سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

رؤية عمان 2040
نتقدم بثقة
Moving Forward with Confidence

الفيزياء

الصف الثاني عشر

دليل المعلّم

الفصل الدراسي الأول

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

الطبعة التجريبية
1445 هـ - 2023 م

سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

الفيزياء

الصف الثاني عشر

دليل المعلّم

الفصل الدراسي الأول

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

الطبعة التجريبية 1445 هـ - 2023 م

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

مطبعة جامعة كامبريدج، الرمز البريدي CB2 8BS، المملكة المتحدة.

تشكل مطبعة جامعة كامبريدج جزءًا من الجامعة.
وللمطبعة دور في تعزيز رسالة الجامعة من خلال نشر المعرفة، سعيًا وراء
تحقيق التعليم والتعلم وتوفير أدوات البحث على أعلى مستويات التميز العالمية.

© مطبعة جامعة كامبريدج ووزارة التربية والتعليم في سلطنة عُمان.

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع للاستثناء التشريعي
المسموح به قانونًا ولأحكام التراخيص ذات الصلة.
لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول على الإذن المكتوب من
مطبعة جامعة كامبريدج ومن وزارة التربية والتعليم في سلطنة عُمان.

الطبعة التجريبية ٢٠٢٣ م، طُبعت في سلطنة عُمان

هذه نسخة تمَّت مواءمتها من دليل المعلم – الفيزياء للصف الثاني عشر – من سلسلة كامبريدج للفيزياء
لمستوى الدبلوم العام والمستوى المتقدم AS & A Level للمؤلفين دايفيد سانغ، وغراهام جونز، وغوريندر تشادا،
وريتشارد وودسيد.

تمت مواءمة هذا الكتاب بناءً على العقد الموقع بين وزارة التربية والتعليم ومطبعة
جامعة كامبريدج.
لا تتحمل مطبعة جامعة كامبريدج المسؤولية تجاه المواقع الإلكترونية
المستخدمة في هذا الكتاب أو دقّتها، ولا تؤكد أن المحتوى الوارد على تلك المواقع دقيق
وملائم، أو أنه سيبقى كذلك.

تمت مواءمة الكتاب

بموجب القرار الوزاري رقم ٢٠٢٣/٣٦ واللجان المنبثقة عنه

محفوظة جميع الحقوق

جميع حقوق الطبع والتأليف والنشر محفوظة لوزارة التربية والتعليم

**ولا يجوز طبع الكتاب أو تصويره أو إعادة نسخه كاملًا أو مجزأً أو ترجمته
أو تخزينه في نطاق استعادة المعلومات بهدف تجاري بأي شكل من الأشكال
إلّا بإذن كتابي مسبق من الوزارة، وفي حال الاقتباس القصير يجب ذكر المصدر.**

المغفور له

السلطان قابوس بن سعيد

-طيّب اللّه ثراه-

حضرة صاحب الجلالة

السلطان هيثم بن طارق المعظم

-حفظه اللّه ورعاه-

سلطنـــــة عُمـــــان

(المحافظات والولايات)

النَّشيدُ الْوَطَنِيُّ

يا رَبَّنا احْفَظْ لنا جَلالَةَ السُّلْطان
وَالشَّعْبَ في الأَوْطان بِالْعِزِّ والأَمان
وَلْيَدُمْ مُؤَيَّدًا عاهِلاً مُمَجَّدًا
بِالنُّفوسِ يُفْتَدى

يا عُمانُ نَحْنُ مِنْ عَهْدِ النَّبي أَوْفِياءُ مِنْ كِرامِ الْعَرَبِ
فارْتَقي هامَ السَّماء وَامْلَئي الْكَوْنَ ضياء
وَاسْعَدي وَانْعَمي بِالرَّخاء

تقديم

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على خير المرسلين، سيّدنا مُحمَّد، وعلى آله وصحبه أجمعين.

وبعد:

فقد حرصت وزارة التربية والتعليم على تطوير المنظومة التعليمية في جوانبها ومجالاتها المختلفة كافة؛ لتُلبّي مُتطلّبات المجتمع الحالية، وتطلُّعاته المستقبلية، ولتتواكب مع المُستجدّات العالمية في اقتصاد المعرفة، والعلوم الحياتية المختلفة؛ بما يؤدّي إلى تمكين المخرجات التعليمية من المشاركة في مجالات التنمية الشاملة للسلطنة.

وقد حظيت المناهج الدراسية، باعتبارها مكوِّنًا أساسيًا من مكوِّنات المنظومة التعليمية، بمراجعة مستمرة وتطوير شامل في نواحيها المختلفة؛ بدءًا من المقرّرات الدراسية، وطرائق التدريس، وأساليب التقويم وغيرها؛ وذلك لتتناسب مع الرؤية المستقبلية للتعليم في السلطنة، ولتتوافق مع فلسفته وأهدافه.

وقد أولت الوزارة مجال تدريس العلوم والرياضيات اهتمامًا كبيرًا يتلاءم مع مستجدات التطور العلمي والتكنولوجي والمعرفي. ومن هذا المنطلق اتَّجهت إلى الاستفادة من الخبرات الدولية؛ اتساقًا مع التطوُّر المتسارع في هذا المجال، من خلال تبنّي مشروع السلاسل العالمية في تدريس هاتَين المادّتَين وفق المعايير الدولية؛ من أجل تنمية مهارات البحث والتقصّي والاستنتاج لدى الطلبة، وتعميق فهمهم للظواهر العلمية المختلفة، وتطوير قدراتهم التنافُسية في المسابقات العلمية والمعرفية، وتحقيق نتائج أفضل في الدراسات الدولية.

إن هذا الكتاب، بما يحويه من معارف ومهارات وقيَم واتجاهات، جاء مُحقِّقًا لأهداف التعليم في السلطنة، وموائمًا للبيئة العمانية، والخصوصية الثقافية للبلد، بما يتضمَّنه من أنشطة وصور ورسوم. وهو أحد مصادر المعرفة الداعمة لتعلُّم الطالب، بالإضافة إلى غيره من المصادر المختلفة.

نتمنّى لأبنائنا الطلبة النجاح، ولزملائنا المعلّمين التوفيق فيما يبذلونه من جهود مُخلِصة، لتحقيق أهداف الرسالة التربوية السامية؛ خدمة لهذا الوطن العزيز، تحت ظل القيادة الحكيمة لمولانا حضرة صاحب الجلالة السلطان هيثم بن طارق المعظّم، حفظه الله ورعاه.

والله ولي التوفيق

د. مديحة بنت أحمد الشيبانية

وزيرة التربية والتعليم

المحتويات

المقدمة xiii
كيف تستخدم هذه السلسلة xiv
كيف تستخدم هذا الدليل xvi
طرائق للتدريس والتعلم xvii
الأمان والسلامة في مختبر الفيزياء xviii
استراتيجيات التدريس xix
الأهداف التعليمية xxiii

الوحدة الأولى: مجالات الجاذبية

نظرة عامة ٢٧
مخطط التدريس ٢٨
الموضوع ١-١: تمثيل مجال الجاذبية ٢٨
الموضوع ١-٢: شدة مجال الجاذبية g ٣١
الموضوع ١-٣: الطاقة وجهد الجاذبية ٣٣
الموضوع ١-٤: الدوران تحت تأثير الجاذبية ٣٦
إجابات كتاب الطالب ٣٩
إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة ٤٤

الوحدة الثانية: المجالات الكهربائية وقانون كولوم

نظرة عامة ٤٩
مخطط التدريس ٥٠
الموضوعات ٢- ١: المجال الكهربائي، ٢- ٢: شدة المجال الكهربائي، ٢- ٣: القوة المؤثرة على شحنة كهربائية ٥٠
الموضوع ٢-٤: قانون كولوم والمجالات الشعاعية ٥٤
الموضوع ٢-٥: الجهد وطاقة الوضع الكهربائية ٥٧
إجابات كتاب الطالب ٦٣
إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة ٦٩

الوحدة الثالثة: الدوائر الكهربائية

نظرة عامة ٧٤

مخطط التدريس ٧٥
الموضوعان ٣-١: التيار الكهربائي و ٣-٢: فرق الجهد الكهربائي ٧٥
الموضوع ٣-٣: المقاومة النوعية ٨٠
الموضوع ٣-٤: قانونا كيرشوف ٨٥
الموضوع ٣-٥: الدوائر العملية ٨٩
إجابات كتاب الطالب ٩٤
إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة ١٠٣

الوحدة الرابعة: المكثفات

نظرة عامة ١١٦
مخطط التدريس ١١٧
الموضوعان ٤-١: التعرف على المكثفات و ٤-٢: الطاقة المخزنة في مكثف ١١٧
الموضوعات ٤-٣: توصيل المكثفات على التوازي و ٤-٤: توصيل المكثفات على التوالي
و ٤-٥: شبكة المكثفات ١٢٢
الموضوع ٤-٦: شحن المكثفات وتفريغها ١٢٤
إجابات كتاب الطالب ١٣٠
إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة ١٣٦

الوحدة الخامسة: المغناطيسية والحث الكهرومغناطيسي

نظرة عامة ١٤١
مخطط التدريس ١٤٢
الموضوعان ٥-١: توليد المجالات المغناطيسية وتمثيلها و ٥-٢: القوة المغناطيسية ١٤٢
الموضوعان ٥-٣: كثافة الفيض المغناطيسي و ٥-٤: تقاطع التيارات الكهربائية
مع المجالات المغناطيسية ١٤٦
الموضوع ٥-٥: الحث الكهرومغناطيسي ١٥١
الموضوعات ٥-٦: قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي و ٥-٧: قانون لنز
و ٥-٨: تطبيقات الحث الكهرومغناطيسي ١٥٤
إجابات كتاب الطالب ١٦١
إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة ١٦٩

إجابات ملحق كتاب التجارب العملية والأنشطة ١٧٦

المقدمة

مرحبًا بك في منهج الفيزياء للصف الثاني عشر.

يأتي دليل المعلم لكتاب الفيزياء للصف الثاني عشر هذا ليواكب أفضل الممارسات في علم أصول التدريس. إذ يتضمن «كتاب الطالب» ميزات مثل أسئلة وأنشطة «قبل أن تبدأ بدراسة الوحدة»، لتذكير الطلبة بما تعلموه سابقًا، ومساعدة المعلم في تقييم التعلم القبلي لديهم. ويتضمّن معادلات أساسية تم إبرازها في كتاب الطالب لمساعدة الطلبة على إيجاد المعادلات المهمة لكل موضوع بسهولة، و«قوائم التقويم الذاتي» في نهاية كل وحدة لمساعدة الطلبة على تقييم مدى استفادتهم من دراسة الوحدة، وتطوير تعلمهم.

تم إعداد هذا الدليل ليكون مفيدًا ولمساعدتك ما أمكن في إيجاد احتياجاتك اليومية في التدريس، من خلال الأنشطة والتقويم والتكامل مع المناهج، والمفاهيم الخاطئة وسوء الفهم في كل موضوع، والدعم بالاستقصاءات العمليّة، آملين أن يلهمك ويدعمك، ويختصر وقتًا أنت في أمس الحاجة إليه.

نرجو أن تستمتع بهذا الدليل، وأن يوفر لك موردًا تنهل منه ما يساعدك على الاستمرار في إلهام الطلبة وتشويقهم إلى دراسة هذه الموضوعات الحيوية. ولا تتردد في التواصل معنا إذا كان لديك أية أسئلة، لأن ملاحظاتك واقتراحاتك ستكون بالغة الأهمية في مساعدتنا على تطوير الدليل بما يفيد المعلمين والطلبة على حد سواء.

مقدمة إلى الاستقصاءات العملية

الاستقصاء العملي جزء أساسي لأي كتاب فيزياء.

لقد أختيرت الاستقصاءات العملية بدقّة في هذا الكتاب بهدف:

- تحقيق متطلبات جميع الأهداف التعليمية التي تستلزم من الطلبة إجراء استقصاءات عملية معيّنة.
- توفير توجيه وممارسة متدرّجَين في المهارات العملية.

يمكن تنفيذ العديد من الاستقصاءات من دون معرفة المادة النظريّة ذات الصلة، لكن يؤمل أن تعزز بعض الاستقصاءات من تدريسك لهذه المادة، وتساعد في بناء الثقة لدى الطلبة وفي تطوير قدراتهم.

تتضمن كل وحدة أكثر من استقصاء، بما يمكّنك من اختيار ما يلائم الأدوات والمواد المتوافرة والوقت المتاح. وقد تم اختيار الأجهزة المطلوبة بشكل عام ممّا هو متوافر، وقد أوصى بها المنهاج كونها أجهزة وأدوات تستخدم كثيرًا.

يمكن للطلبة من خلال الاستقصاء العملي، ومواجهة الصعوبات والمشكلات ومراعاة احتياطات الأمان والسلامة، أن يكونوا أكثر ثقة بأنفسهم وأكثر قدرة على بذل قصارى جهدهم في اختباراتهم. من الناحية المثالية، يجب أن يعمل الطلبة بمفردهم، كما لو أنهم يقدمون اختباراتهم، إنما هذا لا يمنعهم من أن يعملوا في ثنائيات أو مجموعات ليتوافر لهم الدعم والتحفيز المتبادلَين. فالهدف الأساسي يتمثل في أخذ الطلبة

للقراءات وتحليلها بأنفسهم؛ أمّا في معظم الاستقصاءات، حيث تم تحليل البيانات في الوحدات اللاحقة، فتتوفر عيّنة من البيانات تمكّن الطلبة من إجراء بعض الاستقصاءات، وتعزز قدرتهم على تحليلها.

لقد حان الوقت للاستقصاء العملي، على الرغم من أنه يتطلب وقتًا. فهو يمكّن الطلبة من اكتساب مهارات عملية، ويمنحهم الثقة في تطبيق ما درسوه من مادة نظرية، بما يعزز من فهمهم لها وتذكرها. وتتمثل خبرات التعلم المهمة والمكتسبة من الاستقصاء العملي في المهارات التي يمكن استخدامها وتطويرها، كعمليات التخطيط والتنفيذ والملاحظة والتسجيل والتحليل، والتي يحققها جميعها «كتاب التجارب العمليّة والأنشطة». لم تصمم الاستقصاءات لتكون مجموعة من أوراق اختبار عملي صُوَرية، إذ سيكتسب الطلبة عند تنفيذها المهارات التي تمكنهم من أن يكونوا أكثر ثقة عند أداء الاختبار العملي.

قسمت الاستقصاءات العملية في هذا الدليل إلى أقسام مختلفة لتساعدك في التخطيط والتنفيذ.

كيف تستخدم هذه السلسلة

تقدّم هذه المكوّنات (أو المصادر) الدعم للطلبة في الصف الثاني عشر في سلطنة عمان لتعلم مادة الفيزياء واستيعابها، حيث تعمل كتب هذه السلسلة جميعها معًا لمساعدة الطلبة على تطوير المعرفة والمهارات العلمية اللازمة لهذه المادة. كما تقدّم الدعم للمعلمين لإيصال هذه المعارف للطلبة وتمكينهم من مهارات الاستقصاء العلمي.

يقدّم «كتاب الطالب» دعمًا شاملًا لمنهج الفيزياء للصف الثاني عشر في سلطنة عمان، ويقدّم شرحًا للحقائق والمفاهيم والتقنيات العلمية بوضوح، كما يستخدم أمثلة من العالم الواقعي للمبادئ العلمية. والأسئلة التي تتضمنها كل وحدة تساعد على تطوير فهم الطلبة للمحتوى، في حين أن الأسئلة الموجودة في نهاية كل وحدة تحقق لهم مزيدًا من التطبيقات العلمية الأساسية.

يحتوي «كتاب التجارب العملية والأنشطة» على أنشطة وأسئلة نهاية الوحدة، والتي تمّ اختيارها بعناية، بهدف مساعدة الطلبة على تطوير المهارات المختلفة التي يحتاجون إليها أثناء تقدمهم في دراسة كتاب الفيزياء. كما تساعد هذه الأسئلة الطلبة على تطوير فهمهم لمعنى الأفعال الإجرائية المستخدمة في الأسئلة، إضافة إلى دعمهم في الإجابة عن الأسئلة بشكل مناسب.

كما يحقّق هذا الكتاب للطلبة الدعم الكامل الذي يساعدهم على تطوير مهارات الاستقصاء العملية الأساسية. وكذلك مهارات تخطيط الاستقصاءات، واختيار الجهاز المناسب وكيفية التعامل معه، وطرح الفرضيات، وتدوين النتائج وعرضها، وتحليل البيانات وتقييمها.

يدعم دليل المعلم «كتاب الطالب» و «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، ويعزز الأسئلة والمهارات العملية الموجودة فيهما. ويتضمّن هذا الدليل أفكارًا تفصيلية للتدريس وإجابات عن كل سؤال ونشاط وارد في «كتاب الطالب» وفي «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، فضلًا عن الإرشادات التعليمية لكل موضوع، بما في ذلك خطة التدريس المقترحة، وأفكار للتعلم النشط والتقويم التكويني، والمصادر المرتبطة بالموضوع، والأنشطة التمهيدية، والتعليم المتمايز (تفريد التعليم) والمفاهيم الخاطئة وسوء الفهم. كما يتضمن أيضًا دعمًا مفصلًا لإجراء الاستقصاءات العملية وتنفيذها في «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، بما في ذلك فقرات «مهم» لجعل الأمور تسير بشكل جيد، إضافة إلى مجموعة من عينات النتائج التي يمكن استخدامها إذا لم يتمكن الطلبة من إجراء التجربة، أو أخفقوا في جمع النتائج النموذجية.

كيف تستخدم هذا الدليل

يحتوي دليل المعلم هذا على إرشادات عامة وتعليمات تساعدك في عمليّة تدريس محتوى هذا الكتاب.

توجد **أفكار للتدريس** لكل وحدة من وحدات «كتاب الطالب». وتحتوي كل مجموعة من أفكار التدريس على الميزات الآتية لتساعدك في كيفية تدريس الوحدة.

تستهلّ كل وحدة بفقرة **نظرة عامة**، تقدم مخططًا موجزًا للمحتوى والمهارات العمليّة والفرص، لتغطي أهداف التقويم التي يعرضها الموضوع. كما تتوافر روابط مع الموضوعات ذات الصلة في موضوعات أخرى من الوحدة.

يتبع النظرة العامة **مخطط التدريس**، والتي تلخص الموضوعات الواردة في الوحدة، بما في ذلك عدد الحصص، والمصادر في «كتاب الطالب» و «كتاب التجارب العملية والأنشطة» التي يمكن استخدامها لتدريس الوحدة.

توجد غالبًا **مفاهيم خاطئة وسوء فهم** مرتبطة بموضوعات تعلّمية معيّنة. وهي ترد مع اقتراحات لاستنباط أدلة عليها مع الطلبة واقتراحات لتفنيدها.

