرة البسيطة والمركّبة للتيّار المستمرّ DC.

حفّز الطلّاب على الاهتمام بموضوع الفصل وذلك بلفت انتباههم إلى أهمّيّة الكهرباء في حياتهم اليومية.

استخدام الصورة الافتتاحية للفصل

ادع الطلّاب إلى التعليق على صورة افتتاحية الفصل، وإبداء آرائهم حول أهمّيّة الكهرباء بشكل عامّ وأهمّيّة نقل الطاقة الكهربائية وإيصالها إلى المدن والقرى من أجل إضاءة المنازل وتشغيل الآلات. ومن خلال تعليقاتهم، يُمكنك استهلال موضوع الفصل وذكر بعض المصطلحات التي سيتمّ استخدامها في سياق الدروس.

أخطاء شائعة

- تقلّ شدّة التيّار الكهربائي في دوائر التوالي كلّما ابتعد التيّار عن المصدر.
- في الدائرة الكهربائية المفتوحة، تتجمّع الإلكترونات على طرفي القاطع بانتظار إغلاقه لتكمل طريقها.
- يقوم مصدر الجهد أو مصدر القدرة بتزويد الدائرة المتّصل بها بالإلكترونات.

خلفية علمية

هنالك نوعان من التيّار الكهربائي وهما التيّار المتردّد الذي يسري في الدائرة المنزلية باتّجاه متغيّر، والتيّار المستمرّ الذي يسري في اتّجاه واحد في دائرة متّصلة ببطّارية.

يشكّل التيّار الكهربائي الإلكتروني فيضًا من الإلكترونات الحرّة التي تسري في السلك أو الموصّل المعدني من القطب السالب إلى القطب الموجب للبطّارية.

أمّا الاتّجاه المأخوذ فيه هو الاتّجاه المضادّ لاتّجاه التيّار الإلكتروني، وهو ما يُعرف بالاتّجاه الاصطلاحي للتيّار الكهربائي حيث تسري الشحنات الكهربائية الموجبة من القطب الموجب إلى القطب السالب.

تقوم الكهرباء المتحرّكة على ثلاث كمّيات فيزيائية وهي شدّة التيّار، وفرق الجهد الكهربائي، والمقاومة التي تقاوم مرور التيّار الكهربائي بالموصّل.

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.

دروس الفصل
الدرس الأوّل
التيّار الكهربائي ومصدر الجهد
الدرس الثاني
المقاومة الكهربائية – قانون أوم
الدرس الثالث
القدرة الكهربائية
الدرس الرابع
الدوائر الكهربائية

الدرس 2-1

التيّار الكهربائي ومصدر الجهد

الأهداف

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

الأدوات المستعملة: أقلام تأشير، أجهزة كهربائية، لوحات تعليمية، أفلام فيديو، أقراص مُدمجة

صفحات الطالب: من ص 58 إلى ص 61

صفحات الأنشطة: —

عدد الحصص: 2

1. قدّم وحفّز

حثّ الطلّاب على الدرس بطرح أهمّية اكتشاف البطّارية على يد العالم أليساندرو فولتا ودورها كمصدر للقوّة الدافعة الكهربائية في إنتاج تيّار مستمرّ في الدائرة الكهربائية.

2. علّم وطبّق

1.2 مناقشة

ذكّر الطلّاب بكيفية انتقال الحرارة في الموصّل عندما يكون هنالك فرق في درجة الحرارة بين طرفيه. واستخدم هذا التشبيه لتوضيح كيفية تدفّق الشحنات في الموصّل، وذلك بسبب اختلاف الجهد بين طرفيه.

يمكن الاستعانة (بشكل 44) والتي تظهر كيفية انتقال الماء من المكان المرتفع إلى الأقلّ ارتفاعًا لتوضيح معنى فرق الجهد ودوره في انتقال الشحنات في الدائرة الكهربائية المغلقة.

2.2 مناقشة

عرّف التيّار الكهربائي بأنّه سريان للشحنة الكهربائية في الموصّل.

وضّح للطلّاب أنّ شدّة التيّار هي كمّية الشحنة الكهربائية التي تمرّ بجزء معيّن من موصّل في ثانية واحدة، وهي تُمثَّل بالعلاقة التالية:

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

شدّد على استخدام الوحدات الدولية في القياس.

عرّف الأمبير كوحدة أساسية. **[الأمبير هو شدّة التيّار الكهربائي المارّ في الموصّل، والناتج عن مرور كمّية كهربائية مساوية لكولوم واحد عبر مقطع الموصل في ثانية واحدة.]**

الدرس 2-1

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 بشكلٍ 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.

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.

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

(شكل 43)
تتألف بطّارية فولتا، وهي الخطوة الأولى في صنع البطّاريات الجافّة التي نستخدمها الآن، من مجموعة أقراص معدنية من النحاس والزنك. يوضع كلّ قرص من النحاس فوق قرص من الزنك، وتُوضع بين كلّ زوج من هذه الأقراص قطعة من الورق المقوّى المشبع بالماء المالح.

تأكّد من فهم الطلّاب لمفهوم شدّة التيّار وكيفية احتسابها، وذلك بإعطائهم الوقت الكافي لحلّ «الأسئلة التطبيقية وحلّها» في كتاب الطالب 59 والتأكّد من أنّهم توصّلوا إلى الإجابات المعطاة.

3.2 مناقشة

اشرح للطلّاب أنّ سريان الكهرباء يحتاج إلى فرق جهد بين طرفي الموصّل، وأنّ الذي يوفّر فرق الجهد يُسمّى مصدر الطاقة الكهربائية. اشرح العلاقة بين فرق الجهد والطاقة الكهربائية، والتي تُمثَّل بالمعادلة التالية: $V = \frac{E}{Q}$.

تأكّد من فهم الطلّاب لمفهوم فرق الجهد والطاقة وكيفية احتسابها، وذلك بإعطائهم الوقت الكافي لحلّ «الأسئلة التطبيقية وحلّها» في كتاب الطالب ص 61 والتأكّد من أنّهم استطاعوا التوصّل إلى الإجابات المعطاة.

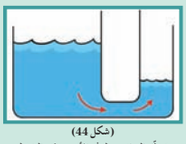
4.2 مناقشة

في حال وجود أيّ التباس لدى الطلّاب بين الشحنات المتدفّقة عبر الدائرة وفرق الجهد بين طرفيها، أعد عملية الشرح مستخدمًا ما هو وارد في كتاب الطلّاب حيث يُشبَّه تدفّق الشحنات بسريان الماء وفرق الجهد بفرق الضغط عبر الأنبوب.

شدّد على أنّ الشحنات هي التي تتدفّق نتيجة وجود قوّة دافعة كهربائية عبر الدائرة، بينما القوّة الدافعة الكهربائية لا تتحرّك.

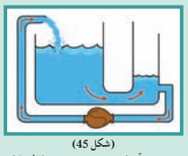
للحصول على تدفّق مستمرّ للشحنات في موصّل ما، يجب تأمين بعض الإجراءات للحفاظ على فرق الجهد بين طرفي الموصّل أثناء تدفّق الشحنات.

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)
تدفّق 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.



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

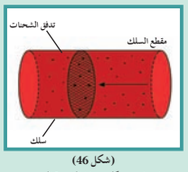
2. التيّار الكهربائي Electric Current

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



(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.

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.

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 220V)، وتعمل هذه المولّدات على الدائرة المتّصلة بطرفي القابس (الفيشة)، ما يعني أنّ طاقة مقدارها 1(220) 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.

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

أسئلة تطبيقية وحلّها

1. احسب مقدار الشحنة لتيّار شدّته A(3) يمرّ في سلك في ثانية واحدة.
الناتج: C(3)
2. احسب شدّة التيّار الناتج عن مرور شحنة مقدارها C(1.5) في سلك خلال (10) ثوانٍ.
الناتج: A(0.15)

3. قيّم وتوسّع

1.3 تقييم استيعاب الطلّاب للدرس

اطلب إلى الطلّاب تعريف التيّار الكهربائي والقوّة الدافعة الكهربائية. ثمّ اطلب إليهم كتابة العلاقات التي تربط بين الشحنة وشدّة التيّار، وبين الشحنة والشغل المبذول عليه، مع ذكر الوحدات المُستخدَمة في قياس تلك الرموز بحسب النظام الدولي للوحدات.

2.3 إعادة عرض الدرس

في حال وجود أيّ التباس أو سوء فهم لدى الطلّاب، أعد عملية الشرح وركّز على السبب الذي أدّى إلى سوء الفهم.

إجابات أسئلة الدرس 2 – 1

1. فرق درجة الحرارة، فرق الجهد.
2. الجهد هو الطاقة مقسومة على الشحنة بينما يساوي فرق الجهد بين نقطتين مقدار الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات بين هاتين النقطتين.
3. فرق الجهد
4. سريان الشحنة
5. سريان 1 كولوم في الثانية
6. القوّة الدافعة هي طاقة الجهد الخاصّة بكلّ شحنة، مقدارها كولوم واحد وهي تقوم على توفير الضغط الكهربائي.
7. $W = QV$، أي أنّ $V = \frac{W}{Q}$

$$V = \frac{18}{3} = 6(V) \text{ أي}$$

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

الأهداف

- يعرّف قانون أوم ويطبّقه.
- يذكر العوامل التي تؤثّر في مقاومة السلك.
- يذكر أسباب الصدمة الكهربائية.

الأدوات المستعملة: نماذج ولوحات تعليمية، أفلام فيديو، أقراص مدمجة، أدوات كهربائية (فولت ميتر، أميتر، ربوستات، أسلاك...)

صفحات الطالب: من ص 62 إلى ص 66

صفحات الأنشطة: من ص 39 إلى ص 42

عدد الحصص: 3

1. قدّم وحفّز

حثّ الطلّاب على الدرس بطرح بعض الأسئلة عن سبب سريان الشحنات في الدائرة الكهربائية، وسؤالهم عن العوامل التي تؤثّر، برأيهم، في هذا السريان.

وجّه النقاش بشكل يدفع الطلّاب إلى استنتاج أنّ سبب سريان الشحنات في الدائرة هو القوّة الدافعة الكهربائية التي درسوها في سياق سابق، وأنّ لاختلاف مقاومة الموصّلات تأثير على سريان هذه الشحنات.

استعن بنتائج المناقشة كمقدّمة لاستهلال الدرس.

2. علّم وطبّق

1.2 مناقشة

عرّف مقاومة موصّل: هي ممانعة مرور التيّار الكهربائي بالموصّل، ويُشار إليها بالرمز R وبوحدة قياس أوم. اذكر وجود عدّة أنواع من المقاومات، ومنها:

- المقاومات ثابتة القيمة
- مقاومات متغيّرة، أي يمكن أن تتغيّر قيمتها بتغيير بعض العوامل المؤثّرة فيها

2.2 مناقشة

عرّف العوامل المؤثرة في المقاومة من طول السلك، ومساحة مقطعه، ومقاومته النوعية. أشر إلى أنّ العلاقة بين المقاومة والعوامل المؤثّرة فيها تتمثّل بالعلاقة التالية: $R = \rho \frac{L}{A}$.

وضّح أنّ لدرجة حرارة المادّة تأثير على مقاومتها، إذ تصبح مقاومة الموادّ على درجات حرارة منخفضة جدًّا تساوي صفرًا، وهي تُسمّى موادّ فائقة التوصيل.

شدّد على استخدام الوحدات الدولية في قياس الكمّيات الفيزيائية، مشيرًا إلى أنّ الأوم هي وحدة قياس المقاومة. عرّف الأوم بأنّها مقاومة موصّل حين يكون فرق الجهد بين طرفيه يساوي 1 فولت ويسري فيه تيّار شدّته 1 أمبير.

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	$1.72 \times 10^{-8}\ \Omega.m$
ألمنيوم	$2.6 \times 10^{-8}\ \Omega.m$
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: $R = \rho \frac{\ell}{A}$

62

اطلب إلى الطلّاب تنفيذ نشاط «العوامل المؤثِّرة في مقاومة موصّل» والإجابة عن الأسئلة الموجودة في كتاب الأنشطة ص 39.

3.2 مناقشة

وضّح أنّ التجارب التي قام بها العالم جورج سيمون أوم قد أدّت إلى وضع قانون يُعرف باسمه وينصّ على أنّ شدّة التيّار تتناسب طرديًّا مع فرق الجهد عند ثبات درجة الحرارة.

اكتب العلاقة الرياضية لقانون أوم وأكّد على ضرورة استخدام النظام الدولي للوحدات لقياس الكمّيات الفيزيائية.

اطلب إلى الطلّاب تنفيذ نشاط «تحقيق قانون أوم» والإجابة عن الأسئلة الموجودة في كتاب الأنشطة 41.

4.2 مناقشة

اذكر أنّ بعض المقاومات لا يُطبّق عليها قانون أوم وهي تُعرف بمقاومات لا أومية. استعمل الشكلين 50 و51 من كتاب الطالب لتوضيح الفرق بين المقاومات الأومية واللاأومية. فعندما تُمثَّل العلاقة بين فرق الجهد وشدّة التيّار بخط مستقيم يمرّ بنقطة الأصل تكون المقاومة أومية، أما إذا تمثّلت العلاقة بين شدّة التيّار والجهد بغير ذلك فتكون المقاومة لا أومية.

اعرض المثال المحلول ص 64 عن استخدام قانون أوم مبيّنًا خطوات حلّ أجزائه.

اربط الفيزياء بالكيمياء في عمليات التحليل الكهربائي، مثل تحليل الماء كهربائيًّا إلى عنصرين والحصول على غازي الأكسجين والهيدروجين، وفي استخراج بعض العناصر النقية من خاماتها، وفي عملية الطلاء باستخدام معادن ثمينة.

5.2 مناقشة

استخدم أمثلة من الحياة اليومية تُظهر خطورة التعرّض للصدمة الكهربائية وتأثيرها على حياة الإنسان.

يمكن الاستعانة بالجدول رقم 2 في كتاب الطالب لتوضيح تأثير التيّارات الكهربائية على جسم الإنسان.

اشرح سبب وضع عامل الكهرباء إحدى يديه خلف ظهره عند الكشف على الدوائر الكهربائية للتأكّد منها، ولتجنّب ملامسة يديه الاثنتين لسلك حيّ ومرور التيّار من إحدى اليدين إلى الأخرى مرورًا بالصدر ما يسبّب اختلالًا في ضربات القلب.

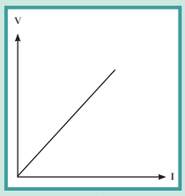
6.2 مناقشة

أشر إلى أنّ التكهرب يجعل العضلات تنقبض، واشرح سبب ملامسة عمّال الكهرباء بظهر يدهم الأسلاك عندما يريدون تحريكها لأنّ الصدمة الكهربائية غير المتوقّعة تسبّب انقباضًا عضليًّا يجعل اليدين لا تمسكان بالسلك.

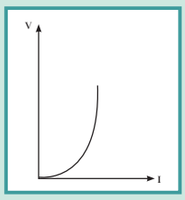
تعتمد المقاومة الكهربائية للمادّة أيضًا على درجة حرارتها. ويُمكن أن تُصبح مقاومة الموادّ صفرًا على درجات الحرارة المنخفضة جدًّا وعندها تُسمّى هذه الموادّ بالموادّ فائقة التوصيل.