يحتوي الدليل أيضًا على مجموعة مختارة من **أنشطة تمهيدية**، **والأنشطة الرئيسية**، **وتلخيص الأفكار والتأمّل فيها**، لكل موضوع. يمكنك اختيار ما يناسبك منها ومواءمتها بما يناسب احتياجات الطلبة والواقع. تشمل الأنشطة اقتراحات حول كيفيّة تمايزها حسب مستويات التحصيل لدى الطلبة، واستخدامها في توفير فرص للتقويم والتفكير.

ترد فقرة **سؤال مفصلي** لمساعدتك على تقييم مدى استعداد الطلبة للانتقال إلى المرحلة التالية من التعلم، تم تصميم السؤال المفصلي لطرحه على الطلبة أثناء الحصة، لتقرر في ضوء إجابات الطلبة على هذا السؤال ما إذا كانوا قد فهموا المفهوم أو النظرية جيدًا أم يحتاجون إلى مزيد من الوقت قبل متابعة شرح الموضوع.

توجد أفكار **للتعليم المتمايز (تفريد التعليم)** في تدريس كل موضوع، مع أفكار وأنشطة «التوسّع والتحدي» لتوسّع فرص التعلم، وأنشطة «الدعم»، وأفكار وتعديلات للطلبة الذين يحتاجون إلى ممارسة إضافيّة أو مساعدة.

يوفر **التكامل مع المناهج** اقتراحات للربط بين مجالات مختلفة في المنهج.

تتوافر **إجابات** لأسئلة «كتاب الطالب» و «كتاب التجارب العمليّة والأنشطة» في نهاية كل وحدة من دليل المعلم هذا.

طرائق للتدريس والتعلم

في ما يلي موجز لطرائق التدريس الرئيسيّة التي تشكل جزءًا أساسيًا من كتاب الفيزياء، وتعريفها واستخدامها في دليل المعلم هذا، وسيتم لاحقًا شرح هذه الطرائق بتوسع. توفر أفكار الأنشطة الواردة في كتاب الطالب ودليل المعلم إمكانيّة الاستفادة من هذه الطرائق وتضمينها في مخطط الدرس.

التعلم النشط

التعلم النشط ممارسة تربويّة تركز على الطالب، حيث تشدّد على كيفيّة تعلمه وليس على ما يتعلمه فقط. يجب حثّ الطلبة على «التفكير» بدل تلقي المعلومات بشكل سلبي، وبالتالي فإن التعلم النشط يحفز الطلبة على تحمل مسؤوليّة تعلمهم، ويوفر الدعم لهم ليكونوا متعلمين مستقلين وواثقين بأنفسهم داخل المدرسة وخارجها.

التقويم من أجل التعلم

التقويم من أجل التعلم نهج تعلمي يوفر تغذية راجعة يمكن الاستفادة منها في تحسين تعلم الطلبة، ومن خلاله يصبح الطلبة أكثر اندماجًا في عمليّة التعلم وبالتالي يكتسبون الثقة فيما يتوقع منهم تعلمه وبأي معيار، وهو يفيد المعلم في تكوين صورة عن مستوى الطلبة في فهم مصطلح أو موضوع معيّن؛ الأمر الذي يساعده في تحديد الدعم الذي سيقدمه لهم.

التفكير ما وراء المعرفة (توسيع التفكير)

يصف التفكير ما وراء المعرفة أو توسيع التفكير ما يقوم به الطلبة من تخطيط ومراقبة وتغيير ذا صلة بأنماط سلوك تعلمهم، بما يساعدهم على التفكير في تعلمهم بشكل أكثر وضوحًا، والتأكد من قدرتهم على تحقيق هدف التعلم الذي حدّدوه بأنفسهم أو حدّده المعلم لهم.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

يتطلع المعلم إلى توفير أقصى فائدة ممكنة للطلبة وتنظيم تعلمهم، بحيث يعيش كل منهم تجربة تعلم تحقق المشاركة والنجاح. يجب المزج بين ما ندرّسه وكيف ندرّسه، وبين ما يحتاج إليه الطالب وما هو قادر على تعلمه، ولا يكفي التأكد من حصول الطالب على التعلم المستهدف، بل التأكد أيضًا من تلقي كل طالب للدعم والاهتمام المناسبَين له بما يعطي معنى للتعلم.

مهارات للحياة

كيف نُعدّ الطلبة للنجاح في عالم سريع التغيّر، وللتعاون مع الآخرين من جميع أنحاء العالم، وفي استخدام مهارات تفكير متطورة للتعامل مع تحديات أكثر تعقيدًا؟ يساعد هذا الدليل المعلّمين على فهم كيفيّة دمج هذه الطرائق المرتبطة بالمهارات الحياتيّة وتطوير القدرات في طرائق تدريسهم، وترد هذه المهارات في الدليل في ستة مجالات متخصصة يمكن دمجها في عمليّة التعليم والتعلم، وبما يناسب كل مرحلة فيها.

الأمان والسلامة في مختبر الفيزياء

- العمل بأمان في مختبر الفيزياء جانب أساسي من جوانب التعلّم الذي يتميّز به العمل التجريبي.
- من واجب المعلم في المدرسة أن يوضح للطلبة ما هو متوقّع منهم عندما يعملون في المختبر.
- العديد من احتياطات الأمان والسلامة في مختبر الفيزياء تُعنى بمنع حدوث ضرر يلحق بالطالب أو بالأجهزة والأدوات.

استخدام السوائل في العمل	ضع كل الأدوات في حوض بحيث إذا انسكب شيء منها لا يؤثّر على أوراق العمل. وإذا كنت تستخدم الماء الساخن أو المغلي؛ فاستخدم ماسكًا لحمل الأوعية مثل الكؤوس.
استخدام ميزان الحرارة الزجاجيّ المُعبّأ بسائل	ضع ميزان الحرارة بشكل آمن على الطاولة فور الانتهاء من استخدامه، وتأكّد من موقعه بحيث لا يتدحرج، وإذا تعرّض للكسر؛ فأبلغ معلّمك فورًا، ولا تلمس الزجاج المكسور أو السائل المتسرّب منه.
تعليق موادّ على أسلاك رفيعة	ارتدِ نظّارات واقية تحسّبًا لحدوث انقطاع في السلك، واحذر من سقوط أثقال في حالِ انقطاع السلك؛ وضَع وسادة أو ما شابه على الأرض.
توصيل مكوّنات كهربائية	لا تتجاوز فرق الجهد الكهربائي الموصى به للمكوِّن الكهربائي، على سبيل المثال: فرق الجهد الكهربائي لمصباح ما هو (6 V).
استخدام الحوامل المعرّضة للانقلاب	إذا كان الحامل متحرّكًا أو معرّضًا لخطر الانقلاب، فثبّته على الطاولة بإحكام.
استخدام الأجسام القابلة للتدحرُج كالأسطوانات	ضع شيئًا مناسبًا مثل صندوق لجمع الأجسام القابلة للتدحرُج، بحيث لا تسقط على الأرضية أو تؤثّر على تجربة شخص آخر.
الخلايا الجافة 1.5 V	لا توصل قطبَي الخلية أو البطارية أحدهما بالآخر بسلك كهربائي.

الجدول ١ احتياطات الأمان والسلامة في مختبر الفيزياء

استراتيجيات التدريس

تصف هذه المقدمة التمهيدية الموجزة بعض استراتيجيات التدريس المفيدة وطرائقها في تطوير الأنشطة، والتي عُرض العديد منها في دليل المعلم هذا، وهي ترتبط بالتقويم والعمل ضمن مجموعات، واستراتيجيات مثل الخرائط المفاهيمية والخرائط الذهنية وإعداد أسئلة الاختبار وأنشطة تشخيصية مثل «إشارات المرور».

التقويم

يستغرق التقويم في مواد العلوم الكثير من وقت المعلم، بما في ذلك تصحيح الواجبات، ويصعب معرفة الوقت الذي يستغرقه الطلبة في قراءة ما يكتبه المعلم على أوراق إجاباتهم من ملاحظات ذات صلة بالإجابات الخاطئة، على الرغم من أن الدلائل تشير إلى أنهم نادرًا ما يقرأونها ويكتفون بملاحظة الدرجة فقط. يتضمن «دليل المعلم» هذا طرائق مختلفة للتقويم يمكن أن توفر الوقت للمعلم وتكون أكثر فاعليّة من الطرائق المستخدمة حاليًا. قد يكون الطلبة مع بدء هذا الفصل الدراسي على دراية بطرائق التقويم المختلفة والعمل في مجموعات، فإن لم يكونوا كذلك فهذا هو الوقت المناسب في حياتهم الأكاديميّة للتّعرف على طرائق جديدة في التعلم لأنهم يتوقعون شيئًا مختلفًا.

تقييم الأقران

تقييم الأقران فاعل جدًا، ويمكن إجراؤه بطرائق مختلفة: على سبيل المثال ضمن مجموعات، على أساس تقييم الطالب لزميله، أو من خلال تقييم طلبة الصف ككل عندما تقدم المجموعة عرضًا تقديميًا.

يمكن إجراء التقويم نفسه وفقًا لسلم الدرجات المحدّد، أو باستخدام مقياس عام جدًا للمستوى المنخفض ← المرتفع. في حال سلم الدرجات يمكن للطلبة المشاركة باقتراح ما يمكن تضمينه، وتخصيص بعض الوقت لتفسير محتوى السلم. ربّما لا يتوفر وقت كاف في بعض الأحيان لوضع معايير للدرجات، لذا يمكن الطلب إلى الطلبة تقييم جزء من العمل وتحديد نقاط قوته واقتراح تحسينات عليه، فعلى سبيل المثال قد يُطلب إليهم تكوين خريطة ذهنيّة ترتبط بالمفاهيم التي تم تعلمها في الوحدة وتصفها، ويمكن تقسيم الطلبة إلى مجموعتَين تحدّد المجموعة الأولى نقاط القوة في الخريطة الذهنيّة وتقترح الأخرى التحسينات، ويمكن أيضًا استخدام أوراق الملاحظات اللاصقة لكتابة عبارات/ اقتراحات موجزة يمكن أن تلصق على الخريطة الذهنيّة من دون الإضرار بها.

التقويم الذاتي

يمكن أن يعتمد التقويم الذاتي على أنموذج الإجابة وتوزيع الدرجات، ويكون أكثر فائدة للطالب من إرشاد المعلم أو درجة يدوّنها على الورقة. عندما يضع الطالب درجة على إجابته، فإنه يقيّم مدى تقدمه منذ آخر مرة أجرى فيها تقييمًا، كما يمكنه التعرّف على مدى فهمه للموضوع، وبالطبع يمكن للمعلم التحقق من أن الطالب كان صادقًا مع نفسه ومع المعلم.

التقويم النهائي أو الختامي

التقويم النهائيّ الوارد في نهاية الوحدة يمكن أن يشرك الطلبة أيضًا في عملية التقويم، فعلى سبيل المثال يمكن توزيع أوراق الاختبار بعد تسليمها ليصحح كل طالب ورقة طالب آخر، كما يمكن توزيع أنموذج الإجابة أو عرضه على شاشة بحيث يعمد

جميع الطلبة إلى تصحيح السؤال. الطريقة الأخيرة جيدة، لأنها تمكّن المعلم من معرفة ما إذا كانت بعض الإجابات مقبولة أم لا، ويمكن أن يصحح الطلبة الأوراق من دون كشف أسمائهم بما يسمح بذكر الملاحظات.

العمل ضمن مجموعات (العمل الجماعي)

يمكن أن يكون للعمل ضمن مجموعات قيمة كبيرة في مناقشة الموضوعات المختلفة، إذ في مجموعات الطلبة ذوي القدرات المتفاوته، تمكّن الطلبة ذوي التحصيل الدراسي المرتفع من توضيح ما يفهمونه للطلبة ذوي التحصيل الدراسي المنخفض. من أهم جوانب العمل ضمن مجموعات تشجيع الطلبة على شرح ما يفهمونه، وتعلم الأسباب الكامنة وراء فهمهم، إضافة إلى قدرتهم على إدراك متى لا يفهمون.

التعاون في الاستقصاء العملي ضروري لبعض التجارب. توجد عدة فرص عمليّة في «دليل المعلم»، والكثير منها يمكن تحسينها عند تجربتها إذا سبقها مناقشة لما يجب عمله، أو الترتيب الذي يجب القيام به، ومن سيقوم بذلك.

العمل ضمن مجموعات يساعد الطلبة على التفكير في النشاط الذي يقومون بتنفيذه، وللفِرق المكوّنة من طالبَين (ثنائيات) حرّية اختبار أحدهما الآخر، أو التعاون عن طريق تدوين نقاط الموضوع/ الموضوعات الرئيسيّة، وتقييم مدى تقدمهم. من الطبيعي أن تكون بعض المجموعات أكثر ثقة وتعاونًا من مجموعات أخرى، الأمر الذي يولّد قناعة لدى بعض الطلبة بأنهم نفذوا العمل أفضل ممّا كانوا يعتقدون، وذلك من خلال سرد نقاط القوة.

مهمات القدرات المتفاوتة

يمكن تنفيذ المهمات التي تراعي تفريد التعلم من خلال العمل في مجموعات. تعمل هذه الاستراتيجيّة بشكل عام على النحو الآتي:

- يقسّم الصف إلى مجموعات بقدرات متفاوتة من 3 إلى 4 حسب حجم الصف.
- يُخصص لكل طالب في المجموعة رقم من 1 إلى 4 (أو 3) اعتمادًا على قدراته.

  1 (ذوي التحصيل الدراسي المنخفض) ← 4 (ذوي التحصيل الدراسي المرتفع).
- يتم تكوين مجموعة من الطلبة ذوي التحصيل الدراسي المنخفض الذين يحملون الرقم 1، وتخصص لها 3 إلى 4 مهمات بسيطة، ويكرر الأمر نفسه مع الطلبة الذين يحملون الرقم 2، ليكلفوا بمهمات أكثر صعوبة، وهكذا مع المجموعتَين 3 و 4.
- يُعاد تجميع المجموعات الأصليّة في نهاية الوقت المخصص، ثم يتشارك الطلبة في كل مجموعة وفي كل المستويات الإجابات عن الأسئلة، وإذا لزم الأمر يتم تشجيع الطلبة على شرح الإجابات شفهيًا لزملائهم في المجموعة.

قد يجد المعلم صعوبة في إعداد هذا النشاط، وقد يتمثل البديل بالطلب إلى الطلبة تدوين ملاحظاتهم عن ٣-٤ أسئلة أو مراجعتها مع زملائهم، وقد يجد بعض الطلبة صعوبة أيضًا في تدوين الملاحظات، وقد يجدون الأمر مملًا. يمكن تخفيف العبء، لكن مع محاولة منح الطلبة ميزة تعلمهم بأنفسهم.

أنشطة تشخيصية

اختبار الإجابات السريعة

تحتوي هذه الأسئلة على جملة واحدة تتطلب إجابة قصيرة.

على سبيل المثال، قد يحتاج المعلم إلى تكوين فكرة عن مدى إنجاز الطلبة «واجب القراءة المنزلي»، وهي مهمة قد تكون أساسية لفهم الموضوع التالي. للأسف، يرى الطلبة غالبًا أن واجب القراءة المنزلي غير ضروري، لأنه لا يمكن التحقق منه. يمكن الاستفادة هنا من اختبار الإجابات السريعة للتحقق ما إذا كانوا قد نفذوا الواجب فعلًا أم لا. إنه ليس اختبار «إتقان»، لكنه يتمثل بأسئلة قصيرة ذات صلة مباشرة بالقراءة.

يمكن استخدام اختبار الإجابات السريعة في أي وقت من الموضوع، لكن بداية الموضوع ونهايته هما الوقتان المناسبان.

استخدام السبورة البيضاء

يمكن شراء سبورة بيضاء، إلّا أن ورقة بيضاء مغلفة حراريًا قد تفيد أيضًا. قد تستخدم هذه السبورة لاختبارات الإجابة السريعة في بداية الموضوع أو نهايته. وقد تعتمد الاختبار «كبوابة خروج» حيث تسمح الإجابة الصحيحة للطالب بمغادرة الحصة مبكرًا عن غيره. يتمثل السبب الرئيسي في استخدام هذه السبورة أنه يمكن للطالب كتابة إجابته عليها وتقديمها للمعلم، وتبقى إجابته مخفية عن الآخرين. ويمكن عند الانتهاء من النشاط، مسح سبورة الطلبة بسهولة باستخدام قطعة قماش جافة، وإعادة استخدامها.

إشارات المرور

إشارات المرور طريقة يمكن بها للمعلم تقييم مدى فاعليّة تدريسه وتزويده بفكرة عما يجب عليه تعزيزه أو مراجعته أو إعادة النظر فيه مستقبلًا. في هذه الطريقة، يعطى الطلبة مجموعة من الأسئلة ذات صلة بموضوع يمكن كتابته على ورقة أو عرضه أمامهم. ويعطى كل طالب سبورة بيضاء أو ثلاث قطع ورقية عليها بقعة حمراء أو صفراء أو خضراء. يقرأ المعلم الأسئلة أو العبارات، ويجيب الطلبة برفع الورقة ذات البقعة الخضراء دلالة على الفهم التام، أو الصفراء دلالة على الفهم الناقص، أو الحمراء دلالة على عدم الفهم. يمكن للمعلم تصنيف الأسئلة أو العبارات التي أعطيت البقعة الخضراء باعتبارها مفهومة جيدًا من الصف. وإذا وُجدت أوراق ذات بقع صفراء أو حمراء كثيرة، فهذا يعني حاجة المفهوم أو الموضوع إلى التوضيح لاحقًا.

طريقة الإكمال (CLOZE)

تتمثل طريقة الإكمال بفقرة ينقصها كلمات ذات صلة بالموضوع، يمكن تطبيقها في غرفة الصف بعدة أشكال. ويمكن للطلبة مثلًا العثور على الكلمات الناقصة من خلال البحث، أو الاختيار من قائمة كلمات تعرض في أعلى الفقرة لا يكون لبعضها صلة بالموضوع، أو الاختيار من بدائل تكتب داخل الفراغات في الفقرة. طريقة الإكمال من الطرائق الجيدة جدًا لبدء تدريس الموضوع أو لمعرفة مستوى معرفة الطلبة عنه. وتشمل طريقة الإكمال تمرينات فهم أو تذكر.

الخريطة المفاهيمية

يفيد هذا النشاط في تنشيط فهم الطلبة للمفاهيم والمفردات عن طريق تكوين روابط ذات معنى بين المفاهيم باستخدام كلمات/ عبارات بسيطة، وهي تعطي المعلم فكرة عن مدى جودة فهم الطلبة لمجموعة من المفاهيم.

- تُعطى كل مجموعة من الطلبة ورقة A4 ومستطيلات صغيرة مكتوب عليها الكلمات المستخدمة في الموضوع / الموضوعات (لعمل مستطيلات صغيرة يمكن للطلبة طي ورقة A4 مرة واحدة طوليًا ثم مرتَين أو ثلاث مرات عرضيًا، وقص المستطيلات الناتجة).
- يُعطى الطلبة أيضًا مقصّات وأقلام تعليم وبعض الصمغ.
- يمكن عرض الكلمات المطلوبة على الشاشة أو يقترح طلبة الصف الكلمات في مناقشة قبل النشاط.
- يمكن للطلبة –إن رغبوا– إضافة المزيد من الكلمات، لكن لا يفترض بالمعلم كتابتها.
- تكون الكلمات مرتبة على ورقة كبيرة، ويربط الطلبة بينها بعبارات أو كلمات.