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 (ssm)، ومنها ما هو متغيّر ويُرمَز له بالشكل (vm). 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 درجة الحرارة. ويتناسب عكسيًّا مع المقاومة عند ثبات فرق الجهد ودرجة الحرارة. ويُعبّر عنه بالمعادلة الرياضية التالية: $\boxed{I = \frac{V}{R}}$

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: $\boxed{\frac{1\ V}{1\ \Omega} = 1\ A}$

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 الخطيّة 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 اللاخطيّة 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 V(10) وكانت شدّة التيّار فيه A(2).
احسب:
(أ) مقاومة السلك؟
(ب) طول السلك إذا كانت مقاومته النوعية $1.6 \times 10^{-8}\ \Omega\ .\ m$. 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: $\rho = 1.6 \times 10^{-8}\ \Omega\ .\ m$
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 حوالي $\Omega(100)$ إذا كنت متعرّقًا وحوالي $\Omega(500000)$ إذا كان جلدك جافًا. فإذا لمست قطبي بطّارية بأصابع جافة، ستكون مقاومة جسمك الطبيعية لتدفّق الشحنات حوالي $\Omega(100000)$. إنّك لا تشعر عادة بـ V(12)، وعند V(24) بالكاد تشعر بدغدغة. ومن جهة أخرى، إذا كان جلدك رطبًا، ستكون V(24) غير مريحة.

(جدول 2)
تأثير التيارات الكهربائية المختلفة على الجسم

التيار 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

7.2 مناقشة

وضّح أنّ الفرع الثالث في الفيشة الثلاثية مجهّز بسلك يصل بين الجهاز والأرض، وهو أطول من الفرعين الآخرين، وبالتالي فإنّه قد يتّصل أوّلًا لدى دخوله في مقبس الكهرباء، ما يؤكّد التوصيل بالأرض قبل اتّصال الجهاز بالكهرباء. فمن شأن المسار الأرضي أن يمنع الخطر عن المستخدم في حال وجود دائرة قصر في الجهاز.

3. قيّم وتوسّع

1.3 تقييم استيعاب الطلاب للدرس

لتقييم استيعاب الطلّاب، اطلب إليهم ذكر نصّ قانون أوم، ثمّ كتابة العلاقات التي تربط بين شدّة التيّار وفرق الجهد، وبين المقاومة والعوامل المؤثّرة فيها عند ثبات درجة الحرارة، مؤكّدًا على أن يذكر الطلّاب الوحدات المستخدمة في قياس تلك الكميات بحسب النظام الدولي للوحدات.

يمكنك إعطاء الطلّاب بعض المسائل المماثلة لتلك الواردة في المثال المحلول ومنحهم الوقت الكافي لحلّها وعرض نتائجهم.

2.3 إعادة عرض الدرس

في حال وجود أيّ التباس أو سوء فهم لدى الطلّاب، أعد عملية الشرح وركّز على السبب الذي أدّى إلى سوء الفهم.

إجابات أسئلة الدرس 2.2

فرق الجهد: $V = 150(V)$

شدّة التيّار: $I = 12(A)$

المقاومة: $R = \frac{V}{I} = \frac{120}{12} = 10(\Omega)$

1. فرق الجهد: $V = 50(V)$

المقاومة: $R = 100(\Omega)$

شدّة التيّار: $I = \frac{V}{R} = \frac{50}{100} = 0.5(A)$

2. المقاومة: $R = 100\ 000(\Omega)$

فرق الجهد: $V = 12(V)$

شدّة التيّار: $I = \frac{V}{R} = \frac{12}{100\ 000} = 0.00012(A)$

هذا التيّار لا يضرّ بصحّتك

3. سيسحب جسمك تيّارًا شدّته 0.05A، وتُعتبر هذه الكمّية من التيّار خطيرة ومضرّة بصحّتك.

4. المقاومة الكهربائية هي الإعاقة التي تواجهها الإلكترونات أثناء انتقالها في الموصّل، وتُقاس بوحدة «أوم».

5. أكبر في السلك الطويل والرفيع

6. راجع كتاب الطالب

7. ينخفض إلى النصف

8. ينخفض إلى النصف

9. سيُنقص من مقاومة الجلد

10. لإهمال فرق الجهد عبر جسم الطائر

11. يصل جسم الجهاز الكهربائي مباشرة بالأرض

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

(شكل 53)
يُمكن للطائر أن يقف من دون أن يتضرر من أحد الأسلاك ذات الجهد العالي ولكن من الأفضل له ألا 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.

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 220(V). إذا كنت واقفًا على الأرض ولمست بيدك أداة كهربائية في المنزل متّصلة بـ 220(V)، وكان فيها عيب ما، فهذا يعني أن فرق جهد كهربائي مقداره 220(V) 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 220(V) 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 كهربائيًا 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 موصّلة 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 يُعتبر من الخطير جدًا 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 موصّلًا 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

التيّار. أمّا إذا اتّصل السلك الحيّ 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 12(A) ويكون متّصلًا بمصدر 120(V)؟

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

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

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

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 بطّارية السيّارة. ويُستخدَم التحليل الكهربائي أيضًا لاستخراج المعادن من الموادّ الخام. فالألومنيوم هو معدن معروف يُستخرَج بواسطة التحليل الكهربائي. في يومنا هذا، بات الألومنيوم شائع الاستخدام، ولكن قبل بداية إنتاجه بواسطة التحليل الكهربائي في عام 1886، كان أغلى بكثير من الذهب والفضّة.

الدرس 2-3

القدرة الكهربائية

الأهداف

- يربط بين القدرة الكهربائية المستخدَمة بواسطة جهاز ما وبين التيّار وفرق الجهد.

الأدوات المستعملة: أقلام تأشير، نماذج ولوحات تعليمية، أفلام فيديو، أقراص مدمجة

صفحات الطالب: من ص 67 إلى ص 69

صفحات الأنشطة: —

عدد الحصص: 2

1. قدّم وحفّز

1.1 استخدام الصورة الافتتاحية للدرس

ادع الطلّاب إلى تفحّص شكل 56 والتعليق عليه. وجّه تعليقاتهم والفت انتباههم إلى مقدار القدرة الكهربائية الظاهر في تلك الصور، والتي هي موضوع الدرس. ادفعهم إلى الملاحظة أنّ إختلاف القدرة الكهربائية بين المصباحين هو السبب في إختلاف شدّة الإضاءة بينهما.

2. علّم وطبّق

1.2 مناقشة

استذكر تعريف القدرة الميكانيكية التي سبق أن تعلّمها الطلّاب في فيزياء الميكانيك، وانطلق منه لتحديد القدرة الكهربائية. اذكر أنّ القدرة الكهربائية مرتبطة بشدّة التيّار وفرق الجهد.

اعرض القواعد الرياضية التي تسمح باحتساب القدرة الكهربائية. عرّف جميع القيم الواردة في المعادلات ووحدات قياسها، وأكّد على ضرورة استخدام النظام الدولي للوحدات في قياس الكمّيات الفيزيائية.

2.2 مناقشة

بيّن الفرق بين القدرة الكهربائية والطاقة الكهربائية، وإلى أنّ عدّادات الكهرباء الموجودة في المنازل تحدّد ما نستهلكه من طاقة كهربائية، وأنّنا ندفع لشركة الكهرباء ثمن الطاقة المستهلكة وليس ثمن القدرة. اشرح كيفية احتساب الطاقة الكهربائية لجهاز موصول على فرق جهد واكتب القاعدة الرياضية التي توضّح ذلك. استخدم العلاقة السابقة مع قانون أوم للتوصّل إلى صياغة العلاقة الرياضية التي تسمح باحتساب الطاقة المستهلكة في مقاومة أومية، والتي تُعرف بقانون جول.

أكّد على استخدام الوحدات الدولية في قياس الكمّيات الفيزيائية، وأشر إلى أنّ الجول هي وحدة قياس الطاقة الكهربائية بحسب النظام الدولي للوحدات. الفت انتباه الطلّاب إلى أنّ شركة الكهرباء تستخدم وحدات غير الجول لاحتساب الطاقة المستهلكة في المنازل، وهي وحدة الكيلوواط – ساعة. أشر إلى كيفية تحويل الكيلوواط–ساعة إلى جول، أو بالعكس.

الدرس 2-3

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، ضوئية) يُسمّى القدرة الكهربائية Electrical Power.

يُمكن تمثيل ذلك بالعلاقة الرياضية التالية:

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

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

ويُمكننا أن نستبدل $E = QV$ وكذلك $Q = It$ في العلاقة السابقة لنجد أنّ: $P = VI$

فالقدرة الكهربائية هي ناتج ضرب شدّة التيّار وفرق الجهد.

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

67

3.2 مناقشة

اعرض المثال المحلول ص 68 و69 عن استخدام قانون جول وكيفية احتساب الطاقة المستهلكة وعلاقتها بالقدرة الكهربائية، مبيّنًا خطوات حلّ أجزائه.

3. قيّم وتوسّع

1.3 تقييم استيعاب الطلاب للدرس

اطلب إلى الطلّاب تعريف القدرة الكهربائية، ثمّ كتابة العلاقات التي تربط بين شدّة التيّار وفرق الجهد والقدرة الكهربائية، وتلك التي تربط بين القدرة والطاقة الكهربائية وغيرها، مؤكّدًا على ذكر الوحدات المستخدَمة في قياس تلك القيم بحسب النظام الدولي للوحدات.

أعطِ الطلّاب الوقت الكافي للقيام بحلّ «الأسئلة التطبيقية وحلّها»، وتأكّد من أنّهم استطاعوا التوصّل إلى الإجابات المعطاة.

2.3 إعادة عرض الدرس

في حال وجود أيّ التباس أو سوء فهم لدى الطلّاب، أعد عملية الشرح وركّز على السبب الذي أدّى إلى سوء الفهم.

إجابات أسئلة الدرس 2 – 3

1. القدرة الكهربائية هي معدّل تحوّل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى (ميكانيكية، ضوئية، حرارية).
2. القدرة الكهربائية: $P = VI$، أي أنّ $I = \frac{P}{V}$
$$I = \frac{75}{220} = 0.34(A)$$
3. احتساب شدّة التيّار عند تشغيل المكواة
$$I = \frac{P}{V} = \frac{1200}{120} = 10(A)$$
هذا التيّار أقلّ من تيّار الأمان (15A) وبالتالي تكون الإجابة نعم.
4. القدرة = شدّة التيّار × فرق الجهد
$$P = 8 \times 0.1 = 0.8(W)$$
استخدمت لمدّة ساعة فإنّ الطاقة = القدرة × الزمن
$$E = 0.8W \times 1hr = 0.8w-hr$$
5. (أ) $R = \frac{V}{I} = \frac{220}{5} = 44(\Omega)$
(ب) القدرة = الجهد × التيّار
$$P = VI = 220 \times 5 = 1100(W)$$
(جـ) $E = P \times t = 1100 \times 6 \times 60 = 396000(J)$
$$E = 1.1KW \times 6hr = 6.6(Kwh)$$
(د) الثمن = $6.6 \times 2 = 13.2$ فلسًا.
6. (أ) $P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow R = \frac{(220)^2}{2200} = 22(\Omega)$
$$R = \rho \frac{L}{A} \Rightarrow L = \frac{RA}{\rho} = \frac{22 \times 0.016 \times 10^{-6}}{1.6 \times 10^{-8}} = 22(m)$$
(ب) $V = IR \Rightarrow I = \frac{V}{R} = \frac{220}{22} = 10(A)$
(جـ) $E = P \times t = 2200 \times 2 \times 3600 = 15840000\ (J)$

2. الطاقة الكهربائية

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

بما أنّ القدرة تُمثّل 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 تُمثّل بالعلاقة التالية: $\boxed{E = I^2Rt}$

تُعرف هذه العلاقة بقانون جول (شكل 57).

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 100W واستخدمناه لمدّة أربع وعشرين ساعة، فإنّه يستهلك 2.4KWh. وبمعرفتنا ثمن الكيلو الواط الواحد، نستطيع احتساب كلفة استخدامه.

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

(شكل 58)
عدّاد مصروف الطاقة

مثال (1)

استخدمت مصباحًا قدرته الكهربائية 1500W ويعمل على 220V. 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). صُنعت 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 صُنعت 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) ثوان.
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

الأهداف

- يوضّح شكل الدائرة الموصّلة.
- يفرّق بين دائرة التوالي ودائرة التوازي ويفهم خصائص كلّ منها.
- يحسب المقاومة المكافئة لدوائر تحتوي على مقاومتين أو أكثر.
- يوضّح أسباب الحمل الزائد على الدوائر الكهربائية الموجودة في المنازل وكيفية تجنّبها.

صفحات الطالب: من ص 70 إلى ص 79

صفحات الأنشطة: من ص 27 إلى ص 32

عدد الحصص: 5

الأدوات المستعملة: أقلام تأشير، نماذج الدارات كهربائية، لوحات تعليمية عن الدائرة الكهربائية، أفلام فيديو، أقراص مدمجة

1. قدّم وحفّز

حثّ الطلّاب على الدرس بطرح بعض الأسئلة التي تدفعهم إلى استرجاع معارفهم السابقة حول الدائرة الكهربائية ومكوّناتها.

يمكنك طرح الأسئلة التالية:

- ما هي الدائرة الكهربائية؟ **[مسار مغلق تنساب الإلكترونات خلاله]**
- ممّا تتألّف الدائرة الكهربائية؟ **[مصدر جهد، قاطع، أسلاك توصيل، أجهزة تعمل على الكهرباء مثل مصابيح أو مقاومات]**
- ما الفرق بين الدائرة المفتوحة والمغلقة؟ **[الدائرة المفتوحة لا تسمح للتيّار بالمرور، فيما تسمح الدائرة المغلقة بذلك.]**
- كيف يمكننا توصيل الأجهزة في الدائرة الكهربائية؟ **[بطرق متعدّدة ومنها على التوالي أو التوازي]**

وجّه إجابات الطلّاب ومناقشاتهم بشكل يسمح لك باستهلال موضوع الدرس، مشدّدًا على أهداف الدرس ومؤكّدًا على أهمّيتها.

2. علّم وطبّق

2. 1. مناقشة

عرّف دائرة التوالي البسيطة وكيفية توصيلها.

اشرح خصائص دائرة التوالي من حيث مسار التيّار الوحيد، وأنّ أيّ إعاقة في المسار تؤدّي إلى توقّف مرور التيّار.

اصنع دائرة توالي بسيطة كتلك الظاهرة في (شكل 59) واشرح خواصّها الخمس التالية:

- المسار الوحيد
- تساوي المقاومة الكلية في الدائرة مجموع المقاومات المفردة على امتداد مسار الدائرة.

- تساوي قيمة شدّة التيّار الجهد مقسوم على المقاومة الكلية.
- يُطبّق قانون أوم على كلّ جهاز في الدائرة على حدة.
- ينقسم الجهد الكلي المؤثّر على دائرة التوالي على الأجهزة المكوّنة للدائرة.

وضّح أنّ التيّار الكهربائي يتوقّف عند إزالة أيّ مصباح من دائرة التوالي.

وزّع الطلّاب على مجموعات لتنفيذ نشاط «توصيل المقاومات على التوالي» في كتاب الأنشطة ص 27، ووزّع المهامّ داخل كلّ مجموعة.

تأكّد من أنّ جميع المجموعات قد نفّذت خطوات النشاط بدقّة، ثمّ اطلب إلى كلّ مجموعة عرض ما توصّلت إليه من نتائج.

اعرض المثال المحلول ص 72 حول دائرة التوالي وخصائصها، وبيّن خطوات حلّ أجزائه.

تحقّق من فهم الطلّاب لخصائص دائرة التوالي وكيفية تطبيقها، وذلك بإعطائهم الوقت الكافي لحلّ «الأسئلة التطبيقية وحلّها».

تأكّد من أنّهم توصّلوا إلى الإجابات الصحيحة المعطاة.

2.2 مناقشة

عرّف دائرة التوازي البسيطة وكيفية توصيلها.

اشرح خصائص دائرة التوازي من حيث مسارات التيّار المتعدّدة، وأنّ أيّ إعاقة في أيّ مسار لا تؤدّي إلى توقّف مرور التيّار في المسارات الأخرى.