الخرائط الذهنية

تختلف الخريطة الذهنيّة عن المخطط العنكبوتي. فكلاهما مثال على التفكير الإشعاعي، لكن المخطط العنكبوتي أكثر فائدة عند إجراء جلسة عصف ذهني للتأكّد من مستوى معرفة الطلبة بالمصطلحات وفهمهم لها.

شاعت الخريطة الذهنيّة على يد طوني بوزان (Tony Buzan)، وكانت جزءًا من الممارسة التعليميّة المقبولة لبضع سنوات، وقد ثبت أنها تساعد الطلبة على تنظيم معرفتهم وفهمهم في تركيب بصري يكوّنه الطالب، بما يكسبه ميزة تعلّمه بنفسه، والشيء الجيد في الخرائط المفاهيميّة والخرائط الذهنيّة عدم وجود إجابة صحيحة أو إجابة خاطئة أو طريقة مثاليّة أو غير كاملة في إعدادها. يمثل تجميع المعلومات في أشكال كبيرة طريقة جيدة لمعالجة تلك المعلومات. لا توجد قيود عند رسم خريطة ذهنيّة أو توضيحها، وبالتالي فهي تحفز الإبداع. وهي توفر أيضًا وقتًا مناسبًا للحديث أو لتدوين الملاحظات، وتمثل طريقة ممتازة للتخطيط للمهمات ولتحضيرها.

يجب التأكيد هنا على أنه من الأفضل إعداد الخرائط المفاهيميّة والخرائط الذهنيّة بالتعاون بين الطلبة. ستحتاج إلى مجموعات من ثلاثة طلبة على الأقل في كل منها لتكوين هذه الخرائط لتحقيق أقصى استفادة من التمرين.

كتابة أسئلة الاختبار

كتابة أسئلة الاختبار وإعداد أنموذج الإجابة وتوزيع الدرجات تُعتبر طريقة أخرى يعبّر فيها الطلبة عن معرفتهم وفهمهم للمفاهيم والأفكار ذات الصلة بالموضوع، ويمكن أن يكون ذلك نشاطًا ممتعًا. يخضع الطلبة للامتحانات في هذا المستوى، ويدركون ما يستلزمه سؤال الاختبار.

الأهداف التعليمية

الأهداف التعليمية	
الوحدة الأولى: مجالات الجاذبية	
١-١ تمثيل مجال الجاذبية	
١-١	يذكر أن مجال الجاذبية هو مثال على مجال القوة ويعرّف شدة مجال الجاذبية على أنها القوة لكل وحدة كتلة
١-٢	يمثّل مجال الجاذبية باستخدام خطوط المجال.
١-٣	يذكر أنه بالنسبة إلى نقطة خارج كرة منتظمة يمكن اعتبار كتلة الكرة كتلة نقطية في مركزها.
١-٤	يذكر نص قانون الجاذبية لنيوتن ويستخدم المعادلة: $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$.
١-٢ شدة مجال الجاذبية g	
١-٥	يستنتج من قانون الجاذبية لنيوتن وتعريف شدة مجال الجاذبية المعادلة: $g = \frac{GM}{r^2}$ لشدة مجال الجاذبية لكتلة نقطية.
١-٦	يستخدم المعادلة: $g = \frac{GM}{r^2}$.
١-٣ الطاقة وجهد الجاذبية	
١-٧	يعرّف جهد الجاذبية عند نقطة معيّنة على أنه الشغل المبذول لوحدة الكتل لنقل كتلة نقطية (كتلة اختبارية) صغيرة من اللانهاية إلى تلك النقطة.
١-٨	يستخدم المعادلة: $\phi = -\frac{GM}{r}$ لجهد الجاذبية في مجال كتلة نقطية.
١-٩	يصف كيف أن مفهوم جهد الجاذبية مرتبط بطاقة وضع الجاذبية لكتلتَين نقطيتَين ويستخدم المعادلة: $E_p = -\frac{GMm}{r}$.
١-٤ الدوران تحت تأثير الجاذبية	
١-١٠	يحلّل المدارات الدائرية في مجالات الجاذبية بدلالة الجاذبية التي تعمل كقوة مركزية والتسارع المركزي الذي تسببه هذه القوة.
١-١١	يذكر أن القمر الصناعي الثابت بالنسبة للأرض يبقى في النقطة نفسها فوق سطح الأرض، ويدور بزمن دوري مدته ٢٤ ساعة، من الغرب إلى الشرق، مباشرة فوق خط الاستواء.

الأهداف التعليمية

الوحدة الثانية: المجالات الكهربائية وقانون كولوم

٢-١ المجال الكهربائي، ٢-٢ شدة المجال الكهربائي، ٢-٣ القوة المؤثّرة على شحنة كهربائية

٢-١	يذكر أن المجال الكهربائي هو مثال على مجال القوة ويعرّف شدة المجال الكهربائي على أنه القوة لوحدة الشحنة الموجبة.
٢-٢	يمثّل مجالًا كهربائيًا باستخدام خطوط المجال.
٢-٣	يستخدم معادلة القوة المؤثرة على شحنة في مجال كهربائي: $\vec{F} = Q\vec{E}$.
٢-٤	يستخدم معادلة حساب شدة المجال الكهربائي المنتظم بين لوحَين متوازيَين مشحونَين: $\vec{E} = \frac{\Delta V}{\Delta d}$.
٢-٥	يصف تأثير المجال الكهربائي المنتظم على حركة الجسيمات المشحونة.

٢-٤ قانون كولوم والمجالات الشعاعية

٢-٦	يذكر أنه بالنسبة إلى نقطة خارج موصل كروي، يمكن اعتبار الشحنة الموجودة على الكرة شحنة نقطية في مركزها.
٢-٧	يذكر نص قانون كولوم ويستخدم معادلة القوة بين شحنتَين نقطيتَين في الفراغ: $\vec{F} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 \vec{r}^2}$.
٢-٨	يستخدم معادلة شدة المجال الكهربائي: $\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 \vec{r}^2}$ الناشئ عن شحنة نقطية في الفراغ.

٢-٥ الجهد وطاقة الوضع الكهربائية

٢-٩	يعرّف الجهد الكهربائي عند نقطة ما على أنه الشغل المبذول لوحدة الشحنة الموجبة لنقل شحنة اختبارية صغيرة من اللانهاية إلى تلك النقطة.
٢-١٠	يستخدم معادلة الجهد الكهربائي في المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية: $V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$.
٢-١١	يصف كيف أن مفهوم الجهد الكهربائي مرتبط بطاقة الوضع الكهربائية لشحنتَين نقطيتَين ويستخدم المعادلة: $E_p = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r}$.

الوحدة الثالثة: الدوائر الكهربائية

٣-١ التيار الكهربائي و ٣-٢ فرق الجهد الكهربائي

٣-١	يذكر أن التيار الكهربائي هو تدفق لحاملات شحنة كهربائية مكمّمة.
٣-٢	يستخدم المعادلتَين: $Q = It$ و $I = Anvq$ المتعلقتَين بموصل حامل لتيار كهربائي.
٣-٣	يعرّف فرق الجهد الكهربائي عبر أي مكوِّن على أنه الطاقة المنقولة لكل وحدة شحنة ويستخدم المعادلة: $V = \frac{W}{Q}$.

الأهداف التعليمية

٣-٣ المقاومة النوعية	
٣-٤	يستخدم المعادلة: $R = \frac{\rho L}{A}$.
٣-٤ قانونا كيرشوف	
٣-٥	يذكر القانون الأول لكيرشوف ويشرح أنه نتيجة لقانون حفظ الشحنة الكهربائية.
٣-٦	يذكر القانون الثاني لكيرشوف ويشرح أنه نتيجة لقانون حفظ الطاقة.
٣-٧	يستخدم قانونَي كيرشوف لحل مسائل الدائرة الكهربائية.
٣-٥ الدوائر العملية	
٣-٨	يصف تأثيرات المقاومة الداخلية لمصدر قوة دافعة كهربائية على فرق الجهد الكهربائي بين طرفيه.
٣-٩	يصف مبدأ عمل دائرة مجزئ الجهد ويستخدمه.
٣-١٠	يذكر مبدأ عمل مقياس الجهد كوسيلة لمقارنة فروق الجهد ويستخدمه.
٣-١١	يصف استخدام الجلفانوميتر بالطرق الصفرية (انعدام شدة التيار).
الوحدة الرابعة: المكثفات	
٤-١ التعرف على المكثفات و ٤-٢ الطاقة المخزنة في مكثف	
٤-١	يعرّف سعة المكثف، عند تطبيقها على المكثفات المتوازية الألواح.
٤-٢	يستخدم المعادلة: $C = \frac{Q}{V}$.
٤-٥	يجد طاقة الوضع الكهربائية المخزّنة في مكثف من المساحة الواقعة تحت منحنى التمثيل البياني (الجهد الكهربائي – الشحنة الكهربائية).
٤-٦	يستخدم المعادلات $W = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$.
٤-٣ توصيل المكثفات على التوازي، ٤-٤ توصيل المكثفات على التوالي، ٤-٥ شبكات المكثفات	
٤-٣	يستنتج معادلات السعة المكافئة للمكثفات الموصلة على التوالي والموصلة على التوازي مستخدمًا المعادلة $C = \frac{Q}{V}$.
٤-٤	يحسب السعة المكافئة للمكثفات الموصلة على التوالي والموصلة على التوازي.
٤-٦ شحن المكثفات وتفريغها	
٤-٧	يحلّل التمثيلات البيانية لتغيّر كل من فرق الجهد الكهربائي والشحنة الكهربائية وشدة التيار الكهربائي مع الزمن لمكثف يُفرّغ عبر مقاومة ما.

الأهداف التعليمية

٤-٨	يستخدم معادلة الثابت الزمني لمكثف يُفرّغ عبر مقاومة ما $\tau = RC$.
٤-٩	يستخدم معادلات بالصيغة $x = x_0 e^{-(t/RC)}$ حيث يمكن أن تمثّل x شدة التيار الكهربائي أو الشحنة الكهربائية أو فرق الجهد الكهربائي لمكثف يُفرّغ عبر مقاومة ما .

الوحدة الخامسة: المغناطيسية والحث الكهرومغناطيسي

٥-١ توليد المجالات المغناطيسية وتمثيلها و ٥-٢ القوة المغناطيسية

٥-١	يطبق مفهوم أن المجال المغناطيسي مثال على مجال القوة الناتج من: الشحنات الكهربائية المتحركة أو من المغناطيس الدائم.
٥-٢	يمثل المجالات المغناطيسية المتولدة حول سلك مستقيم وملف دائري وملف حلزوني (ملف لولبي) بخطوط المجال المغناطيسي.

٥-٣ كثافة الفيض المغناطيسي و ٥-٤ المزيد عن القوى على الموصلات الحاملة لتيار كهربائي

٥-٣	يستخدم المعادلة $F = BIL \sin\theta$، ويحدد الاتجاهات باستخدام قاعدة فليمنج لليد اليسرى.
٥-٤	يعرّف كثافة الفيض المغناطيسي على أنها القوة المؤثرة لكل وحدة تيار كهربائي لكل وحدة طول من سلك موضوع بزاوية قائمة على المجال المغناطيسي.

٥-٥ الحث الكهرومغناطيسي

٥-٥	يصف الملاحظات الآتية للتجارب ويشرحها: • الفيض المغناطيسي المتغيّر يمكن أن يولد قوة دافعة كهربائية مستحثة في دائرة كهربائية. • القوة الدافعة الكهربائية المستحثة تكون في الاتجاه المعاكس للتغيّر الذي أنتجها. • العوامل التي تؤثر على مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة (التأثيرية).
٥-٦	يعرّف الفيض المغناطيسي على أنه حاصل ضرب كثافة الفيض المغناطيسي في مساحة المقطع العرضي العمودية على اتجاه كثافة الفيض المغناطيسي.
٥-٧	يستخدم المعادلة $\Phi = \vec{B}\vec{A}$ ويحلّل $\vec{B}$ إلى مركّبتها العمودية باستخدام $\Phi = BA\cos\theta$.
٥-٨	يصف مفهوم الفيض المغناطيسي الكليّ ويستخدمه، بما في ذلك استخدام معادلة الفيض المغناطيسي الكليّ: $BAN\cos\theta$.

٥-٦ قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي، ٥-٧ قانون لنز، ٥-٨ تطبيقات الحث الكهرومغناطيسي

٥-٩	يحلّل التيار الكهربائي المستحث باستخدام قاعدة فليمنج لليد اليمنى.
٥-١٠	يذكر نص قانون فاراداي ونص قانون لنز للحث الكهرومغناطيسي ويستخدم المعادلة $\varepsilon = -\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t}$.

الوحدة الأولى

مجالات الجاذبية

نظرة عامة

- اكتسب الطلبة من دراستهم السابقة معارف حول مجالات الجاذبية، إلّا أنهم درسوا المجال القريب من كتلة كبيرة (مثل كوكب) فقط، حيث يكون المجال منتظمًا تقريبًا.
- تعزّز هذه الوحدة مفهوم شدة مجال الجاذبية على أنه قوة الجاذبية لكل وحدة كتلة، كما توسّع الأفكار للوصول إلى المجالات غير المنتظمة، وتأخذ كذلك في الحسبان كيفية تغيّر المجال في أثناء الحركة لمسافات كبيرة بعيدًا عن الكتلة المسببة للمجال.
- تتناول الوحدة أيضًا تغيّرات طاقة وضع الجاذبية في المجال غير المنتظم، وتُقدّم مفهوم جهد الجاذبية.
- يتناول الجزء الأخير من الوحدة تحليل المدارات الدائرية في مجال شعاعي.
- يتوقع من الطالب خلال هذه الوحدة أن:

– يذكر أن مجال الجاذبية هو مثال على مجال القوة ويعرّف شدة مجال الجاذبية على أنها القوة لكل وحدة كتلة.

– يمثّل مجال الجاذبية باستخدام خطوط المجال.

– يذكر أنه بالنسبة إلى نقطة خارج كرة منتظمة يمكن اعتبار كتلة الكرة كتلة نقطية في مركزها.

– يذكر نص قانون الجاذبية لنيوتن ويستخدم المعادلة: $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$.

– يستنتج من قانون الجاذبية لنيوتن وتعريف شدة مجال الجاذبية المعادلة: $g = \frac{GM}{r^2}$ لشدة مجال الجاذبية لكتلة نقطية.

– يستخدم المعادلة: $g = \frac{GM}{r^2}$.

– يعرّف جهد الجاذبية عند نقطة معيّنة على أنه الشغل المبذول لوحدة الكتل لنقل كتلة نقطية (كتلة اختبارية) صغيرة من اللانهاية إلى تلك النقطة.

– يستخدم المعادلة: $\phi = -\frac{GM}{r}$ لجهد الجاذبية في مجال كتلة نقطية.

– يصف كيف أن مفهوم جهد الجاذبية مرتبط بطاقة وضع الجاذبية لكتلتَين نقطيتَين ويستخدم المعادلة: $E_p = -\frac{GMm}{r}$.

– يحلّل المدارات الدائرية في مجالات الجاذبية بدلالة الجاذبية التي تعمل كقوة مركزية والتسارع المركزي الذي تسببه هذه القوة.

– يذكر أن القمر الصناعي الثابت بالنسبة للأرض يبقى في النقطة نفسها فوق سطح الأرض، ويدور بزمن دوري مدته ٢٤ ساعة، من الغرب إلى الشرق، مباشرة فوق خط الاستواء.

- ثمّة فرص لتغطية جميع أهداف التقويم الثلاثة: AO1 (المعرفة والفهم)، AO2 (معالجة المعلومات وتطبيقها وتقييمها) و AO3 (المهارات والاستقصاءات التجريبية).

مخطط التدريس

أهداف الموضوع	الموضوع	عدد الحصص	المصادر في كتاب الطالب	المصادر في كتاب التجارب العملية والأنشطة
١-١، ١-٢، ١-٣، ١-٤	١-١ تمثيل مجال الجاذبية	٢	السؤالان ١ و ٢ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ١-١ قانون نيوتن للجاذبية أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
١-٥، ١-٦	١-٢ شدة مجال الجاذبية g	٤	الأسئلة من ٣ إلى ٨ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ١-٢ شدة مجال الجاذبية أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
١-٧، ١-٨، ١-٩	١-٣ الطاقة وجهد الجاذبية	٣	السؤالان ٩ و ١٠ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ١-٣ الطاقة وجهد الجاذبية نشاط ١-٤ المجال والجهد الناشئ عن كتلتَين
١-١٠، ١-١١	١-٤ الدوران تحت تأثير الجاذبية	٢	الأسئلة من ١١ إلى ١٤ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ١-٥ الدوران تحت تأثير الجاذبية أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع

الموضوع ١-١: تمثيل مجال الجاذبية

الأهداف التعليمية

١-١ يذكر أن مجال الجاذبية هو مثال على مجال القوة ويعرّف شدة مجال الجاذبية على أنها القوة لكل وحدة كتلة.

١-٢ يمثّل مجال الجاذبية باستخدام خطوط المجال.

١-٣ يذكر أنه بالنسبة إلى نقطة خارج كرة منتظمة يمكن اعتبار كتلة الكرة كتلة نقطية في مركزها.

١-٤ يذكر نص قانون الجاذبية لنيوتن ويستخدم المعادلة: $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذا الموضوع حصتان دراسيتان (ساعة و ٢٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	١-١ تمثيل مجال الجاذبية	• السؤالان ١ و ٢.
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ١-١ قانون نيوتن للجاذبية	• أسئلة لتقييم معرفة الطلبة لقانون الجاذبية لنيوتن وفهمه.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- قد يتصور الطلبة أن أوزانهم (القوة الناتجة من الجاذبية) ثابتة؛ لأنها لا تتغيّر على سطح الأرض، لكنهم سيكتسبون مفهومًا جديدًا يتمثّل في أن قوة الجاذبية تتغيّر بتغير البُعد عن سطح الأرض.

- تعرّض الطلبة لفكرة مجال الجاذبية في دراستهم السابقة، إلا أن هذه الدراسة قد اقتصرت على مجال الجاذبية المنتظم تقريبًا بالقرب من سطح الأرض، وسيكون مفهوم قانون التربيع العكسي جديدًا عليهم.

أنشطة تمهيدية

نقترح عليك فكرتَين كتمهيد لهذا الموضوع وسيعتمد اختيارك على الموارد المتوفرة وعلى الزمن المتاح، وعلى كيفية تقدم الطلبة في فهم هذا الموضوع.

فكرة أ (١٠ دقائق)

- أسقط كوبًا بلاستيكيًا على الأرض ثم اعرض للطلبة صورة للثقب الأسود الذي رُصد في أبريل 2019 م واسألهم: «ما العامل المشترك بين هاتَين الملاحظتَين؟» قد تحتاج إلى توجيه الطلبة من خلال الطلب إليهم تحديد دور الجاذبية في كلتا الحالتَين.

› **فكرة للتقويم:** ناقش الطلبة في الجاذبية وتأثيراتها من حولنا وتأثيراتها على الكون بأكمله.

فكرة ب (١٠ دقائق)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: عملة معدنية كبيرة، عملة معدنية صغيرة، ريشة (قد تكون ريشة دجاج صغيرة ومنفوشة)، أنبوب طوله (1 m) تقريبًا وقطره (5 cm)، سدادة مطاطية صلبة، سدادة مطاطية بها ثقب، مضخة تفريغ هواء (مُفرغة)، أنبوب زجاجي (لتثبيته بإحكام في الثقب الموجود في السدادة)، أنبوب توصيل يتحمل الضغط.

- أخبر الطلبة بأنك ستُسقط عملتَين معدنيتَين مختلفتَي الكتلة من الارتفاع نفسه، واسألهم: أي قطعة ستصل إلى الأرض أولًا؟ وعند إسقاطهما اسأل الطلبة عمّا يلاحظونه؛ اطلب إليهم شرح سبب المسار الذي سلكته العملتان، ثم كرّر التجربة بإسقاط العملة الكبيرة مع ريشة، واسأل: «لماذا تقع العملة على الأرض قبل الريشة؟» ضع كلًا من العملة والريشة في أنبوب طوله (1 m) تقريبًا، وفرّغ الأنبوب من الهواء، اقلبه رأسًا على عقب واسألهم: «ماذا نلاحظ؟».

› **فكرة للتقويم:** قيّم إجابات الطلبة، ولاحظ كيف يفكرون فيزيائيًا في هذا الموقف بدلًا ممّا يتوقعون أنه سيحدث.

الأنشطة الرئيسية

١ المجالات الشعاعية والمنتظمة (٢٠ دقيقة)

- ذكّر الطلبة أن المجالات (التي درسوها سابقًا في المغناطيسية) هي النموذج الذي يستخدمه الفيزيائيون لشرح كيفية عمل قوى التأثير عن بُعد، وذكّر الطلبة بأن علماء الفيزياء يستخدمون خطوط المجال لتمثيل شدة المجال واتجاهه، وقد يكون من المفيد الرجوع إلى المجال المغناطيسي لقضيب مغناطيسي في هذه المرحلة.
- قدّم إلى الطلبة مفهوم المجالات الشعاعية والمنتظمة، واربط هذه المعلومات بتفسير سبب كون وزن الجسم (القوة الناتجة عن الجاذبية) ثابتًا على سطح الأرض، ولكنه يتغيّر كلما ازداد البُعد عن الأرض، وقد يكون الشكلان ١-١ و ١-٢ الواردان في كتاب الطالب مفيدَين هنا.

› **فكرة للتقويم:** ركّز في التقويم على فكرة أن شدة المجال تُحدّد من خلال التباعد بين خطوط المجال. اطلب إلى الطلبة رسم خطوط المجال المغناطيسي لقضيب مغناطيسي، واطلب إليهم شرح ما يُظهِره الرسم عن شدة المجال المغناطيسي.

٢ تجربة كافنديش (٣٠-٤٠ دقيقة)

- يمكن استخدام هذه التجربة الرائعة لتقديم قانون نيوتن للجاذبية، حيث تتوافر بعض الفيديوهات على الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت)، ابحث عن "Cavendish's experiment" التي توضح المبادئ، وبعض

الصعوبات في تنفيذ التجربة عمليًا، واختر بعناية مقطع فيديو تريد استخدامه، بحيث يمكن «تسريع العرض» خلال الكثير من المقاطع كيلا يشعر الطلبة بالملل.

هذه تجربة لا يمكن تنفيذها بسهولة في المدارس، ومع ذلك نستطيع بناء نموذج لأدوات كافنديش واستخدامها لجعل المتغيرات محسوسة في المعادلة $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$، أو بدلًا من ذلك يمكن الحصول على محاكاة لقوى الجاذبية بين الكتل عبر البحث على الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) باستخدام عبارة البحث "phet gravity lab".

› **إرشادات عملية:** كتلتان تزن كل منهما نحو (1 kg)، مسطرة مترية، كرتا قدم، حلقتان (لتستقر فوقهما كرتا القدم)، متران من أسلاك قوية ولكن بقطر صغير، خطاف، مرآة مقعرة صغيرة جدًا، مصدر ضوئي (ليزر)، شريط عازل، معجون لاصق.

١. ألصق كتلتين (1 kg) كل واحدة بأحد طرفَي المسطرة المترية.

٢. صِل أحد طرفَي السلك بمنتصف المسطرة المترية.

٣. اربط الخطاف بإحكام في السقف.

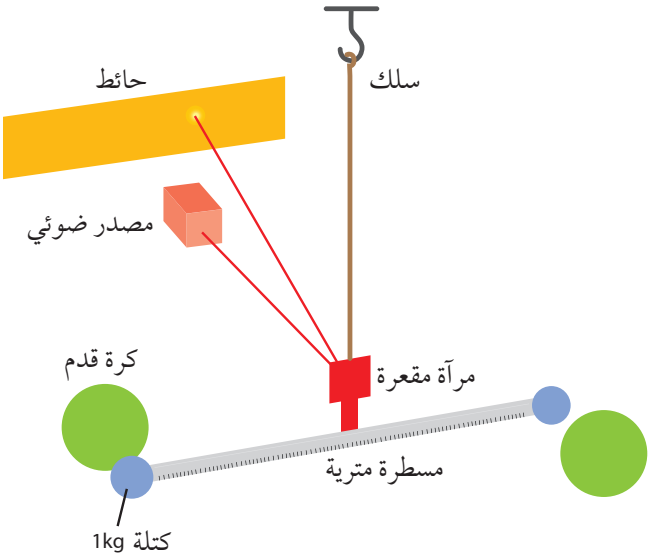
٤. صل الطرف الآخر من السلك بالخطاف.

٥. أضف كتلًا صغيرة لموازنة المسطرة المترية.

٦. ألصق المرآة بالسلك باستخدام معجون لاصق.

٧. ضع مصدر الضوء بحيث يسقط الضوء على المرآة ويعكس بقعة صغيرة من الضوء على الحائط.

٨. ضع كرتَي القدم كما هو مبيّن في الشكل.



الشكل ١-١

- قم بتركيب أدوات التجربة كما في الشكل ١-١. ناقش الطلبة في الخلفية النظرية للتجربة، وأخبرهم أن كرتَي القدم في الشكل تمثّلان في واقع التجربة كرتَين من الرصاص الصلب!
- استخدم السؤالَين ١ و ٢ من كتاب الطالب والنشاط ١-١ من كتاب التجارب العملية والأنشطة لتعزيز الفهم.

› **فكرة للتقويم:** ينبثق التقويم من التعليقات والأسئلة التي يطرحها الطلبة، ويجب أن يلاحظوا عدم استقرار الجهاز؛ فحركتهم في المختبر ستجعل بقعة الضوء تتحرك، ويجب أن يروا أن القوى المتضمنة ضعيفة، لذلك سيندهشون من أن كافنديش تمكن من قياس G إلى ٣ أرقام معنوية باستخدام جهاز من هذا النوع.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

لتوسيع فهم الطلبة ذوي التحصيل الدراسي المرتفع، يمكن تكليفهم ببعض المهام مثل البحث في كيفية تشكّل النجوم، وسبب تشكّل المجرات، وتعريف الثقوب السوداء، بعدها يمكنهم تقديم عرض قصير لنتائج بحثهم أمام طلبة الصف.

الدعم

يمكن تشكيل مجموعات غير متجانسة من الطلبة (مستويات مختلفة) لحل التمرين الوارد في النشاط الرئيسي ٢. تأكّد من أنهم يوجّهون بعضهم بعضًا بدلًا من إخبارهم بما يجب عليهم فعله.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اعرض «محاكاة السقوط في ثقب أسود»، ووجّه الطلبة إلى ملاحظة أن سرعة «السقوط» تزداد كلما اقترب الجسم من الثقب الأسود، واسألهم: لماذا يزداد السقوط؟ وهل يعتقدون أنه عندما يسقط الجسم في الثقب، يبقى خاضعًا لقانون التربيع العكسي؟

الموضوع ١-٢: شدة مجال الجاذبية g

الأهداف التعليمية

١-٥ يستنتج من قانون الجاذبية لنيوتن وتعريف شدة مجال الجاذبية المعادلة: $g = \frac{GM}{r^2}$ لشدة مجال الجاذبية لكتلة نقطية.

١-٦ يستخدم المعادلة: $g = \frac{GM}{r^2}$.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذا الموضوع ٤ حصص دراسية (ساعتان و ٤٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	١-٢ شدة مجال الجاذبية g	• المثال ١ • الأسئلة من ٣ إلى ٨
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ١-٢ شدة مجال الجاذبية	• أسئلة النشاط ١-٢ تعزز فهم الأفكار حول شدة مجال الجاذبية.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- درس الطلبة سابقًا القيمة ($9.81\ m\ s^{-2}$) كقيمة للتسارع بسبب الجاذبية الأرضية، ويمكن أن يواجه العديد من الطلبة صعوبة في اعتبار أنّ هذا التسارع هو شدة مجال الجاذبية نفسه، وسيجد بعضهم صعوبة أيضًا في إدراك أن هذه القيمة ليست ثابتة عندما يزداد البعد عن سطح الأرض بشكل كبير.

أنشطة تمهيدية

من المفيد تلخيص أفكار الموضوع السابق حول قانون نيوتن للجاذبية؛ لأن استنتاج معادلة شدة مجال الجاذبية تأتي مباشرة من تلك الأفكار، والتمهيد الآتي يساعد الطلبة على إدراك أن قيمة (g) يمكن أن تتغيّر.

فكرة (٢٠ دقيقة)

- ذكّر الطلبة بمعادلات الحركة الخطية التي درسوها في الصف الحادي عشر واطلب إليهم استخدامها لحساب الزمن الذي يستغرقه سقوط جسم من السكون من ارتفاع (1.0 m) ليصل إلى الأرض (الإجابة = 0.45 s).
- ابدأ بمناقشة إمكانية أن يكون الزمن مختلفًا إذا أُسقط الجسم نفسه من ارتفاع (1.0 m) أعلى قمة جبل إيفرست. أدر المناقشة للتركيز على فكرة استخدام ($g = 9.81\ m\ s^{-2}$) وما إذا كان ذلك صحيحًا. أخبر الطلبة أنه أعلى قمة جبل إيفرست ستكون ($g = 9.77\ m\ s^{-2}$)، واطلب إليهم إعادة حساب زمن السقوط (الإجابة = 0.45 s، ولكن مع المزيد من المنازل العشرية لكشف الاختلاف).
- وسّع المناقشة حول كيفية تغيّر قيمة (g) عندما نغادر الغلاف الجوي للأرض، واستنتج مع الطلبة فكرة أن (g) ليست ثابتة وتتناقص مع ازدياد البُعد عن الأرض، حيث يركّز هذا الموضوع على نمذجة هذه الفكرة رياضيًا.

الأنشطة الرئيسية

١ تعريف شدة مجال الجاذبية (g) واستنتاجها (٢٠ دقيقة)

- من المهم أن يتمكن الطلبة من تعريف شدة مجال الجاذبية واستنتاج معادلتها، فاستخلص معهم تعريف شدة مجال الجاذبية على أنها القوة لكل وحدة كتلة في مجال الجاذبية ($\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}$)، وأعطِهم فرصة لاستنتاج وحدة (g) من خلال هذا التعريف، وشجّعهم على محاولة استنتاج معادلة شدة مجال الجاذبية في مجال شعاعي، بدءًا من قانون نيوتن للجاذبية للقوة ($\vec{F}$)، ثم اطلب إلى طالب ذي تحصيل دراسي مرتفع عرض هذا الاستنتاج لبقية زملائه. من المناسب في هذه المرحلة الرجوع إلى الشكل ١-١ الوارد في كتاب الطالب، والذي يبيّن أن شدة مجال الجاذبية تتناقص مع ازدياد البعد عن الأرض ومع تباعد خطوط المجال، يجب أن يؤكد المعلم أن معادلة شدة مجال الجاذبية (g) تتبع «قانون التربيع العكسي» لأن (g) تتناسب عكسيًا مع مربع المسافة بين مركزَي الكتل، ويُعرف قانون نيوتن للجاذبية أيضًا بقانون التربيع العكسي للسبب نفسه.

› **فكرة للتقويم:** يجب على الطلبة استخدام كراساتهم لكتابة محاولاتهم في استنتاج الوحدات ومعادلة (g)، ويمكن للمعلم متابعة محاولات الطلبة بشكل فردي وتقديم التوجيه لهم عند الضرورة.

٢ استخدام معادلة شدة مجال الجاذبية (٤٠ دقيقة)

- ارجع إلى المثال ١ الوارد في كتاب الطالب لتعريف الطلبة بكيفية تطبيق المعادلة المستنتجة الجديدة لـ (g). يجب على الطلبة بعد ذلك حل الأسئلة من ٣ إلى ٨ الواردة في كتاب الطالب بشكل فردي.

› **فكرة للتقويم:** يمكن للطلبة تصحيح إجاباتهم عن الأسئلة، أو يمكن أن يقوم المعلم بذلك مستعينًا بالحلول الموجودة في دليل المعلم.

سؤال مفصلي:

١. اشرح المقصود بشدة مجال الجاذبية عند نقطة ما.

٢. استخدم التعريف الذي كتبته لإيجاد شدة مجال الجاذبية على سطح كوكب عطارد.

٣. احسب تسارع جسم ما في حالة سقوط حرّ بالقرب من سطح عطارد.

علما بأن: $G = 6.67 \times 10^{-11}\ N\ m^{-2}\ kg^{-2}$، نصف قطر عطارد $= 2.44 \times 10^{6}\ m$، كتلة عطارد $= 3.30 \times 10^{23}\ kg$

(الإجابة: شدة مجال الجاذبية هو القوة لكل وحدة كتلة).

باستخدام المعادلة: $g = \frac{GM}{r^2}$، فإن شدة مجال الجاذبية = $3.70\ \text{N kg}^{-1}$

التسارع الناتج عن الجاذبية = شدة مجال الجاذبية = $3.70\ \text{m s}^{-2}$

٣ أسئلة كتاب التجارب العملية والأنشطة (٣٠ دقيقة)

- يجب على الطلبة الإجابة عن أسئلة النشاط ١-٢ من كتاب التجارب العملية والأنشطة، فهذه الأسئلة ستساعدهم في تعزيز فهم الأفكار حول شدة مجال الجاذبية.

› **فكرة للتقويم:** يمكن للطلبة التحقّق من إجاباتهم ذاتيًا أو مع أقرانهم، وقد يقوم المعلم بدلًا من ذلك بتصحيح إجابات الطلبة لتكوين صورة واضحة عن مستوى تقدمهم.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدي

يمكن للطلبة ذوي التحصيل الدراسي المرتفع أن يواجهوا تحدّيًا في حساب شدة مجال الجاذبية على سطح كل كوكب في النظام الشمسي، وسيحتاجون إلى البحث عن بعض المعلومات المطلوبة، وستكون بعض النتائج مفاجئة، فمثلًا على الرغم من أن قطر المشتري أكبر بكثير من قطر الأرض، إلّا أن شدة مجال جاذبيته أكبر بنحو 2.5 مرة فقط من شدة مجال جاذبية الأرض، ويجب تشجيع الطلبة على التفكير في أسباب ذلك.

الدعم

سيجد العديد من الطلبة أن إعادة ترتيب معادلة شدة مجال الجاذبية يمثل تحدّيًا، وتكون هذه الحال بشكل خاص عند وضع (r) في طرف لحسابها، ومن الأخطاء الشائعة التي قد يقعون فيها تجاهل حساب الجذر التربيعي لإيجاد الحل، ويمكن دمج هؤلاء الطلبة بزملائهم ذوي القدرة العالية في الرياضيات أو تزويدهم بدعم فردي.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اطلب إلى الطلبة كتابة تعريف شدة مجال الجاذبية على سبورة بيضاء، بالإضافة إلى وحدات القياس الخاصة بها، وتحقّق من أن الكل قادر على تذكّر هذه المعلومات.

الموضوع ١-٣: الطاقة وجهد الجاذبية

الأهداف التعليمية

١-٧ يعرّف جهد الجاذبية عند نقطة معيّنة على أنه الشغل المبذول لوحدة الكتل لنقل كتلة نقطية (كتلة اختبارية) صغيرة من اللانهاية إلى تلك النقطة.

١-٨ يستخدم المعادلة: $\phi = -\frac{GM}{r}$ لجهد الجاذبية في مجال كتلة نقطية.

١-٩ يصف كيف أن مفهوم جهد الجاذبية مرتبط بطاقة وضع الجاذبية لكتلتَين نقطيتَين ويستخدم المعادلة: $E_p = -\frac{GMm}{r}$.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذا الموضوع ٣ حصص دراسية (ساعتان).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	١-٣ الطاقة وجهد الجاذبية	• المثال ٢ • السؤالان ٩ و ١٠
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ١-٣ الطاقة وجهد الجاذبية نشاط ١-٤ المجال والجهد الناشئ عن كتلتَين	• تعزز هذه الأسئلة فهم الأفكار حول جهد الجاذبية، وتوسّعه ليشمل المسائل التي تتضمن كتلتَين.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- يعتقد بعض الطلبة أن نقل كتلة من سطح الأرض إلى ما لا نهاية يتطلّب كمية لانهائية من الطاقة، ويفترض هذا الاعتقاد أن كمّية الطاقة اللازمة لرفع جسم ما بمقدار متر واحد عن الأرض هي ثابتة، وبالتالي فإن رفع هذا الجسم إلى اللانهاية (عدد لانهائي من الأمتار) يتطلب كمية طاقة لانهائية. شجع الطلبة على التفكير في كيفية تغير قوة جاذبية الأرض عندما نرتفع بعيدًا عن الأرض، هل سيكون من الأسهل رفع جسم ما مسافة بمقدار متر واحد إذا كانت جاذبية الأرض أضعف؟

أنشطة تمهيدية

لقد درس الطلبة سابقًا مفهوم طاقة وضع الجاذبية، غير أنهم اتخذوا قيمة الصفر لطاقة وضع الجاذبية على سطح الأرض، وبالتالي افترضوا أن طاقة وضع الجاذبية تزداد بشكل منتظم مع الارتفاع عن سطح الأرض، وسيكون مفهوم اختيار اللانهاية كقيمة الصفر لطاقة وضع الجاذبية تحدّيًا لهم، وكذلك فكرة أن طاقة وضع الجاذبية تتناقص وتصبح سالبة أكثر فأكثر في أثناء التحرّك من اللانهاية نحو كوكب ما أو نجم ستكون تحديًا آخر أيضًا.

نقترح عليك فكرتَين كتمهيد لهذا الموضوع؛ وسيعتمد اختيارك على الموارد المتوفرة، وعلى الزمن المتاح وعلى كيفية تقدم الطلبة في فهم هذا الموضوع.