بإمكانك صنع دائرة توازي بسيطة كتلك الظاهرة في (شكل 60) واشرح خواصّها التالية:

- تتّصل كلّ الأجهزة المتّصلة على التوازي بين نقطتين حيث يكون فرق الجهد ثابتًا بين طرفي كلّ جهاز.
- يتجزّأ مقدار التيّار الكلّي في فروع الدائرة.
- يساوي التيّار الكلي في الدائرة مجموع التيّارات المارّة في الفروع المتوازية.
- تقلّ المقاومة الكلّية بزيادة عدد الفروع المتوازية.

وزّع الطلّاب على مجموعات لتنفيذ نشاط «توصيل المقاومات على التوازي» في كتاب الأنشطة ص 30، ووزّع المهامّ داخل كلّ مجموعة.

تأكّد من أنّ جميع المجموعات قد نفّذت خطوات النشاط بدقّة، ثمّ اطلب إلى كلّ مجموعة عرض ما توصّلت إليه من نتائج.

اعرض المثال المحلول ص 74 حول دائرة التوازي وخصائصها، وبيّن خطوات حلّ أجزائه.

تحقّق من فهم الطلّاب لخصائص دائرة التوازي وكيفية تطبيقها، وذلك بإعطائهم الوقت الكافي لحلّ «الأسئلة التطبيقية وحلّها».

تأكّد من أنّهم توصّلوا إلى الإجابات الصحيحة المعطاة.

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.

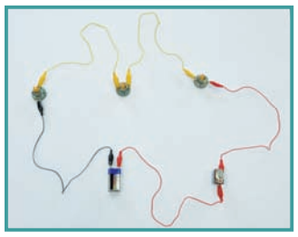
- تُساوي القيمة العددية للتيّار في الدائرة جهد المصدر مقسومًا على المقاومة الكلّية للدائرة، هذا هو قانون أوم Ohm's law.

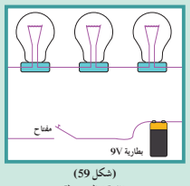
أي أنّ: $I = \frac{V}{R_{eq}}$

- يُطبّق أيضًا قانون أوم على كلّ جهاز في الدائرة على حدة. أمّا فرق الجهد بين طرفي كلّ جهاز فيتناسب طرديًا 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:

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





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

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 البطّارية.
(جـ) الجهد على كلّ مقاوم.

الحلّ: (أ) $R_{eq} = 10\ \Omega$

(ب) $1A$

(جـ)

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

مثال (1)

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

(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 $(30)V$.

(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.

3.2 مناقشة

اشرح أهمّية الرسوم التخطيطية في تمثيل الدائرة الكهربائية، واعرض الرموز الشائعة لبعض الأجهزة المستخدَمة في الدائرة الكهربائية.

4.2 مناقشة

عرّف الدوائر المركّبة وميّز بينها وبين الدوائر البسيطة.

وضّح أنّ الدائرة المركّبة تحتوي على نوعي التوصيل (التوالي والتوازي) في شبكة واحدة، وبيّن كيفية احتساب المقاومة المكافئة في الدوائر المركّبة مستخدمًا شكل 63 من كتاب الطالب.

اعرض المثال المحلول ص 76 حول الدائرة المركّبة وبيّن خطوات حلّ أجزائه.

5.2 مناقشة

اشرح أنّ الأجهزة المنزلية توصَّل على التوازي.

ارسم على السبّورة دائرة توازي تضمّ مصابيح وأجهزة منزلية أخرى، وبيّن مكان القاطع أو المنصهر في الدائرة. احسب شدّة التيّار في كلّ جهاز ظاهر في الرسم، وشدّة التيّار المتوقّع مروره بالقاطع أو المنصهر.

أشر إلى أنّ خطوط الكهرباء في المنزل تتحمّل تيّارًا أقصى تبلغ شدّته 30(A)، وأنّ توصيل العديد من الأجهزة المنزلية على خطّ كهرباء واحد قد يتخطّى قدرة تحمّل خطوط التوصيل، ما قد يؤدّي إلى حمل زائد على الخطّ ويشكّل خطرًا على الدائرة الكهربائية في المنزل وإلى احتراق المنصهر أو انغلاق مفتاح قاطع الدائرة.

وضّح للطلّاب فكرة الحمل الزائد باستخدام المثال التالي: قد تستهلك ثلاثة مكيّفات حوالى 30(A). وإذا كانت هذه المكيّفات موصولة على سلك كهربائي واحد، فقد تشكّل حملًا زائدًا، ما قد يؤدّي إلى انغلاق المفتاح في قاطع الدائرة.

أشر إلى أنّ حلّ مشكلة الحمل الزائد في المنازل يكون باستعمال عدّة أسلاك كهربائية يتمّ توزيعها في أقسام المنزل.

يعود ذلك إلى أنّ تلك الأجهزة ليست 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 أحد 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 تُطفأ 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.

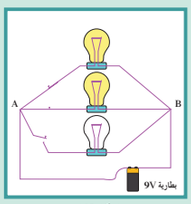
يُمكن استنتاج الخصائص التالية لتوصيلات التوازي:

- 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. ويُطبّق 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 البطّارية 9V(9) يُوفّر 9V(9) لكلّ مصباح.

مثال (2)

ثلاثة مصابيح متشابهة لها مقاومات متساوية قيمة كلّ منها Ω(10)، 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: $V_1 = ?$ و $V_2 = ?$ و $V_3 = ?$
(ب) شدّة التيّار في كلّ فرع: $I_1 = ?$, $I_2 = ?$, $I_3 = ?$
(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.

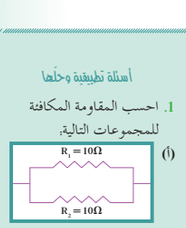
3. رسوم تخطيطية Schematic Diagrams

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

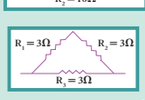
أسئلة تطبيقية وحلّها

1. احسب المقاومة المكافئة للمجموعات التالية:

(أ)

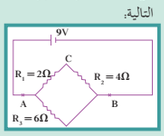


(ب)



الناتج:
(أ) $5\ \Omega$
(ب) 2Ω

2. من خلال الدائرة الكهربائيّة التالية:



احسب:
(أ) المقاومة المكافئة بين AB = ؟
(ب) التيّار المارّ في البطّارية = ؟
(جـ) التيّار المارّ في المقاومة R_3 = ؟
(د) فرق الجهد V_{AC} = ؟

الناتج: (أ) $3\ \Omega$
(ب) $3\ A$
(جـ) $1.5\ A$
(د) $3\ V$

3. قيّم وتوسّع

1.3 تقييم استيعاب الطلاب للدرس

اطلب إلى الطلّاب ذكر خصائص دائرة التوالي ودائرة التوازي. أعط الطلّاب بعض المسائل الإضافية حول احتساب المقاومة المكافئة وتأكّد من صحّة إجاباتهم، ثمّ اعطهم بعض الوقت لحلّ «الأسئلة التطبيقية وحلّها»، أو حضّر مسائل بديلة مماثلة.

2.3 إعادة عرض الدرس

في حال وجود أيّ التباس أو سوء فهم لدى الطلّاب، أعد عملية الشرح وركّز على السبب الذي أدّى إلى سوء الفهم.