فكرة أ (١٠ دقائق)

- اعرض صورًا كبيرة للأرض والقمر، ثم علّق على الاختلاف في مظهر سطحَيهما واسأل الطلبة: ما سبب الحُفر التي نراها على القمر؟ لماذا لا يوجد الكثير منها على الأرض؟ وجّه النقاش نحو التفكير حول انتقال الطاقة، واسأل: «ماذا سيحدث للنيزك عندما يقترب من القمر؟» سيتسارع. من أين تأتي الطاقة لإعطائه سرعة أكبر؟

أفكار للتقويم: نحاول تطوير فكرة أن النيازك تفقد طاقة وضع الجاذبية عند اقترابها من القمر أو الأرض، وتتحوّل تلك الطاقة إلى طاقة حركة و/ أو طاقة حرارية في أثناء احتراقها في الغلاف الجوي الأرضي، إذا فهم الطلبة ذلك فإنه يمكنهم إحراز تقدّم، ويمكنهم التفكير في سبب كون اللانهاية مكانًا معقولًا لاختيار صفر لطاقة وضع الجاذبية.

فكرة ب (١٠ دقائق)

- اعرض مقطع فيديو من إحدى مهام المركبة الفضائية فويجر (Voyager) إلى الامتداد الخارجي للنظام الشمسي وما وراءه إلى الفضاء بين النجوم، مستعينًا بالشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) وابحث عن عبارة "voyage on board video". اشرح أنه بمجرد ابتعاد المركبة الفضائية عن الأرض فإنها ستندفع مستخدمة محرّكاتها الصاروخية

فقط لتغيير اتجاهها عند اقترابها من الكواكب الخارجية، ثم أشر إلى أن مركبة ڤويجر الآن هي في الفضاء بين النجوم وستندفع بينها إلى الأبد، إلى أن تصادف نجمًا آخر.

› **أفكار للتقويم:** اسأل الطلبة عمّا إذا كان بإمكانهم شرح سبب استمرار المركبة الفضائية في الحركة إلى الأبد من دون الحاجة إلى أي وقود.

الأنشطة الرئيسية

١ الطاقة في مجال الجاذبية (٣٠ دقيقة)

- اسأل طلبة الصف ككل أو من خلال إعداد ورقة عمل مناسبة للعمل الفردي عن مقدار الشغل المبذول ضد الجاذبية عند رفع جسم كتلته (1 kg) عن سطح الأرض إلى ارتفاع 1 km (10^3 m). الإجابة هي:

$$W = 1 \times 9.81 \times 10^3 = 9.81 \times 10^3 \text{ J}$$

- اسألهم عن مقدار الطاقة المكتسبة عند رفع الجسم نفسه عن سطح الأرض إلى ارتفاع (10^6 m). الإجابة ليست (9.81×10^6 J) ولكنها (8.48×10^6 J) تُحسب كالآتي:

$$\Delta E_p = m\Delta\phi = -GMm\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right)$$

$$\Delta E_p = -6.67 \times 10^{-11} \times 5.97 \times 10^{24} \times 1 \times \left(\frac{1}{6.37 \times 10^6 + 1 \times 10^6} - \frac{1}{6.37 \times 10^6}\right)$$

ويمكن تفسير ذلك من خلال انخفاض مجال الجاذبية الأرضية كلما ابتعد الجسم عن الأرض، فطاقة الوضع المكتسبة عند رفع الكتلة إلى (10^9 m) تكون نحو (6.21×10^7 J) تُحسب كالآتي:

$$\Delta E_p = m\Delta\phi = -GMm\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right)$$

$$\Delta E_p = -6.67 \times 10^{-11} \times 5.97 \times 10^{24} \times 1 \times \left(\frac{1}{6.37 \times 10^6 + 1 \times 10^9} - \frac{1}{6.37 \times 10^6}\right)$$

- يمكن استخدام المعلومات السابقة لإثبات أنه من غير المعقول اعتبار طاقة الوضع صفرًا على سطح الأرض عند الأخذ بالمقياس الفلكي، وبدلًا من ذلك نعرّف نقطة الصفر لطاقة وضع الجاذبية لتكون في اللانهاية، ونظرًا إلى أننا نفقد طاقة وضع الجاذبية عندما نقترب من الأرض، فنحن لدينا جميعًا طاقة وضع سالبة.
- يمكن الآن تقديم صيغة المعادلة $E_p = -\frac{GMm}{r}$، وهذه الصيغة تقود إلى فكرة الجهد في نقطة ما، الأمر الذي يدفعك إلى تقديم وشرح المعادلة: $\phi = -\frac{GM}{r}$ للطلبة.
- سيساعد السؤالان ٩ و ١٠ من كتاب الطالب على تعزيز فهم هذه الأفكار.

› **فكرة للتقويم:** يمكن للطلبة التحقّق من إجاباتهم ذاتيًا أو مع أقرانهم، وقد يقوم المعلم بدلًا من ذلك بتصحيح إجابات الطلبة لتكوين صورة واضحة عن مدى فهمهم للموضوع.

٢ أنشطة كتاب التجارب العملية والأنشطة (ساعة واحدة)

- يجب على الطلبة حل أسئلة النشاطَين ١-٣ و ١-٤ من كتاب التجارب العملية والأنشطة، فهذه الأسئلة ستساعد في تعزيز الأفكار حول جهد الجاذبية، وفي ترسيخ التعلّم السابق، وتوسعته ليشمل المسائل التي تتضمن كتلتَين.

› **فكرة للتقويم:** يمكن للطلبة التحقّق من إجاباتهم ذاتيًا أو مع أقرانهم، وقد يقوم المعلم بدلًا من ذلك بتصحيح إجابات الطلبة لتكوين صورة واضحة عن مدى فهمهم للموضوع.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

يمكن لأولئك الطلبة الذين هم على معرفة بحساب التفاضل والتكامل استخدام تكامل $\left(\frac{GM}{r^2}\,dr\right)$ من اللانهاية إلى (r) للحصول على المعادلة $\left(\phi = -\frac{GM}{r}\right)$ لجهد الجاذبية (ϕ) عند نقطة ما.

الدعم

الأفكار التي تتمحور حول أن جهد الجاذبية هو صفر في اللانهاية وأننا نمتلك طاقة وضع جاذبية سالبة هي أفكار متقدمة، وسيجد بعض الطلبة بعض الصعوبة في فهم هذه الأفكار وقبولها، وقد يساعد رسم منحنى $-\frac{1}{r}$ بعض الطلبة على التغلّب على هذه الصعوبات، وسيرون بعدها أنه بتوفير طاقة كافية لجسم ما يمكنه أن يتحرّر كليًا من مجال الجاذبية الأرضية، وبدلًا من ذلك قد يكون من المفيد اعتبار طاقة وضع الجاذبية على أنها الطاقة التي يحتاج إليها جسم ما للتحرّر من الجاذبية، حيث تشير الإشارة السالبة إلى أن هناك مقدارًا من الطاقة يحتاج إليه الجسم للتحرر.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- يُستخدم التعبير $\Delta\phi = GM\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$ عندما تتحرك وحدة كتلة من مسافة (r_1) إلى مسافة (r_2) عن مركز كوكب. اطلب إلى الطلبة استنتاج هذه المعادلة من معادلة جهد الجاذبية عند نقطة ما، وانتبه بشكل خاص للإشارات الصحيحة في المعادلات.

الموضوع ١-٤: الدوران تحت تأثير الجاذبية

الأهداف التعليمية

١-١٠ يحلّل المدارات الدائرية في مجالات الجاذبية بدلالة الجاذبية التي تعمل كقوة مركزية والتسارع المركزي الذي تسببه هذه القوة.

١-١١ يذكر أن القمر الصناعي الثابت بالنسبة للأرض يبقى في النقطة نفسها فوق سطح الأرض، ويدور بزمن دوري مدته ٢٤ ساعة، من الغرب إلى الشرق، مباشرة فوق خط الاستواء.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذا الموضوع حصتان دراسيتان (ساعة و٢٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	١-٤ الدوران تحت تأثير الجاذبية	• المثال ٣ • الأسئلة من ١١ إلى ١٤
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ١-٥ الدوران تحت تأثير الجاذبية	• تساعد أسئلة النشاط ١-٤ في تعزيز فهم الأفكار حول مدارات الأقمار، وسرعتها والزمن الدوري.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- قد يعتقد الطلبة أن رواد الفضاء الذين يدورون حول الأرض لا يتأثرون بالجاذبية، وأنّ لا وزن لهم، وهذا ليس صحيحًا، فهم في حالة سقوط حرّ، وقوة شدّ الجاذبية الأرضية هي القوة المحصلة التي تسبب تسارع الجاذبية الذي يبقيهم هم ومركباتهم الفضائية في مدار حول الأرض.

أنشطة تمهيدية

فكرة (١٠ دقائق)

- من المفيد مراجعة بعض الأفكار من الصف الحادي عشر حول الحركة الدائرية (الوحدة السادسة)، وتحديدًا معادلة القوة المركزية ومعادلة الزمن الدوري للحركة الدائرية، فأعطِ الطلبة مجموعة صغيرة من المسائل من أجل حلّها لمراجعة استخدام هاتَين المعادلتَين.

› **أفكار للتقويم:** يمكن للطلبة استخدام السبورة البيضاء الفردية لعرض أعمالهم والتي يمكن تقييمها بواسطة أقرانهم أو بواسطة المعلم.

الأنشطة الرئيسية

١ المختبر الافتراضي (٣٠ دقيقة)

- ابحث في الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) عن رابط محاكاة موقع PhET للجاذبية والمدارات مستخدمًا عبارة البحث "phet gravity and orbits" لتوضيح كيف تعمل قوة الجاذبية كقوة مركزية في المدار، وستحتاج إلى اختيار «نموذج المقياس scale model» حتى يمكن رؤية القيم وغير ذلك، واستكشافها من خلال تغيير الكتل والأجسام وغيرها، قبل تكليف الطلبة بحساب المتغيرات المختلفة للنظام، ومن المهم الربط بين معادلة القوة المركزية وقانون نيوتن للجاذبية.

- يمكن توسيع استخدام المحاكاة لحساب الزمن الدوري المداري من خلال مراجعة موضوع الحركة الدائرية (الصف الحادي عشر – الوحدة السادسة)، ويمكن حساب القيم ثم اختبارها باستخدام المحاكاة.

› **فكرة للتقويم:** قد يستخدم الطلبة كراساتهم لعرض أعمالهم والتي يمكن تقييمها بواسطة أقرانهم أو بواسطة المعلم.

٢ أسئلة كتاب الطالب وأنشطة كتاب التجارب العملية والأنشطة (٣٠ دقيقة)

- يجب على الطلبة حل الأسئلة ١١–١٤ من كتاب الطالب وأسئلة النشاط ١–٥ من كتاب التجارب العملية والأنشطة، ستساعد هذه الأسئلة في تعزيز فهم الأفكار حول مدارات الجاذبية.

› **فكرة للتقويم:** يمكن للطلبة التحقّق من إجاباتهم ذاتيًا أو مع أقرانهم، وقد يقوم المعلم بدلًا من ذلك بتصحيح إجابات الطلبة لتكوين صورة واضحة عن مستوى فهمهم للموضوع.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

- يمكن تحدي الطلبة ذوي التحصيل الدراسي المرتفع بالطلب إليهم استنتاج قانون كبلر الثالث لحركة الكواكب؛ حيث تربط هذه المعادلة $\left(T^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{GM}\right)$ الزمن الدوري المداري بنصف قطر المدار.

- يمكن للطلبة ذوي التحصيل الدراسي المرتفع البحث في الاستخدامات المختلفة للأقمار الصناعية في المدارات حول الأرض، ويمكن أن يوسّع هذا البحث من مدارات الأقمار الثابتة بالنسبة إلى الأرض إلى المدارات القطبية للأقمار (الأقمار التي تمرّ فوق قطبَي الأرض بدلًا من الأقمار التي تدور حول خط الاستواء).

الدعم

سيواجه بعض الطلبة صعوبة في تذكّر الحركة الدائرية وقوانينها أو ربط هذا الموضوع بما تعلموه سابقًا عنها. فاستعراض هذه الأفكار والقوانين بإيجاز في الصف قد يساعد هؤلاء الطلبة؛ ويمكنك تزويدهم بملخصات تشتمل على الأفكار الأساسية للحركة الدائرية.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- توفر أسئلة نهاية الوحدة للطلبة فرصة لتجميع معارفهم المكتسبة حديثًا من خلال محاولة حلّ بعض الأسئلة التي تربط بين العديد من الأفكار التي تمّ تناولها في هذه الوحدة.

إجابات كتاب الطالب

العلوم ضمن سياقها

- قد تكون القوة الكهروستاتيكية أقوى بعدة مرات من قوة الجاذبية، ولكن قوة الجاذبية يمتد تأثيرها على مسافات كبيرة؛ لأن قوة الجاذبية تكون دائمًا في حالة تجاذب، في حين يوجد نوعان من الشحنات الكهربائية (موجبة وسالبة)؛ لذلك يمكن أن يكون التفاعل الكهرومغناطيسي إما تجاذبًا أو تنافرًا. وتميل الشحنات السالبة والموجبة بشكل عام إلى إلغاء تأثير بعضها على بعض، الأمر الذي يجعل أي جسم كبير الحجم متعادلًا كهربائيًا تقريبًا.
- يظهر التوازن بين قوى الجاذبية وقوى التنافر الكهروستاتيكي بصورة رائعة في تكوين النجوم. فالجاذبية تشدّ كميّات متزايدة من الغبار الكوني والغازات معًا؛ فترتفع الحرارة والضغط، وعندما يصبح هذا النجم الأولي كثيفًا بدرجة كافية، فإن كلًا من الحرارة والضغط يصبحان قويَّين بدرجة تكفي لدمج نوى الهيدروجين معًا، والتغلب على قوة التنافر (القوية جدًا) بين النوى موجبة الشحنة.

إجابات أسئلة موضوعات الوحدة

١. أ.

$$F = G\frac{m_1m_2}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{10^{-1} \times 10^{-1}}{(1.0 \times 10^{-2})^2}$$

$$F = 6.67 \times 10^{-9}\ \text{N}$$

ب.

$$F = G\frac{m_1m_2}{r^2}$$

$$= 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{5.0 \times 10^{10} \times 5.0 \times 10^{10}}{(4.0 \times 10^{9})^2}$$

$$F = 1.04 \times 10^{-8}\ \text{N} \approx 1.0 \times 10^{-8}\ \text{N}$$

ج.

$$F = G\frac{m_1m_2}{r^2}$$

$$= 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{1.4 \times 10^{4} \times 6.0 \times 10^{24}}{(6.8 \times 10^{6})^2}$$

$$F = 1.2 \times 10^{5}\ \text{N}$$

٢.

$$F = G\frac{m_1m_2}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{70 \times 70}{0.5^2}$$

$$F = 1.3 \times 10^{-6}\ \text{N} \approx 10^{-6}\ \text{N}$$

يزن الإنسان الذي كتلته (70 kg) نحو (700 N) على الأرض. فوزن كل منهما أكبر من جاذبيتهما المتبادلة بـ 10^9 مرة تقريبًا.

٣. عند مستوى سطح البحر:

$$W = F = G\frac{m_1m_2}{r^2}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24} \times 100}{(6.4 \times 10^{6})^2} = 977\ \text{N}$$

عند قمة جبل إيفرست:

$$W = F = G\frac{m_1m_2}{r^2}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24} \times 100}{(6.409 \times 10^{6})^2} = 974\ \text{N}$$

الفرق:

$$\Delta W = 977 - 974 = 3\ \text{N}$$

نلاحظ أن الفرق بسيط جدًا وربما لا يمكن قياسه وخصوصًا عند وجود عوامل أخرى تحول دون ذلك.

٤. أ. ١. شدة مجال الجاذبية بالقرب من سطح القمر:

$$g = \frac{GM}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.3 \times 10^{22}}{(1.74 \times 10^{6})^2}$$

$$= 1.6\ \text{N kg}^{-1}$$

٢. شدة مجال الجاذبية بالقرب من سطح الشمس:

$$g = \frac{GM}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 2.0 \times 10^{30}}{(7.0 \times 10^{8})^2}$$

$$\approx 270\ \text{N kg}^{-1}$$

ب. شدة مجال الجاذبية على سطح القمر ضعيفة جدًا، لذلك ستمتلك جزيئات الغاز طاقة كافية للتحرّر من قوة جاذبية القمر؛ لذلك يكون للقمر غلاف جوي رقيق في حين تمتلك الشمس شدة مجال جاذبية عالية جدًا،

وبالتالي فهي تشدّ جزيئات الغاز بحيث تكون قريبة جدًا منها؛ لذلك يكون للشمس غلاف جوي سميك.

٥. أ. شدة مجال الجاذبية الأرضية في موقع القمر:

$$g = \frac{GM}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{(3.8 \times 10^8)^2}$$

$$\approx 2.8 \times 10^{-3} \text{ N kg}^{-1}$$

ب. القوة:

$$F = mg$$

$$F = 7.3 \times 10^{22} \times (2.8 \times 10^{-3}) = 2.0 \times 10^{20} \text{ N}$$

التسارع المركزي:

$$a = \frac{F}{m}$$

$$= \frac{2.0 \times 10^{20}}{7.3 \times 10^{22}} = 2.9 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-2}$$

٦. $g_{\text{المشتري}} = \frac{GM}{r^2} = 9.81 \times \frac{320}{11.2^2} = 25 \text{ N kg}^{-1}$

٧. شدة مجال جاذبية الشمس على الأرض:

$$g_s = \frac{GM}{r^2}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 2.0 \times 10^{30}}{(1.5 \times 10^{11})^2} \approx 5.9 \times 10^{-3} \text{ N kg}^{-1}$$

شدة مجال جاذبية القمر على الأرض:

$$g_m = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.3 \times 10^{22}}{(3.8 \times 10^8)^2} \approx 3.4 \times 10^{-5} \text{ N kg}^{-1}$$

لذلك، تمتلك الشمس قوة شدّ أكبر على كل كيلوغرام من مياه البحر.

٨. أ. قوة جاذبية كوكب المريخ على الطفل:

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

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.4 \times 10^{23} \times 4.0}{(1.0 \times 10^{11})^2} = 1.7 \times 10^{-8} \text{ N}$$

ب. قوة جاذبية الأم على الطفل:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 50 \times 4.0}{0.40^2}$$

$$= 8.3 \times 10^{-8} \text{ N}$$

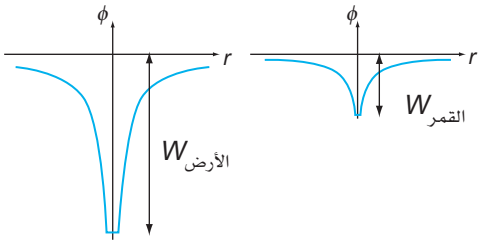
٩. أ. $\phi_{\text{الأرض}} = -\frac{GM}{r} = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{6.4 \times 10^6}$

$$= -6.3 \times 10^7 \text{ J kg}^{-1}$$

ب. $\phi_{\text{القمر}} = -\frac{GM}{r} = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.3 \times 10^{22}}{1.74 \times 10^6}$

$$\approx -2.8 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$$

ج.



بئر جهد القمر　　بئر جهد الأرض

بئر جهد القمر أقل عمقًا.

د. يتضح من المخطط في الجزئية (ج) أن $W_{\text{الأرض}}$ هي الطاقة اللازمة لرفع كل كيلوغرام ابتداءً من سطح الأرض ليتحرّر من المجال الأرضي، والذي يمكن رؤيته على أنه أكبر بكثير من $W_{\text{القمر}}$ وهي الطاقة اللازمة لرفع كل كيلوغرام ابتداءً من سطح القمر ليتحرّر من مجال القمر. لذلك، لا يحتاج الصاروخ الذي ينطلق من سطح القمر إلى حمل كمية كبيرة من الوقود.

١٠. أ. يختلف نصف قطر مدار مركبة القيادة حول القمر (المدار إهليلجي)؛ فكلما اقتربت من القمر، كانت في موضع أعمق في بئر الجهد وكان جهدها أصغر وبالتالي فإن لها طاقة وضع جاذبية متغيرة.

ب. $\Delta\phi = GM\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

$r_2 = r_1 + 310 = 1740 + 310 = 2050 \text{ km}$

$$= 6.67 \times 10^{-11} \times 7.3 \times 10^{22}\left[\frac{1}{(1.74 \times 10^6)} - \frac{1}{(2.05 \times 10^6)}\right]$$

$$\Delta\phi = 4.2 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$$

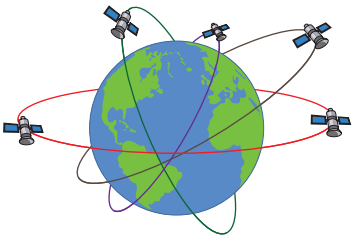
١١. نصف القطر المداري = نصف قطر الأرض + ارتفاع القمر الصناعي فوق سطح الأرض:

$$= 6.4 \times 10^6 + 2.0 \times 10^5 = 6.6 \times 10^6 \text{ m}$$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{6.6 \times 10^6}}$$

$$= 7.8 \times 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

١٢. يبيّن المخطط قمرًا صناعيًا وهو يدور لولبيًا نحو الأرض.



يحتاج القمر الصناعي إلى إطلاق صاروخ دفع صغير للإبقاء على سرعته ومداره.

١٣. $r^3 = \frac{GMT^2}{4\pi^2}$

$$r^3 = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.4 \times 10^{23} \times (24.6 \times 3600)^2}{4\pi^2}$$

$$= 8.48 \times 10^{21} \text{ m}^3$$

$$r = 2.0 \times 10^7 \text{ m}$$

١٤. المسافة المقطوعة للإشارة المرسلة إلى القمر الصناعي وعودتها:

$$= 2 \times (42300000 - 6400000) = 7.18 \times 10^7 \text{ m}$$

الزمن الإضافي الذي تستغرقه الإشارة التي تنتقل عبر القمر الصناعي (t):

$$\text{الزمن} = \frac{\text{المسافة}}{\text{السرعة}}$$

$$t = \frac{7.18 \times 10^7}{3.0 \times 10^8} = 0.24 \text{ s}$$

تنتقل الإشارات أبطأ في الكابلات ولكن المسافة تكون أقصر بكثير. لذا فإن التأخير الزمني (أو الفرق الزمني) الإجمالي أقل من التأخير بالنسبة إلى الأقمار الصناعية.

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. ب (أ: أخطأ في تربيع r؛ ج و د: قلب المضاعفات)

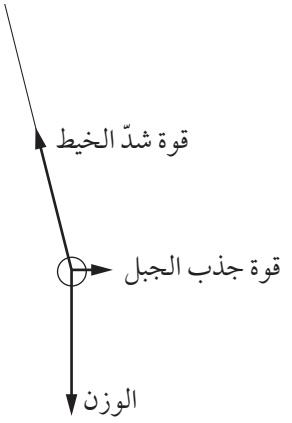
٢. ب (أ: القسمة على r^2 ؛ ج و د: جهد الجاذبية سالب وليس موجبًا).

٣. $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$

$$= 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{20 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^{-3}}{(5.00 \times 10^{-3})^2}$$

$$F = 1.07 \times 10^{-9} \text{ N}$$

٤. أ. سهم يميل رأسيًا إلى الأسفل بعنوان «الوزن» أو «قوة الجاذبية الأرضية»، وسهم إلى اليمين بعنوان «قوة جذب الجبل»، وسهم على طول الخيط بعنوان «قوة شدّ الخيط».



ب. $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$

$$= 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{3.8 \times 10^{12} \times 0.020}{1200^2}$$

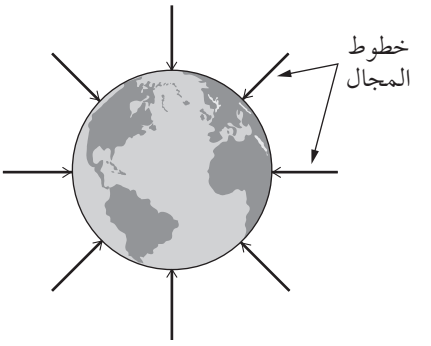
$$F = 3.5 \times 10^{-6} \text{ N}$$

ج. قوة الجاذبية الأرضية:

$$F = mg = 0.020 \times 9.81 = 0.196 \text{ N}$$

وهذه القوة أكبر بمقدار 5.6×10^4 مرة من القوة المؤثرة على الكتلة نفسها بسبب الجبل.

٥. أ. أسهم نحو مركز الأرض.



ب. يمكن اعتبار مجال الجاذبية الأرضية حتى ارتفاع 10000 m منتظمًا، ولكن عندما يتحرك شيء ما بعيدًا عن الأرض، فإننا يجب أن ندرك أن هناك انخفاضًا كبيرًا في شدة المجال.

٦. أ. كتلة عطارد = الكثافة × الحجم

$$M_{\text{عطارد}} = \frac{4}{3}\pi r^3 \times \rho$$
$$= \frac{4}{3}\pi \times (2.44 \times 10^6)^3 \times 5.4 \times 10^3$$
$$= 3.29 \times 10^{23}\ \text{kg}$$
$$g = \frac{GM}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 3.29 \times 10^{23}}{(2.44 \times 10^6)^2}$$
$$= 3.68\ \text{N kg}^{-1} \approx 3.7\ \text{N kg}^{-1}$$

ب. كتلة الشخص:

$$m = \frac{W}{g} = \frac{900}{9.81} = 91.74\ \text{kg}$$

الوزن على عطارد:

$$W = mg = 91.74 \times 3.68 = 337.1\ \text{N} \approx 340\ \text{N}$$

٧. المسافة عن مركز المريخ:

$$= 3.4 \times 10^6 + 20 \times 10^6 = 23.4 \times 10^6\ \text{m}$$

طاقة الوضع:

$$E_p = -\frac{GMm}{r}$$
$$E_p = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.4 \times 10^{23} \times 250}{23.4 \times 10^6}$$
$$= -4.6 \times 10^8\ \text{J}$$

٨. أ.
$$r^3 = \frac{GMT^2}{4\pi^2}$$
$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 1.48 \times 10^{23} \times (7.15 \times 24 \times 3600)^2}{4\pi^2}$$
$$= 95.4 \times 10^{21}\ \text{m}^3$$
$$r = 4.57 \times 10^7\ \text{m}$$

ب. قرب كوكب المشتري الكبير جدًا من الممكن أن يؤدي إلى عدم استقرار المدار بسبب قوة جاذبيته الكبيرة.

٩. أ. محيط المدار:

$$= 2\pi r = 2\pi \times 1.5 \times 10^{11} = 9.42 \times 10^{11}\ \text{m}$$

$$\text{السرعة المدارية} = \frac{\text{المحيط}}{\text{الزمن}}$$
$$v = \frac{9.42 \times 10^{11}}{365 \times 24 \times 3600}$$
$$v = 3.0 \times 10^4\ \text{m s}^{-1}$$

ب. التسارع المركزي:

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{(3.0 \times 10^4)^2}{1.50 \times 10^{11}} = 6.0 \times 10^{-3}\ \text{m s}^{-2}$$

ج. $6.0 \times 10^{-3}\ \text{N kg}^{-1}$ ؛ يوفر مجال الجاذبية للشمس قوة مركزية للأرض.

١٠. أ. ١.
$$g = \frac{GM}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.4 \times 10^{23}}{(3.395 \times 10^6)^2}$$
$$= 3.7\ \text{m s}^{-2}$$

٢.
$$\phi = -\frac{GM}{r} = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.4 \times 10^{23}}{3.395 \times 10^6}$$
$$= -1.257 \times 10^7 \approx -1.3 \times 10^7\ \text{J kg}^{-1}$$

ب. $1.3 \times 10^7\ \text{J kg}^{-1}$

ج. $\frac{1}{2}mv^2 = m\phi$

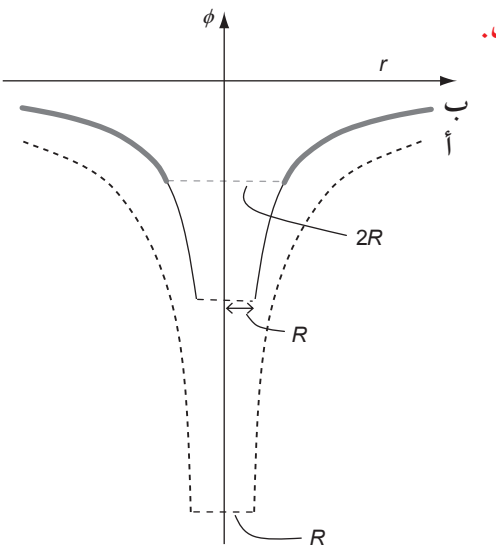
لذلك فإن،

$$v = \sqrt{2\phi} = \sqrt{2 \times 1.257 \times 10^7} = 5014\ \text{m s}^{-1}$$

د. لأن الشغل المبذول في رفع كتلة المركبة من الأرض إلى المريخ سيكون كبيرًا جدًا. لذلك يتطلب صاروخًا قويًا جدًا لتنفيذ كل ذلك دفعة واحدة.

١١. أ. الشغل المبذول لكل وحدة كتلة لنقل كتلة من اللانهاية إلى تلك النقطة.

ب.



١. الخط المتقطع في المخطط: له نصف القطر نفسه ولكن عمقه ضعف عمق بئر الجهد الأصلي ويقع خارجه.

٢. الخط السميك على المخطط: يسير على طول خطوط البئر الحالية، ولكنه يتوقف عند ضعف نصف القطر.

ج. الخط ب (٢)، لأن البئر الأقل عمقًا أسهل تسلقًا.

د. استخدم المعادلة $\phi = -\frac{GM}{r}$ مرة، واستخدم $\phi = -\frac{GM}{r}$ مرة ثانية، أو استخدم

$$\Delta\phi = GM\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= 6.67 \times 10^{-11} \times 4.87 \times 10^{24}\left[\frac{1}{6.05 \times 10^6} - \frac{1}{6.95 \times 10^6}\right]$$

$$= 6.95 \times 10^6 \text{ J Kg}^{-1}$$

١٢. أ. قوة الجاذبية لكل وحدة كتلة عند النقطة.

ب. ١. $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$

$$= 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{1.27 \times 10^{22} \times 1.50 \times 10^{21}}{(1.96 \times 10^7)^2}$$

$$= 3.31 \times 10^{18} \text{ N}$$

٢. $F = \frac{mv^2}{r}$ وبالتعويض عن قيمة v من المعادلة $v = \frac{2\pi r}{T}$

نحصل على:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{rm}{F}}$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{1.7530 \times 10^7 \times 1.5 \times 10^{21}}{3.31 \times 10^{18}}}$$

$$= 5.6 \times 10^5 \text{ s}$$

(يساوي 6.5 يوم)

٣. لكي لا يفقدا الاستقرار في مدارَيهما (أو بكلمات بهذا المعنى).

١٣. أ. 0.80 N kg^{-1} (±0.1 مدى مقبول).

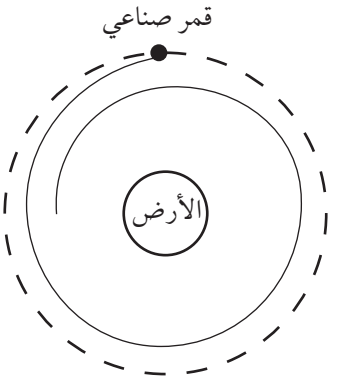
ب. 0.80 m s^{-2} (يجب أن يكون مساويًا عدديًا للجزئية أ).

ج. $r = R + 2R = 3R = 19.2 \times 10^6$

$a = \frac{v^2}{r}$، ومنها v:

$$= \sqrt{ar} = \sqrt{0.80 \times 19.2 \times 10^6} = 3.9 \times 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

د. ١. مسار لولبي إلى المركز.



٢. يتسبّب الشغل المبذول بواسطة قوة الاحتكاك في الغلاف الجوي إلى تسخين «احتراق» القمر الصناعي.

إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة

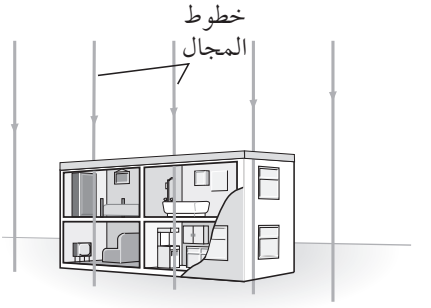
إجابات أسئلة الأنشطة

نشاط ١-١: قانون نيوتن للجاذبية

١. أ. لأن قوة الجاذبية تكون دائمًا موجهة نحو مركز الأرض.

ب. مركز الأرض (أصل مجال الجاذبية).

ج. ١. يبيّن المخطط خطوط المجال المستقيمة والمتوازية والمتباعدة بشكل متساوٍ والموجهة نحو سطح الأرض على سبيل المثال.



٢. خطوط المجال مستقيمة ومتوازية ومتباعدة بشكل متساوٍ.

د. تتباعد خطوط المجال أكثر مع ازدياد المسافة عن الأرض.

٢. أ. القوتان باتجاهَين متعاكسَين.

ب. القوتان متساويتان في المقدار.

ج. B سيكون له تسارع أكبر. على الرغم من أن كلًا من الجسمَين يتأثر بقوة لها المقدار نفسه؛ لذلك فإن التسارع يساوي $\frac{F}{m}$. ونظرًا إلى أن الكتلة B أقل، فإنه سيكون لها تسارع أكبر.

٣. أ. $G = \frac{Fr^2}{m_1 m_2}$

ب. بتعويض الوحدات في المعادلة: وحدات

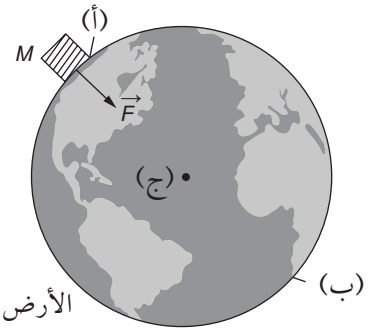
$G = \text{N} \times \text{m}^2 / \text{kg}^2 = \text{kg m s}^{-2} \times \text{m}^2 / \text{kg}^2$

$= \text{m}^3 \text{ s}^{-2} \text{ kg}^{-1}$

٤. أ. الإجابة على الرسم.

ب. النقطة (أ) تسبب أكبر قوة جاذبية لأنها الأقرب إلى الكتلة.

ج. النقطة (ب) تسبب أقل قوة جاذبية لأنها الأبعد عن الكتلة.



د. انظر إلى المخطط موضع (ج). فهذه النقطة هي مركز كتلة الأرض (والكتلة موزّعة بشكل منتظم حول هذه النقطة).

٥. أ. $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$

$F = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24} \times 6.0}{(6400 \times 10^3)^2} \approx 59 \text{ N}$

ب. $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$

$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 2.0 \times 10^{30} \times 6.0 \times 10^{24}}{(150 \times 10^9)^2}$

$F \approx 3.6 \times 10^{22} \text{ N}$

نشاط ١-٢: شدة مجال الجاذبية

١. أ. $W = mg = 20.0 \times 9.80 = 196 \text{ N}$

ب. الوزن عند خط الاستواء:

$W = mg = 20.0 \times 9.78 = 195.6 \text{ N}$

الوزن عند القطب:

$W = mg = 20.0 \times 9.83 = 196.6 \text{ N}$

الازدياد في الوزن:

$= 196.6 - 195.6 = 1.0\ \text{N}$

ج. ستنخفض g كلما صعدت إلى قمة الجبل؛ لأن المسافة من مركز الأرض تزداد، و g تتناسب عكسيًا مع مربع المسافة عن مركز الأرض.

٢. أ. $g = \frac{F}{m}$ وبما أن $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$ فإن:

$$g = \frac{Gm_1m_2}{m_2r^2} = \frac{Gm_1}{r^2} = \frac{GM}{r^2}$$

(لأن $m_1 = M$)

ب.
$$g = \frac{GM}{r^2}$$
$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{(6.4 \times 10^6)^2}$$
$$= 9.77 \approx 9.8\ \text{N kg}^{-1}$$

(رقمَين معنويَّين)

٣. أ.
$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$
$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.3 \times 10^{22} \times 1.0}{(1.74 \times 10^6)^2} \approx 1.6\ \text{N}$$

ب. $g = 1.6\ \text{N kg}^{-1}$، لأن g تعرّف على أنها القوة لوحدة الكتلة.

ج. $W = mg = 20.0 \times 1.6 = 32\ \text{N}$

د. $F = ma = mg$

$a = g = 1.6\ \text{m s}^{-2}$

٤. أ.
$$g = \frac{GM}{r^2}$$
$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 1.27 \times 10^{22}}{(2070 \times 10^3)^2} \approx 0.198\ \text{N kg}^{-1}$$

يتجه نحو بلوتو (إلى اليمين).

ب.
$$g = \frac{GM}{r^2}$$
$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 1.50 \times 10^{21}}{(19600 \times 10^3 - 2070 \times 10^3)^2}$$
$$\approx 3.26 \times 10^{-4}\ \text{N kg}^{-1}$$

يتجه نحو قمر بلوتو (إلى اليسار).

ج. g كمية متجهة.

محصلة g:

$g = 0.198 - 3.26 \times 10^{-4} = 0.197\ \text{N kg}^{-1}$

(باستخدام القيم الأصلية غير المقربة).

القوة على كتلة 1 kg = محصلة g = 0.197 N

(باتجاه بلوتو، إلى اليمين).

نشاط ١-٣: الطاقة وجهد الجاذبية

١. أ. $E_p = -60\ \text{J}$

ب. $E_p = m\phi = 50 \times -60 = -3000\ \text{J}$

ج. $W = -3000\ \text{J}$

د. $W = +3000\ \text{J}$

هـ. ١. Q

٢. $W = m\Delta\phi = 50.0 \times (-40 - -60) = 1000\ \text{J}$

٢. أ. G هو ثابت الجاذبية، و M هي كتلة الجسم الذي تسبّب بمجال الجاذبية، و r هي المسافة من (مركز) الكتلة التي تسبّبت بالمجال.