إجابات أسئلة الدرس 2 – 4

1. تزداد المقاومة الكلية للدائرة الكهربائية عند إضافة أجهزة أخرى في دائرة التوالي، بينما تنقص في دائرة التوازي.
2. بسبب وجود عدّة مسارات لسريان الإلكترون
3. تحمل الأسلاك تيّارًا أكبر من التيّار الآمن وبالتالي فهي تسخن
4. توقف التيّار الخطير
5. الأجهزة التي تسحب تيّارًا زائدًا
6. هي مسار له مقاومة منخفضة للغاية
7. (أ) $\frac{1}{R'} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10}$

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} = \frac{3}{10}$$

$$R' = \frac{10}{3}$$

$$R_{eq} = \frac{10}{3} + 3 = \frac{19}{3}(\Omega)$$

(ب) $\frac{1}{R'} = \frac{1}{10} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10} = \frac{4}{10}$

$$R' = \frac{10}{4} = 2.5(\Omega)$$

$$\frac{1}{R''} = \frac{1}{18} + \frac{1}{18} = \frac{2}{18}$$

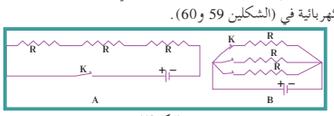
$$R'' = 9(\Omega)$$

$$R_{eq} = 2.5 + 9 = 11.5(\Omega)$$

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

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

وتُمثَّل 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 تتصل بها ثلاثة مصابيح على التوالي.
الدائرة B هي الدوائر الموضّحة في (شكل 60) التي تتصل بها ثلاثة مصابيح على التوازي.

4. الدوائر المركّبة والمقاومة المكافئة

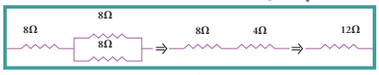
Compound circuits and Equivalent Resistance

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 البطّارية 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.

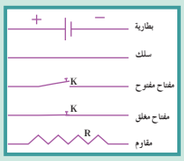
افرض مثلًا مجموعة مكوّنة من ثلاث مقاومات قيمة كلّ منها 8Ω متّصلة كما في (شكل 63).



(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 بطّارية 12V مع هذه المقاومات، يُمكنك أن تجد من خلال قانون أوم أنّ شدّة التيّار



(شكل 61)
الرموز الشائعة لبعض الأجهزة المستخدمة 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 توضع فيها المفاتيح. الخطوة التالية هي توصيل الدوائر والتأكّد من أنّ انسياب التيّار داخلها يكون صحيحًا وآمنًا.

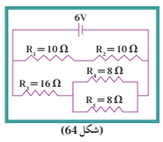
يجب أن يتأكّد اختصاصي الكهرباء من أنّ توصيلات الأسلاك تتّفق مع القواعد المحلّية.

يعتمد البنّاؤون والمقاولون على اختصاصي الكهرباء في ما يتعلّق بتوصيل الكهرباء سواء أكانت في ناطحات السحاب المرتفعة أو في أنظمة إضاءة البناء.

المارّ في البطّارية ستكون بمقدار A(1) (عمليًّا سوف تكون شدّة التيّار أقلّ وذلك لوجود المقاومة الداخلية للبطّارية 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 البطّارية.

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 البطّارية؟

2. **احسب غير المعلوم:**

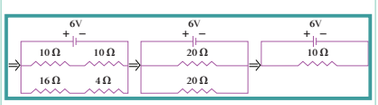
(أ) باستخدام العلاقة جمع المقاومات المتّصلة على التوالي:

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

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 البطّارية.

ارتباط الفيزياء بالتكنولوجيا

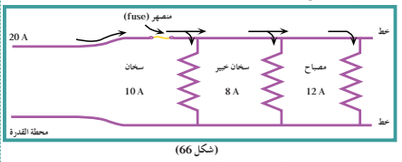
القياس بالتيّار الكهربائي

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

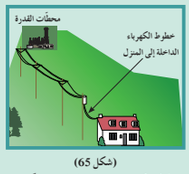
عادة ما تُغذّي الكهرباء المنزل عن طريق سلكين من الرصاص يُسمّى كلّ منهما خطًّا (شكل 65). تكون الخطوط ذات مقاومة صغيرة جدًّا ومتّصلة (بمقابس) بمخارج الكهرباء في حائط كلّ غرفة. يُنقَل على هذه الخطوط حوالى V(220) من المولّدات عند محطّة القدرة. تستخدم هذا الجهد الأجهزة المنزلية والأجهزة الأخرى التي تتّصل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



(شكل 66)
دائرة توضّح 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، تُوصَل **المنصهرات Fuses** (شكل 67) على التوالي مع خطّ الإمداد. في هذه الحالة، يجب أن يمرّ تيّار الخطّ الداخلي خلال المنصهر. يُوضّح (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. يُقصّر هذا التأثير مسار التيّار في الدائرة، وهذا يُسمّى **دائرة قصر Short Circuit**، أي أنّ دائرة القصر تسحب تيّارًا كهربائيًّا كبيرًا وخطيرًا لأنّه 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، يُحرّك المفتاح بسهولة إلى وضع التوصيل ON وذلك بعد معالجة المشكلة.

8. **(أ)** R_2 وR_3 موصولان على التوازي

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

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} = \frac{3}{4} \Rightarrow R' = \frac{4}{3}\,(\Omega)$$

(ب) R_1 وR' موصولان على التوالي

$$R'' = R_1 + R' = \frac{4}{3} + 2 = \frac{10}{3}\,(\Omega)$$

R'' وR_4 موصولان على التوازي

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R''} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{\frac{10}{3}} + \frac{1}{3} = \frac{3}{10} + \frac{1}{10} = \frac{4}{10}$$

$$\Rightarrow R_{eq} = \frac{10}{4} = 2.5(\Omega)$$

(جـ) $V_{AC} = IR_{eq}$

$$I = \frac{10}{2.5} = 4(A)$$

(د) $V_{AC} = I_2 R_4 \Rightarrow I_2 = \frac{10}{10} = 1(A)$

(هـ) أن شدة التيّار I_1 المارّ بين النقطتين B وC يساوي 3(A).

$$V_{BC} = I_1 R' = 3 \times \frac{4}{3} = 4(V)$$

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 تعني بقولنا إنّ خطوط الكهرباء في المنزل حملها زائد؟

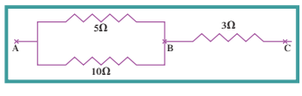
رابعًا – ما دور المنصهر أو قواطع الدوائر في الدائرة الكهربائية؟

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

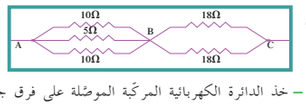
سادسًا – ماذا نعني بدائرة القصر؟

سابعًا – احسب المقاومة المكافئة لكلّ من الدوائر الكهربائية التالية:

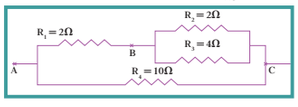
(أ)



(ب)



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



(أ) احسب المقاومة المكافئة R' التي يُمكن استعمالها بدلًا من R_2 وR_3.

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

(جـ) 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 الخامسة

الأفكار الرئيسة في الوحدة:

وجِّه الأسئلة التالية لتلخيص محتويات الوحدة:

◄ كيف تنشأ القوى الكهربائية؟ **[تنشأ القوى الكهربائية نتيجة تنافر الشحنات المتشابهة أو تجاذب الشحنات المختلفة.]**

◄ ما الفرق بين الشحن باللمس والشحن بالتأثير؟

[الشحن باللمس يحدث عند انتقال الإلكترونات بالاتّصال المباشر، أمّا الشحن بالتأثير فيحدث عند وجود جسم مشحون ومن دون اتّصال مباشر.]

◄ اذكر نصّ قانون كولوم؟ **[تتناسب القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين طرديًّا مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين، وعكسيًّا مع مربّع المسافة بينهما.]**

◄ ما الفرق بين الموصّلات والعوازل؟ **[تسمح الموصّلات للإلكترونات بالتحرّك بسهولة فتكون ناقلة جيّدة للكهرباء والحرارة على عكس العوازل.]**

◄ ما هو التيّار الكهربائي؟ **[سريان للشحنة الكهربائية داخل موصّل في وجود فرق جهد بين طرفيه.]**

◄ عدّد بعض مصادر الجهد والتي تحافظ عليه في الدائرة؟

[البطاريات الجافّة، البطاريات السائلة، مولّدات الكهرباء، ...]