ب.
$$\phi = -\frac{GM}{r}$$
$$= -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{6.4 \times 10^6}$$
$$= -6.3 \times 10^7\ \text{J kg}^{-1}$$

ج.
$$\phi = -\frac{GM}{r}$$
$$= -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.3 \times 10^{22}}{1.74 \times 10^6}$$
$$= -2.8 \times 10^6\ \text{J kg}^{-1}$$

د. $E_p = m\phi = 120 \times -2.8 \times 10^6 = -3.4 \times 10^8\ \text{J}$

هـ. رائد الفضاء في المركبة الفضائية له أعلى جهد جاذبية لأنه على مسافة أكبر عن مركز القمر (بُذل شغل لرفعه إلى المدار).

٣. أ.
$$E_p = m\phi = -\frac{GMm}{r}$$
$$= -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{6.400000 \times 10^6} = -62531250\ \text{J}$$

ب. $E_p = m\phi = -\frac{GMm}{r}$

$= -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24} \times 1.0}{6.400100 \times 10^{6}}$

$= -62530273$ J

ج. $\Delta E_p = -62530273 - (-62531250) = 977$ J

د. $\Delta E_p = mg\Delta h = 1.0 \times 9.81 \times 100 = 981$ J

(الإجابة نفسها تقريبًا؛ يأتي الاختلاف لأننا لم نستخدم قيمة دقيقة جدًا لنصف قطر الأرض).

نشاط ١-٤: المجال والجهد الناشئ عن كتلتَين

١. أ. $g = \frac{GM}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{(3.41 \times 10^{8})^2}$

$= 3.4 \times 10^{-3}$ N kg^{-1}

يتجه نحو الأرض.

$\phi = -\frac{GM}{r} = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{3.41 \times 10^{8}}$

$= -1.2 \times 10^{6}$ J kg^{-1}

ب. $g = \frac{GM}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.3 \times 10^{22}}{(3.8 \times 10^{7})^2}$

$\approx 3.4 \times 10^{-3}$ N kg^{-1}

يتجه نحو القمر.

$\phi = -\frac{GM}{r} = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.3 \times 10^{22}}{3.8 \times 10^{7}}$

$= -1.3 \times 10^{5}$ J kg^{-1}

ج. 0 N kg^{-1}، لأن شدة مجال الجاذبية كمية متجهة وعند النقطة P يوجد متجهان لشدة مجال الجاذبية متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه.

د. جهد الجاذبية كمية عددية؛ لذلك يمكن إيجاد الجهد الكلّي ببساطة وذلك بجمع الجهدَين.

$\phi_T = \phi_{\text{الأرض}} + \phi_{\text{القمر}}$

$\phi = -1.2 \times 10^{6} + (-1.3 \times 10^{5})$

$= -1.3 \times 10^{6}$ J kg^{-1}

٢. أ. $g = \frac{GM_1}{r_1^2} + \frac{GM_2}{r_2^2}$

$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 8.0 \times 10^{30}}{(2.0 \times 10^{11})^2} + \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 2.0 \times 10^{30}}{(1.0 \times 10^{11})^2}$

$= 0.027$ N kg^{-1}

يتجه نحو اليسار.

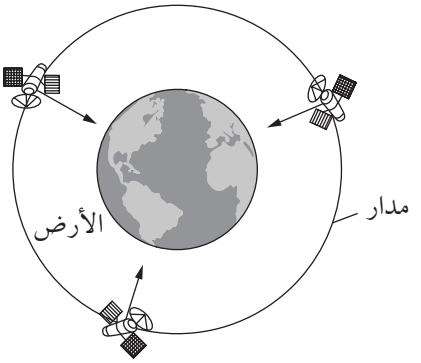
ب. $\phi = -\frac{GM_1}{r_1} + \left(-\frac{GM_2}{r_2}\right)$

$= -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 8.0 \times 10^{30}}{2.0 \times 10^{11}} - \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 2.0 \times 10^{30}}{1.0 \times 10^{11}}$

$= -4.0 \times 10^{9}$ J kg^{-1}

نشاط ١-٥: الدوران تحت تأثير الجاذبية

١. أ.



ب. المسافة:

$= 6.4 \times 10^{6} + 2.6 \times 10^{6} = 9.0 \times 10^{6}$ m

$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$

$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24} \times 450}{(9.0 \times 10^{6})^2}$

$= 2223.3 \approx 2200$ N

ج. تعمل قوة الجاذبية كقوة مركزية:

$F = \frac{mv^2}{r} = 2200$

$v = \sqrt{\frac{Fr}{m}} = \sqrt{\frac{2200 \times 9.0 \times 10^{6}}{450}} \approx 6600$ m s^{-1}

د. $T = \frac{2\pi r}{v}$

$= \frac{2\pi \times 9.0 \times 10^{6}}{6600} \approx 8500$ s

أو 140 دقيقة تقريبًا.

٢. أ. S

ب. S، حيث إن قوة الجاذبية تتناسب عكسيًا مع مربع المسافة بين مركزَي الكتلتين.

ج. S، لأنها أقل قيمة سالبة في هذه النقطة.

د. S، لأن لها أكبر طاقة وضع جاذبية في هذه النقطة وأقل طاقة حركة وطاقتها الكلية تبقى ثابتة خلال مدارها.

٣. أ. الزمن الدوري المداري هي فترة دوران الأرض حول نفسها أي ٢٤ ساعة.

$$T = 24 \times 60 \times 60 = 86400 \text{ s}$$

ب. ١. M = كتلة المريخ.

r = المسافة من مركز المريخ إلى موقع القمر الصناعي.

٢. للمريخ:

$$T = 24.6 \text{ h} = 88560 \text{ s} \text{ ، } M = 6.4 \times 10^{23} \text{ kg}$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{GM} \text{ لذلك } r^3 = \frac{T^2 GM}{4\pi^2}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{T^2 GM}{4\pi^2}}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{88560^2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 6.4 \times 10^{23}}{4\pi^2}}$$

$$= 2.0 \times 10^7 \text{ m}$$

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. أ. شدة مجال الجاذبية عند نقطة ما هي قوة الجاذبية المؤثرة لكل وحدة كتلة لجسم صغير موضوع في تلك النقطة.

ب. $g = \frac{F}{m} = \frac{W}{m} = \frac{836}{220} = 3.8 \text{ N kg}^{-1}$

ج. $g = \frac{GM}{r^2}$

$$M = \frac{gr^2}{G} = \frac{3.8 \times (3.375 \times 10^6)^2}{6.67 \times 10^{-11}}$$

$$= 6.5 \times 10^{23} \text{ N kg}^{-1}$$

د. شدة المجال هي نفسها من حيث المقدار والاتجاه داخل منطقة محددة بالقرب من سطح المريخ.

٢. أ. جهد الجاذبية هو الشغل المبذول لكل وحدة كتلة في نقل جسم من اللانهاية إلى نقطة ما في مجال الجاذبية.

ب. ١. نصف قطر المدار:

$$r = 6400 + 500 = 6900 \text{ km}$$

$$\phi = -\frac{GM}{r} = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{6900 \times 10^3}$$

$$= -5.8 \times 10^7 \text{ J kg}^{-1}$$

٢. $5.8 \times 10^7 \text{ J kg}^{-1}$، هذا هو الشغل المطلوب لكل كيلوغرام من الكتلة لتحريك الجسم إلى ما لا نهاية (وبالتالي التحرّر من المجال).

٣. قوة الجاذبية = القوة المركزية

لذلك، $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{6900 \times 10^3}}$$

$$= 7615.8 \approx 7600 \text{ m s}^{-1}$$

٤. $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi \times 6900 \times 10^3}{7600} \approx 5700 \text{ s}$

أو 95 دقيقة تقريبًا.

٣. أ. أي يتطلب 30 MJ من الشغل لتحريك 1 kg من نقطة على هذا السطح إلى ما لا نهاية.

ب. طاقة وضع الجاذبية تساوي صفرًا في اللانهاية؛ أي يُبذل شغل سالب في نقل الجسم من اللانهاية إلى سطح الأرض (وجود قوة تجاذب).

ج. مسافة أصغر لبذل الشغل نفسه في الانتقال من (-50 MJ kg^{-1}) إلى (-40 MJ kg^{-1})، بالمقارنة مع الانتقال من (-40 MJ kg^{-1}) إلى (-30 MJ kg^{-1})؛ حيث إن الشغل = القوة × المسافة، لذا فإن المسافة الأصغر تعني قوة أكبر.

د. طاقة وضع الجاذبية (GPE) المفقودة = طاقة الحركة المكتسبة (KE)

$$m\Delta\phi = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{2\Delta\phi} = \sqrt{2 \times 10 \times 10^6} = 4.5 \times 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

٤. أ. أي كتلتَين نقطيتَين تجذب كل منهما الأخرى بقوة تتناسب طرديًا مع حاصل ضرب كتلتَيهما وعكسيًا مع مربع المسافة بينهما.

ب. قوة الجاذبية = القوة المركزية

$$\frac{GMm}{R^2} = \frac{mv^2}{R}$$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

ج. ١. شدة مجال الجاذبية كمية متجهة وتكون عند P لكل من الكتلتَين متساوية في المقدار ومتعاكسة في الاتجاه.

٢. أ. يحلّل كل متجه لشدة مجال جاذبية إلى مركّبتَين رأسية وأفقية. مجموع المركّبتَين الأفقيتَين يساوي صفرًا لأنهما ستكونان متساويتَين في المقدار ومتعاكستَين في الاتجاه.

المركّبة الرأسية لشدة مجال الجاذبية لكتلة واحدة:

$$g_y = \frac{GM}{R^2} \times \cos 45^\circ$$

المركّبة الرأسية المحصلة للكتلتَين:

$$g_T = 2 \times \frac{GM}{R^2} \times \cos 45^\circ$$

المحصلة:

$$g_T = \frac{2GM}{R^2} \times \cos 45^\circ$$

ب. $$\phi_T = -\frac{2GM}{R}$$

(وذلك نظرًا إلى أن جهد الجاذبية هو كمية عددية، لذلك فإن جهد الجاذبية لكل كتلة يُجمع ببساطة إلى جهد جاذبية الكتلة الأخرى).

الوحدة الثانية

المجالات الكهربائية وقانون كولوم

نظرة عامة

- تشرح هذه الوحدة مفهوم المجال الكهربائي وتتناول المجالات الكهربائية المنتظمة رياضيًا.
- تتطرّق الوحدة بعد ذلك لوصف المجال الكهربائي الناتج عن كل من الشحنة الكهربائية النقطية والكرة المشحونة.
- تستعرض هذه الوحدة أيضًا طاقة الوضع لشحنة ما في مجال كهربائي، وصولًا إلى مفهوم الجهد الكهربائي عند نقطة ما.
- يتوقع من الطالب خلال هذه الوحدة أن:

– يذكر أن المجال الكهربائي هو مثال على مجال القوة ويعرّف شدة المجال الكهربائي على أنها القوة لوحدة الشحنة الموجبة.

– يمثّل مجالًا كهربائيًا باستخدام خطوط المجال.

– يستخدم معادلة القوة المؤثرة على شحنة في مجال كهربائي: $\vec{F} = Q\vec{E}$.

– يستخدم معادلة حساب شدة المجال الكهربائي المنتظم بين لوحَين متوازيَين مشحونَين: $\vec{E} = \frac{\Delta V}{\Delta d}$.

– يصف تأثير المجال الكهربائي المنتظم على حركة الجسيمات المشحونة.

– يذكر أنه بالنسبة إلى نقطة خارج موصل كروي، يمكن اعتبار الشحنة الموجودة على الكرة شحنة نقطية في مركزها.

– يذكر نص قانون كولوم ويستخدم معادلة القوة بين شحنتَين نقطيتَين في الفراغ: $\vec{F} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$.

– يستخدم معادلة شدة المجال الكهربائي $\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ الناشئ عن شحنة نقطية في الفراغ.

– يعرّف الجهد الكهربائي عند نقطة ما على أنه الشغل المبذول لوحدة الشحنة الموجبة لنقل شحنة اختبارية صغيرة من اللانهاية إلى تلك النقطة.

– يستخدم معادلة الجهد الكهربائي في المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية $V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$.

– يصف كيف أن مفهوم الجهد الكهربائي مرتبط بطاقة الوضع الكهربائية لشحنتَين نقطيتَين ويستخدم: $E_p = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r}$.

- ثمّة فرص لتغطية جميع أهداف التقويم الثلاثة: AO1 (المعرفة والفهم)، AO2 (معالجة المعلومات وتطبيقها وتقييمها) و AO3 (المهارات والاستقصاءات التجريبية).

مخطط التدريس

أهداف الموضوع	الموضوع	عدد الحصص	المصادر في كتاب الطالب	المصادر في كتاب التجارب العملية والأنشطة
٢-١، ٢-٢، ٢-٣، ٢-٤، ٢-٥	٢-١ المجال الكهربائي ٢-٢ شدة المجال الكهربائي ٢-٣ القوة المؤثّرة على شحنة كهربائية	٥	الأسئلة من ١ إلى ١٢ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ٢-١ تمثيل مجال كهربائي نشاط ٢-٢ حساب القوة وشدة المجال الكهربائي نشاط ٢-٣ حركة الشحنات في مجال كهربائي أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٢-٦، ٢-٧، ٢-٨	٢-٤ قانون كولوم والمجالات الشعاعية	٣	السؤالان ١٣ و ١٤ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ٢-٤ المجال الكهربائي حول شحنة كهربائية نقطية أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٢-٩، ٢-١٠، ٢-١١	٢-٥ الجهد وطاقة الوضع الكهربائية	٤	الأسئلة من ١٥ إلى ١٧ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ٢-٥ الجهد الكهربائي الاستقصاء العملي ٢-١: التحقق من معادلة الجهد الكهربائي أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع

الموضوعات ٢-١: المجال الكهربائي، ٢-٢: شدة المجال الكهربائي، ٢-٣: القوة المؤثرة على شحنة كهربائية

الأهداف التعليمية

٢-١ يذكر أن المجال الكهربائي هو مثال على مجال القوة ويعرّف شدة المجال الكهربائي على أنها القوة لوحدة الشحنة الموجبة.

٢-٢ يمثّل مجالاً كهربائيًا باستخدام خطوط المجال.

٢-٣ يستخدم معادلة القوة المؤثرة على شحنة في مجال كهربائي: $\vec{F} = Q\vec{E}$.

٢-٤ يستخدم معادلة حساب شدة المجال الكهربائي المنتظم بين لوحَين متوازيَين مشحونَين: $\vec{E} = \frac{\Delta V}{\Delta d}$.

٢-٥ يصف تأثير المجال الكهربائي المنتظم على حركة الجسيمات المشحونة.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذه الموضوعات ٥ حصص دراسية (٣ ساعات و٢٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٢-١ المجال الكهربائي ٢-٢ شدة المجال الكهربائي ٢-٣ القوة المؤثّرة على شحنة كهربائية	• الأسئلة من ١ إلى ١٢
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٢-١ تمثيل مجال كهربائي نشاط ٢-٢ حساب القوة وشدة المجال الكهربائي نشاط ٢-٣ حركة الشحنات في مجال كهربائي	• أسئلة النشاط ٢-١ تدرب على رسم المجالات الكهربائية. • أسئلة النشاط ٢-٢ تعزز فهم الطلبة للمعادلات التي تحدد شدة المجال الكهربائي وكيفية تطبيقها. • أسئلة النشاط ٢-٣ توضح أن الشحنات تتحرك في مجال كهربائي معيّن.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- يتوقع بعض الطلبة أن القوة المؤثرة على شحنة الاختبار في المجال المنتظم ستزداد كلما اقتربت هذه الشحنة الكهربائية من اللوح الموجب، وهذا يتناقض مع فكرة المجال المنتظم، فذكّر الطلبة أنه على الرغم من أن طاقة الوضع لشحنة الاختبار (الموجبة) تزداد كلما اقتربت الشحنة الكهربائية من اللوح الموجب، إلّا أن القوة المؤثرة على تلك الشحنة الكهربائية تكون نفسها أينما كانت شحنة الاختبار بين اللوحَين.

أنشطة تمهيدية

درس الطلبة مجال الجاذبية المنتظم من قبل، ويمكنك توضيح أوجه التشابه بينه وبين المجال الكهربائي المنتظم بالرسم.

نقترح عليك فكرتَين كتمهيد لهذه الموضوعات؛ وسيعتمد اختيارك على الموارد المتوفرة، وعلى الزمن المتاح، وعلى كيفية تقدم الطلبة في فهم هذه الموضوعات.

فكرة أ (١٠–١٥ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: طبق بتري، قطبان فلزيان، حبيبات سميد، مصدر جهد كهربائي عالٍ (2 kV)، سلكا توصيل، زيت خروع أو زيت برافين.

> ⚠ **احتياطات الأمان والسلامة**
>
> - تأكّد من أن مصدر الجهد الكهربائي يشتمل على مقاومة أمان كبيرة، ويمكنك بدلًا من ذلك استخدام مولد فان دي جراف لتوفير فرق الجهد الكهربائي المطلوب.
> - نبّه الطلبة لخطورة لمس الزيت والأقطاب الكهربائية المتصلة بالجهد العالي.

- ركّب الأدوات كما في الصورة ٢–٢ الواردة في كتاب الطالب، رشّ بعض حبّات السميد على سطح زيت الخروع، ثم شغّل مصدر جهد كهربائي عالٍ (HT)، حيث يمكنك صنع أقطاب كهربائية بأشكال مختلفة بسهولة، مثل قطب دائري وقطب آخر نقطي في مركز القطب الدائري؛ ليبيّن المجال الكهربائي لشحنة نقطية، ولكنك قد تفضّل استخدام شكل المجال الناشئ في هذه الحالة عند شرح مجالات الشحنات النقطية.

يمكن استخدام هذا العرض العملي لتقديم فكرة القوة الكهربائية وفكرة شدة المجال الكهربائي عند نقطة ما وكذلك لرسم خطوط المجال الكهربائي.

إذا كانت الأدوات اللازمة لهذا العرض التوضيحي غير متوفرة فهناك العديد من الفيديوهات تجدها في الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) فاستخدم عبارة البحث "electric field semolina" لهذا الغرض.

› **أفكار للتقويم:** وجّه الطلبة إلى مقارنة ما لاحظوه برسم خطوط المجالات المغناطيسية، واسألهم عن سبب اصطفاف حبيبات السميد بهذه الطريقة، وقارن ذلك ببرادة الحديد في المجالات المغناطيسية.

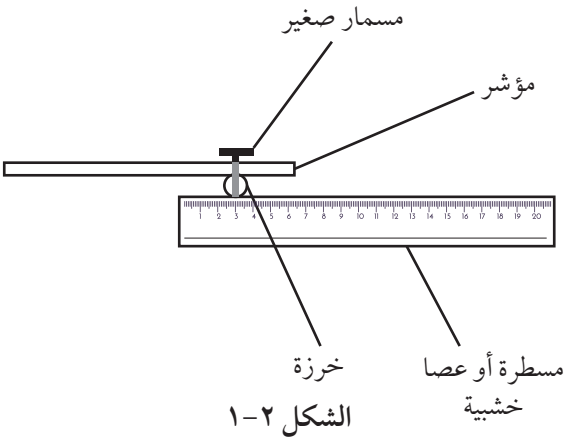
الأسئلة ١–٣ الواردة في كتاب الطالب تعزّز فهم الطلبة للمجالات الكهربائية.