◄ ما هي العوامل المؤثّرة في مقاومة السلك؟

[طول السلك، مساحة مقطعه، مقاومته النوعية، ودرجة الحرارة]

◄ اذكر نصّ قانون أوم؟ **[تتناسب شدّة التيّار طرديًّا مع فرق الجهد وعكسيًّا مع المقاومة.]**

◄ عرّف القدرة الكهربائية؟ **[معدّل تحويل الطاقة الكهربائية إلى صور أخرى من الطاقة، وهي تساوي حاصل ضرب شدّة التيّار وفرق الجهد.]**

◄ ما الفرق بين الدائرة البسيطة والدائرة المركّبة؟ **[الدائرة البسيطة تكون دائرة توالي أو توازي، أمّا المركّبة فتحتوي على الاثنين معًا في شبكة واحدة.]**

◄ عدّد بعض خواصّ دائرة التوالي؟

[تكوّن الأجهزة الكهربائية مسارًا وحيدًا لانسياب الإلكترونات.
إنّ أيّ قطع في المسار سيوقف انسياب الإلكترونات في الدائرة.
تساوي المقاومة الكلّية مجموع المقاومات على امتداد مسار التيّار.
يساوي مجموع فروق الجهد بين طرفي كلّ جهاز على حدة فرق الجهد الكلّي.]

مراجعة الوحدة الخامسة

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 الإلكترون.
- 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، تُكوّن 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 للبطّارية أو لمصدر القدرة.
- لمنع الزيادة في الحمل، تُوصَل 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.

◄ عدّد خواصّ دائرة التوازي؟

[تكوّن الأجهزة الكهربائية فروعًا ويشكّل كلّ فرع مسارًا منفصلاً.
يساوي التيّار الكلّي مجموع التيّارات في الفروع.]

◄ كيف توصف الدائرة الكهربائية؟

[رسوم تخطيطية، حيث يُمثَّل كلّ عنصر من عناصر الدائرة برمز معيّن]

◄ كيف نمنع زيادة الحمل؟

[باستخدام المنصهرات والقواطع على خطوط إمداد القدرة]

مفاهيم الوحدة

يقوم الطلّاب، بإشرافك، بتنظيم خريطة مفاهيم بالمصطلحات الواردة ويعرضونها ويناقشونها في ما بينهم.

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:

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

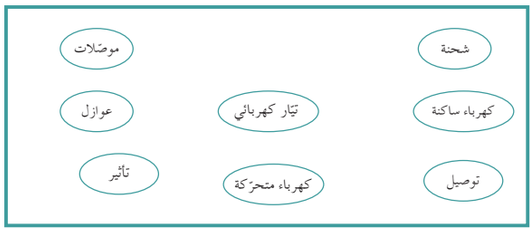
– المقاومة المكافئة في دوائر التوازي:

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

82

خريطة مفاهيم الوحدة

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



83

إجابات أسئلة الوحدة

تحقق من فهمك

1. 4F
2. $-10\,\mu C$
3. طرديًّا مع طوله وعكسيًّا مع مساحة مقطعه
4. قياس مقدار الشحنة أو الكشف عنها
5. 50 J
6. يتناسب طرديًّا مع فرق الجهد الموجود عبر الدائرة وعكسيًّا مع المقاومة المكافئة الدائرة
7. 10 A

تحقق من معلوماتك

1. **(أ)** تنقص قوة التجاذب إلى الربع أي تصبح $F' = \frac{F}{4}$

   (ب) موجبة الشحنة
2. متساويتان في المقدار ومختلفان في النوع
3. **(أ)** كلاهما يتبع قانون التربيع العكسي

   (ب) يعتمد قانون كولوم على مقدار الشحنة بينما يعتمد قانون الجذب العام على مقدار الكتلة.
4. متساوية
5. **(أ)** سالب

   (ب) موجب
6. لا تفنى ولا تُستحدَث، ولكن تنتقل من مادّة إلى أخرى
7. **(أ)** دائرة التوالي: يتوقف سريان التيّار في الدائرة وتنطفئ المصابيح الأخرى

   (ب) دائرة التوازي: تعمل باقي المصابيح
8. لا تتغيّر شدّة التيّار في المصابيح الأخرى إذا ما كانوا موصّلين على التوازي، أمّا إذا كانوا على التوالي فإنّ شدّة التيّار تساوي صفر في الدائرة.
9. فرق الجهد $V = \frac{P}{I} = \frac{8.5}{1.7} = 5(V)$
10. عدد الإلكترونات $= \frac{\text{الشحنة الكلّية}}{\text{شحنة الإلكترون}}$

    $= 6.25 \times 10^{18}$ إلكترون
11. **(أ)** شدّة التيّار: $I = \frac{P}{V}$

    $I = \frac{1500}{120} = 12.5(A)$

    (ب) الطاقة (E) = ؟

    $E = Pt = 1500 \times 180 = 270000(J)$

    (ج) الطاقة بالكيلوواط − ساعة = ؟

    $E = P \times t = 1.5 \times \frac{180}{3600} = 0.075(Kwh)$
12. **(أ)** مقدار الشحنة $Q = It$

    $Q = 50 \times 2 = 100(C)$

    (ب) عدد الألكترونات N

    $N = \frac{Q}{e} = \frac{100}{1.6 \times 10^{-19}} = 6.25 \times 10^{18}(e)$

أسئلة مراجعة الوحدة 5

تحقق من فهمك

ضع علامة (✓) في المربّع الواقع أمام العبارة الصحيحة، وعلامة (✗) في المربّع الواقع أمام العبارة غير الصحيحة 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 5C بين نقطتين يُساوي فرق الجهد بينهما 10V هي:

   ☐ 0.5 J ☐ 2 J ☐ 5 J ☐ 50 J

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

   ☐ 0.01A ☐ 0.1A ☐ 1 A ☐ 10 A

13. **(أ)** أكبر مقاومة هي عند وصلها على التوالي فتكون المقاومة المكافئة: $R_{eq} = 30(\Omega)$

(ب) أصغر مقاومة هي عندما توصل على التوازي وتكون المقاومة المكافئة:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{3}{10} \Rightarrow R_{eq} = \frac{10}{3}(\Omega)$$

14. **(أ)** فرق الجهد على كل مصباح $= \frac{\text{فرق الجهد الكلي}}{\text{عدد المصابيح}}$

$$V = \frac{120}{50} = 2.4(V)$$

(ب) $R = \frac{V}{I} = \frac{2.4}{0.01} = 240(\Omega)$

15. الكلفة = القدرة × الزمن × سعر الكيلوواط–الساعة

$$= \frac{100}{1000} \times 7 \times 24 \times 2 = 33.6$$ فلسًا.

تحقق من مهاراتك

1. **(أ)** بعد ملامسة الكرة (B) الكرة (A) تكون شحنة كل منهما:

$$q'_A = q'_B = \frac{2}{2} = 1(\mu c)$$

بعد ملامسة الكرة (B) الكرة (C) تصبح شحنة كل منهما:

$$q'_C = q''_B = \frac{3}{2} = 1.5(\mu c)$$

بالتالي تصبح الشحنات على الشكل التالي:

$q_A = 1(\mu c)$ $q_B = 1.5(\mu c)$ $q_C = 1.5(\mu c)$

(ب) $$\| \vec{F}_{A/B} \| = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-6} \times 1.5 \times 10^{-6}}{(0.5)^2}$$
$$= 0.054(N)$$

باتّجاه اليمين

$$\| \vec{F}_{C/B} \| = 9 \times 10^9 \times \frac{1.5 \times 10^{-6} \times 1.5 \times 10^{-6}}{(0.5)^2}$$
$$= 0.081(N)$$

باتّجاه اليسار

$$\vec{F}_B = \vec{F}_{A/B} + \vec{F}_{C/B} \; ; F_B = F_{C/B} - F_{A/B}$$
$$= 0.081 - 0.054$$
$$= 0.027(N)$$

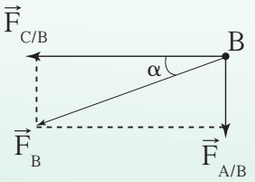
يكون اتّجاه القوّة الإجمالية إلى اليسار.

2. يتنافر كلّ من A وB بقوّة مقدارها:

$$F_{A/B} = 9 \times 10^9 \times \frac{q_A q_B}{d^2}$$
$$= 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{(0.1)^2} = 7.2(N)$$

يتنافر كل من C وB بقوة مقدارها

$$F_{B/C} = 9 \times 10^9 \times \frac{q_C q_B}{d^2}$$
$$= 9 \times 10^9 \frac{6 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{(0.1)^2} = 21.6(N)$$



$$\vec{F}_B = \vec{F}_{A/B} + \vec{F}_{C/B}$$

$$F_B = \sqrt{F^2_{A/B} + F^2_{C/B}}$$

$$F_B = \sqrt{(7.2)^2 + (21.6)^2} = 22.76(N)$$

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 بطّارية V(6). إذا احترق أحدها، ماذا يحدث لشدّة التيّار في المصباحين الآخرين؟ هل يحدث الشيء نفسه لو كانت متّصلة على التوالي؟
9. عُثر على جهاز كهربائي قديم بجوار مبنى مهجور عليه علامة تجارية تُوضّح أنّه يستخدم قدرة W(8.5) وتيّار A(1.7). 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 1.6×10^{-19} C، فكم عدد الإلكترونات التي يكون مجموع شحناتها C(1)؟
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 A(50) 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 Ω(10). 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 V(120):
    (أ) ما مقدار فرق الجهد بين طرفي كلّ مصباح؟
    (ب) ما مقاومة كلّ مصباح إذا كان التيّار المارّ خلالها A(0.01)؟
15. ما تكاليف استهلاك مصباح كهربائي قدرته W(100) يُضاء باستمرار لمدّة أسبوع، إذا كان سعر (الكيلوواط – ساعة) يُساوي فلسين؟

أسئلة مراجعة الوحدة 5

$$\tan\alpha = \frac{F_{A/B}}{F_{C/B}} = \frac{7.2}{21.6} = 0.33$$
$$\alpha = 43.18$$

كما هو موضّح في الشكل

3. $V = 220(V) \quad I = 3(A)$

(أ) $Q = It = 3 \times 60 = 180(C)$

(ب) $E = QV = 180 \times 220 = 39600(J)$

(جـ) $R = \frac{V}{I} = \frac{220}{3} = 73.3(\Omega)$

$R = \rho \frac{L}{A} \Rightarrow \quad A = \rho \frac{L}{R} = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 0.2}{73.3}$
$= 4.36 \times 10^{-11}(m^2)$

(د) $P = \frac{E}{t} = \frac{39600}{60} = 660(W)$

أو

$P = VI = 220 \times 3 = 660(W)$

4. **(أ)** R_2 و R_3 موصولتان على التوازي

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{30} + \frac{1}{30} = \frac{2}{30}$$
$$\Rightarrow R' = 15(\Omega)$$

(ب) $R_{eq} = ?$

$R_{eq} = R' + R_1 = 15 + 5 = 20(\Omega)$

(جـ) $I = \frac{V}{R_{eq}}$

$I = \frac{10}{20} = 0.5(A)$

(د) $V_{AN} = 0.5 \times 15 = 7.5(V)$

$I_1 = \frac{7.5}{30} = 0.25(A)$

$I_2 = \frac{7.5}{30} = 0.25(A)$

(هـ) $V_{PA} = V_{PN} - V_{AN}$

$\Rightarrow V_{PA} = 2.5(V)$

(و) $E = I^2 R_1 t = (0.5)^2 \times 5 \times 3600 = 4500J$

5. **(أ)** $R1 /\!/ R2 \Rightarrow \frac{1}{R'} = \frac{1}{6} + \frac{1}{2} = \frac{4}{6}$

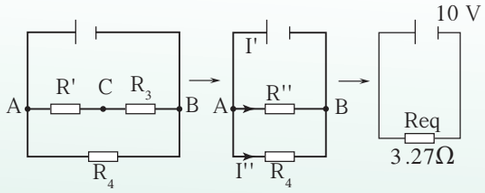
$\Rightarrow R' = 1.5(\Omega)$

R' و R_3 موصولتان على التوالي

$R'' = R' + R_3 = 1.5 + 3 = 4.5(\Omega)$

$R'' /\!/ R_4 \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{4.5} + \frac{1}{12} = 0.305$

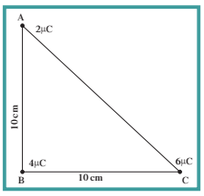
$R_{eq} = 3.27(\Omega)$



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 A(3) يعمل على فرق جهد V(220). 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 cm(20) 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_2 و R_3.

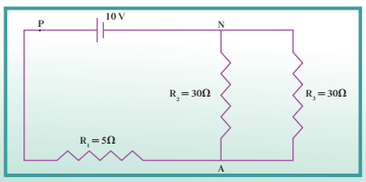
(ب) المقاومة المكافئة للدائرة الكاملة.

(جـ) شدّة التيّار المارّ خلال البطّارية.

(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.



$$I' = \frac{V_{AB}}{R''} = \frac{10}{4.5} = 2.22(A)$$ **(ب)**

$$I'' = \frac{10}{12} = 0.833(A)$$

$$V_{AC} = I'R' = 2.22 \times 1.5 = 3.33(V)$$

$$I_1 = \frac{V_{AC}}{R_1} = \frac{3.33}{6} = 0.555(A)$$

$$I_2 = \frac{V_{AC}}{R_2} = \frac{3.33}{2} = 1.665(A)$$

$$V_{R3} = V_{CB} = 10 - 3.33 = 6.67(V)$$ **(جـ)**

أو يمكن احتسابها انطلاقًا من القاعدة التالية:

$$V_{CB} = I'R_3 = 2.22 \times 3 = 6.6(V)$$

$$W = E = I_2^2 R_2 t$$ **(د)**

$$= (665.1)^2(2)(60 \times 10)$$

$$= 3226.67(J)$$

مهارة التواصل

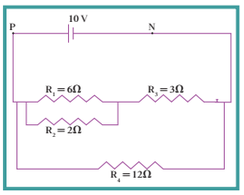
يجب على الطلّاب تبادل الملصقات التي صمّموها، ومناقشة أرائهم وما توصّلوا إليه عن أهمّية الكهرباء كمصدر من مصادر الطاقة المتعدّدة. كما يجب أن يشدّدوا في ملصقاتهم على أهمّية ترشيد استهلاك الكهرباء وكيفية تجنّب مخاطرها المحتملة.

نشاط بحثي

قسّم الطلّاب إلى مجموعات ووجّههم لتعرّف الآثار السلبية للكهرباء الساكنة. يجب على الطلّاب أن يظهروا خطر الكهرباء الساكنة في بعض الصناعات، مثل الصناعات الإلكترونية الدقيقة، وأن يوضّحوا خطر شرارتها على بعض النشاطات اليومية المتعلّقة بالموادّ القابلة للاشتعال.

دع الطلّاب يناقشون في ما بينهم، وتحت إشرافك، ما توصّلوا إليه من طرق وحلول للتحكّم بأخطار الكهرباء الساكنة.

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_3.

(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

ملاحظات

تطرح سلسلة العلوم مضمونًا تربويًا منوَّعًا يتناسب مع جميع مستويات التعلُّم لدى الطلاّب.

يوفّر كتاب العلوم الكثير من فرص التعليم والتعلُّم العلمي والتجارب المعمليّة والأنشطة التي تعزز محتوى الكتاب.

يتضمّن هذا الكتاب ايضًا نماذج الإختبارات لتقييم استيعاب الطلاّب والتأكد من تحقيقهم للأهداف واعدادهم للاختبارات الدولية.

تتكوّن السلسلة من:

- كتاب الطالب
- كتاب المعلّم
- كرّاسة التطبيقات
- كرّاسة التطبيقات مع الإجابات

الصف العاشر 10

كتاب المعلّم

الجزء الثاني

ISBN 978-614-406-327-9

PEARSON
Scott Foresman

مركز البحوث التربوية

الفيزياء