فكرة ب (١٠–١٥ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: مولد فان دي جراف، مسطرة أو عصا خشبية، قطعة رقيقة من الورق المقوى، خرزة صغيرة، مسمار صغير أو دبوس تثبيت.

لعمل مؤشر: قصّ جزءًا من قطعة الورق المقوى بحيث يكون طوله نحو (8 cm) وعرضه نحو (0.5 cm).

ثبّت المسمار في نهاية المسطرة أو العصا الخشبية، إذ تعمل الخرزة كركيزة كروية بحيث يمكن للمؤشر أن يدور بحرّية إلى حدّ ما حول المسمار. انظر إلى الشكل ٢-١.



الشكل ٢-١

- اشحن قبّة مولد ڤان دي جراف، وحرّك نهاية المسطرة أو العصا الخشبية بحيث تكون قريبة من القبّة، سيكون للمؤشر شحنة كهربائية مستحثة من القبة، وسيشير دائمًا 90° مع القبّة؛ لأن لديه حرية الدوران حول المسمار المتصل بالمسطرة المترية بواسطة الخرزة (أو المسمار)، فحرّك المؤشر لمواضع مختلفة حول القبّة لتظهِر أن المجال شعاعي.

› **فكرة للتقويم:** اسأل الطلبة: لماذا يعمل المؤشر بهذه الطريقة؟ وماذا يخبرنا عن الحيّز القريب من القبّة؟ وما أوجه التشابه وأوجه الاختلاف مع مجال الجاذبية؟

الأنشطة الرئيسية

١ استقصاء المجال الكهربائي بين لوحَين فلزيَّين متوازيَين (٤٠-٥٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: لوحان فلزيان (نحو 30 cm × 30 cm)، ملقطا تثبيت (لتثبيت اللوحَين الفلزيَّين)، ساق بلاستيكية، شريحة من الذهب أو من الألمنيوم، مصدر جهد كهربائي عالٍ (HT)، سلكا توصيل، شريط لاصق.

لعمل مجس: ألصق قطعة صغيرة من رقاقة الذهب أو رقاقة الألمنيوم على الساق البلاستيكية. انظر الشكل ٢-٢ الوارد في كتاب الطالب.

- هناك العديد من العوامل المختلفة التي يمكن للطلبة استقصاؤها:

أ. تأثير تحريك المجس من لوح إلى آخر.

ب. تأثير تحريك المجس من مركزَي اللوحَين باتجاه حوافّهما.

ج. تأثير تغيير فرق الجهد الكهربائي بين اللوحَين.

د. تأثير تغيير المسافة بين اللوحَين.

› **فكرة للتقويم:** اطلب إلى الطلبة تدوين ملاحظاتهم حول تأثيرات تغيير كل عامل، وتأكّد من وصول الطلبة إلى استنتاج لكل تغيير، تجدر الإشارة إلى أنه لا يمكن الوصول إلى استنتاج كمّي بهذه الأدوات البسيطة، ومع ذلك يجب أن يدرك الطلبة أن القوة المؤثرة على شحنة الاختبار تبقى كما هي بالنسبة إلى (أ) وفي كثير من الأحيان بالنسبة إلى (ب)، وقد

يكون من المفيد مناقشة تأثير الحافة هنا. تبيّن (ج) أن زيادة فرق الجهد بين اللوحَين تزيد شدة المجال الكهربائي ($E \propto \Delta V$). وتبيّن (د) أن زيادة المسافة بين اللوحَين تقلّل شدة المجال الكهربائي ($E \propto \frac{1}{\Delta d}$).

٢ الجسيمات المشحونة في مجال كهربائي منتظم (٣٠-٤٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: أنبوب انحراف إلكترونات (أنبوب طومسون)، مصدرا جهد كهربائي عالٍ (HT)، أسلاك توصيل.

- اسأل الطلبة عمّا سيحدث لإلكترون عندما يوضع في مجال كهربائي منتظم إذا كان في البداية ساكنًا، وإذا كان لديك أنبوب لانحراف الإلكترونات (أنبوب طومسون)، يمكنك عرض قاذف الإلكترونات أمام الطلبة لمعرفة كيف يمكن استخدامه لإنتاج حزمة من الإلكترونات في الأنبوب، وهناك العديد من مقاطع الفيديو التي تُعرض على الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) لأنابيب الإلكترونات، ابحث عن واحد منها باستخدام عبارة البحث "electron gun"، والنقطة المهمة هي أن يدرك الطلبة أن الإلكترونات تتسارع في المجال الكهربائي وتسارعها يعطى بالمعادلة: $\vec{a} = \frac{e\vec{E}}{m}$.
- اسأل الطلبة عما سيحدث إذا كان المجال متعامدًا على السرعة المتجهة الابتدائية للإلكترونات. يمكن إثبات ذلك باستخدام أنبوب الانحراف (أو مقطع فيديو لأنبوب الانحراف).
- يجب أن يكون الطلبة على دراية بشكل القطع المكافئ لمسار الإلكترونات، اسألهم عما إذا كانوا قد رأوا شكلًا مشابهًا لهذا المسار في موضوع آخر في الفيزياء (مثل: كرة مقذوفة أفقيًا في مجال جاذبية منتظم).
- يمكن توجيه الطلبة لاستقصاء تأثيرات تغيير فرق الجهد الكهربائي الذي يسرع إلكترونات القاذف وتغيير فرق الجهد الكهربائي بين لوحَي المجال الذي يسبّب الانحراف.

› **فكرة للتقويم:** استخدم الأسئلة من ٩ إلى ١٢ الواردة في كتاب الطالب لترسيخ فهم الطلبة للموضوع.

٣ تمارين كتاب التجارب العملية والأنشطة (ساعة - ساعة ونصف)

- توفّر الأنشطة الواردة في كتاب التجارب العملية والأنشطة من ٢-١ إلى ٢-٣ للطلبة فرصة لترسيخ ما تعلموه في هذا الموضوع، ويجب على الطلبة حلّ أسئلة هذه الأنشطة إما بعد دراسة هذا الموضوع أو في مراحل مناسبة خلال التدريس.

› **فكرة للتقويم:** يمكن للطلبة تقييم إجاباتهم باستخدام الحلول الواردة في هذا الدليل (التقييم الذاتي) أو تقييم بعضهم عمل بعض (تقييم الأقران)، كما يمكن للمعلّم أن يعمل على تصحيح إجاباتهم أيضًا، لكن التنوع بين هذه التقييمات الثلاثة يُعتبر الأكثر فاعلية.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

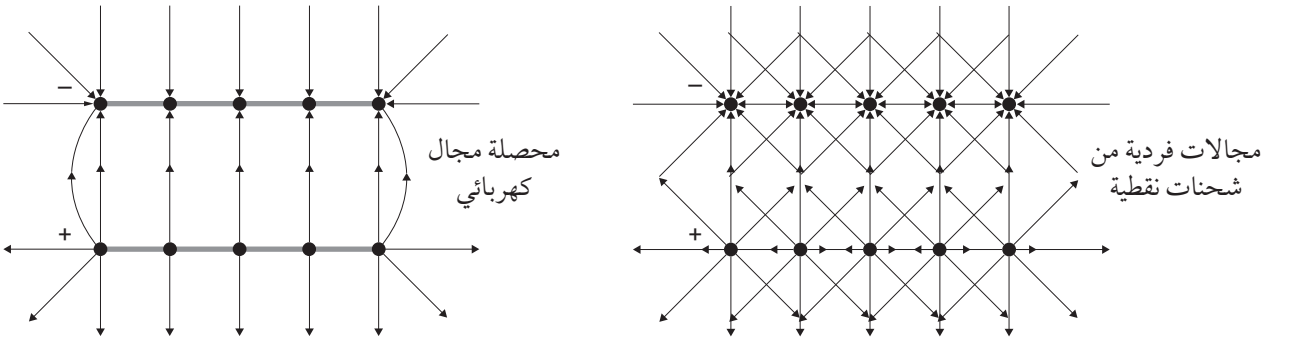
التوسّع والتحدّي

تحدَّ الطلبة واطلب إليهم العمل من خلال التحليل الرياضي، الذي سيقود إلى التوصل إلى معادلة القطع المكافئ ($y = kx^2$).

الدعم

قد يجد بعض الطلبة صعوبة في فهم أن المجال الكهربائي منتظم عبر الحيز الكلي بين لوحَين مشحونَين، وربما لا يقتنعون بفكرة أنه يوجد انخفاض ملحوظ في المجال الكهربائي فقط عند حواف اللوحَين. يمكن مساعدتهم من خلال اعتبار أن كل

لوح لديه طبقة واحدة من الشحنات، وكلًا منها لديها مجالاتها الكهربائية (انظر الشكل ٢-٢ أ). إن مكوّنات المجالات الفردية الموازية للّوحَين يلغي بعضها بعضًا، وتبقى فقط المكوّنات المتعامدة مع اللوحَين، بينما على الأطراف لا يعود هناك شحنات بعد اللوح لتلغي المكوّنات الموازية الأمر الذي يؤدي إلى محصلة مجال كهربائي غير منتظم عند الأطراف (انظر الشكل ٢-٢ ب).



الشكل ٢-٢

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- وجّه الطلبة إلى كتابة قائمة بأوجه التشابه وقائمة بأوجه الاختلاف بين مجال الجاذبية بالقرب من الأرض والمجال الكهربائي بين لوحَين مشحونَين.

الموضوع ٢-٤: قانون كولوم والمجالات الشعاعية

الأهداف التعليمية

٢-٦ يذكر أنه بالنسبة إلى نقطة خارج موصل كروي، يمكن اعتبار الشحنة الموجودة على الكرة شحنة نقطية في مركزها.

٢-٧ يذكر نص قانون كولوم ويستخدم معادلة القوة بين شحنتَين نقطيتَين في الفراغ: $F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$.

٢-٨ يستخدم معادلة شدة المجال الكهربائي $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ الناشئ عن شحنة نقطية في الفراغ.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذا الموضوع ٣ حصص دراسية (ساعتان).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٢-٤ قانون كولوم والمجالات الشعاعية	• السؤالان ١٣ و ١٤ • المثالان ٣ و ٤
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٢-٤ المجال الكهربائي حول شحنة كهربائية نقطية	• أسئلة النشاط ٢-٤ توسع الأفكار حول المجالات الكهربائية ومجالات الجاذبية ليشمل المجالات الكهربائية حول الشحنات الكهربائية النقطية.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- من الشائع أن ينسى الطلبة تضمين الإشارة السالبة عند استخدام المجال الكهربائي الناتج عن جسم سالب الشحنة الكهربائية.

أنشطة تمهيدية

لقد درس الطلبة من قبل كلًا من المجالات الكهربائية المنتظمة ومجالات الجاذبية (سواء المنتظمة أو الشعاعية)، وهذا الموضوع استكمال لما تمّت دراسته، وسرعان ما يلاحظ الطلبة أوجه التشابه بين مجالَي الجاذبية والكهربائية.

نقترح عليك فكرتَين كتمهيد لهذا الموضوع وسيعتمد اختيارك على المواد المتوفرة، وعلى الزمن المتاح، وعلى كيفية تقدم الطلبة في فهم هذا الموضوع.

فكرة أ (١٥ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات (لكل طالب أو مجموعة ثنائية): كرتا بوليستر صغيرتان (قطر الواحدة 1 cm تقريبًا)، ساق زجاجية، مسطرة مترية، حامل ومثبّت، مصدر جهد كهربائي عالٍ أو مولد فان دي جراف، خيط نايلون، غراء، طلاء موصل أو جرافيت غروي (Aquadag).

يمكن أن تجعل كرتَي البوليستر موصلتَين عبر دهنهما بالطلاء الموصل أو الجرافيت الغروي. (الجرافيت الغروي هو مائع يحتوي على مسحوق من الكربون، والكربون هو الذي يجعل كرتَي البوليستر موصلتَين).

يجب أن تكون الكرتان بعيدتَين تمامًا عن الحامل، وإلا فمن المحتمل أن يحدث تجاذب بين الحامل والكرتَين الأمر الذي يؤدي إلى حجب التأثيرات بين الكرتَين.

⚠ احتياطات الأمان والسلامة

- يتطلب هذا العرض التوضيحي فرق جهد كهربائي عال، فعلى المعلّمين أن يحذروا من تقريب أي جزء من جسمهم إلى مصدر فرق الجهد الكهربائي العالي.

- علّق كرة موصلة بخيط نايلون من أحد طرفَي مسطرة مترية، وثبت الطرف الآخر من المسطرة المترية بحامل. اشحن الكرة بواسطة لمسها بسلك متصل بمصدر جهد كهربائي عالٍ (HT) أو ملامستها لقبّة مولّد فان دي جراف، ثم قرّب الكرة مستخدمًا الخيط إلى قبّة المولد. أمسك بالمسطرة المترية بأفضل ما يكون لكي تحرّك الكرة الموصلة باتجاه قبة مولد فان دي جراف، فستلاحظ أنه بمجرد أن تلامس الكرة القبّة ستتنافر بعيدًا عنها. ألصق كرة أخرى موصلة بطرف ساق زجاجية، واشحنها بواسطة إمساك الساق وجعل الكرة تلمس القبة، اجعلها قريبة من الكرة الأولى، يجب أن يكون الطلبة قادرين على ملاحظة ابتعاد الكرة الأولى عن الكرة الثانية.

› **فكرة للتقويم:** اسأل الطلبة عمّا لاحظوه، واسأل عمّا إذا كانت القوة المؤثرة على الكرتَين قد تتغيّر كلما اقتربت الكرتان إحداهما من الأخرى، وبما أن القوى صغيرة فمن غير الممكن فعلًا تسجيل قيم كمية للقوى، ومع ذلك يمكن للطلبة أن يلاحظوا تنافر الكرتَين مباشرة.

فكرة ب (١٥ دقيقة)

- علّق بالونَين بسقف أحدهما قريب من الآخر باستخدام خيطَي نايلون.
- لاحظ أنهما معلقان رأسيًا مع عدم وجود قوة ظاهرة بينهما، ثم ادلك البالونَين على ملابسك، ولاحظ تنافرهما.
- اسأل الطلبة عن سبب تنافرهما، ثم أخبرهم أن هناك قوة مؤثرة على البالونَين عندما كانا غير مشحونَين (قوة الجاذبية).

› **فكرة للتقويم:** اسأل الطلبة عمّا يخبرنا به هذا الأمر عن القوة الكهربائية وقوة الجاذبية. توقع إجابات الطلبة مثل «قوة الجاذبية أصغر بكثير من القوة الكهربائية». ثم اسأل: لماذا يكون تأثير قوة الجاذبية أكبر في المسافات الفلكية؟ يمكن أن يؤدي هذا السؤال إلى التنويه بوجود نوعَين من الشحنات الكهربائية يلغي كل منهما تأثير الآخر في مادة متعادلة.

الأنشطة الرئيسية

١ تجربة استقصاء قانون كولوم (٤٥ دقيقة–ساعة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات (لكل طالب أو مجموعة ثنائية): كرتان موصلتان (بحجم كرة تنس الطاولة تقريبًا) مثبتة كل منها على مقبض من البيرسبيكس، حامل ومثبّت، ميزان إلكتروني، مسطرة، مولد فان دي جراف.

- يمكن إجراء التجربة المبيّنة في كتاب الطالب كمّيًا (انظر الشكل ٢–١٥)، ستحتاج إلى مولّد فان دي جراف. إذا كانت الرطوبة عالية، فيجب شحن الكرتَين بين كل مجموعة من القراءات، وستفرغ القبّة بواسطة إحداث شرر عبر فجوة في قبة التفريغ المؤرضة، ومن المهم أن تبقى المسافة بين القبّة الرئيسية والقبّة المؤرضة كما هي طوال التجربة بحيث يبقى الجهد الكهربائي على سطح القبّة الرئيسية ثابتًا تقريبًا.

› **فكرة للتقويم:** اطلب إلى الطلبة رسم تمثيل بياني للقوة مقابل $\frac{1}{r^2}$ حيث r هي المسافة بين مركزَي الكرتَين. فدقة تسجيل النتائج ودرجة تشتت النقاط على التمثيل البياني يمكن أن تخبرك عن مدى دقة عمل الطلبة.

٢ قانون كولوم وخطوط المجال الكهربائي (٤٠–٥٠ دقيقة)

- قانون كولوم هو قانون تجريبي، لا يمكن التحقق من هذا القانون إلا بالتجربة، وبالتالي يمكن الاستدلال على القوى الكهربائية وشدة المجال الكهربائي من خلال كثافة الخطوط (عدد خطوط المجال الكهربائي التي تمر عبر وحدة المساحة) حيث أنها تقل إلى الربع عندما يتضاعف البعد عن النقطة. فإذا افترضنا أن كثافة خطوط المجال تتناسب طرديًا مع شدة المجال الكهربائي، فهذا يقود إلى استنتاج أن $E \propto \frac{1}{r^2}$.
- على الرغم من أن هذا الأمر ليس «دليلًا» على قانون كولوم، إلا أنه يساعد في التحقّق من صحة النظرية.
- يمكن تعزيز ذلك من خلال النظر في الحالة المماثلة لانتشار الضوء من مصدر نقطي، وهذا يسهل على الطلبة قبوله؛ لأن أشعة الضوء «حقيقية» ويمكن ملاحظتها بينما خطوط المجال وهمية وغير موجودة في الواقع.
- ضع في اعتبارك الضوء الذي ينتقل مسافة r من مصدر نقطي، فالطاقة الصادرة من هذه النقطة تنتشر على سطح كرة نصف قطرها r، وتكون مساحة هذا السطح $4\pi r^2$، فإذا ضاعفنا المسافة من مصدر الضوء النقطي، فإن الضوء ينتشر على مساحة تساوي $4\pi(2r)^2$، أي أربعة أمثال المساحة الابتدائية، فتقل كثافة الطاقة إلى ربع قيمتها الابتدائية.

› **فكرة للتقويم:** بعد تقديم قانون كولوم بهذه الطريقة، يمكن ترسيخ المفاهيم العلمية الواردة في هذا الموضوع من خلال حل السؤالَين ١٣ و ١٤ والنشاط ٢–٤ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

يمكن إعطاء الطلبة ذوي التحصيل الدراسي المرتفع مسائل أكثر صعوبة لمحاولة حلها عبر الطلب إليهم حساب محصلة شدة المجالَين الكهربائيَّين لشحنتَين كهربائيتَين في عدة نقاط مختلفة بالنسبة إلى الشحنتَين، ويمكن تطوير الأمر إلى مسائل تتعلق بثلاث شحنات لتضمين مهارات أكثر صعوبة تتعلق بتحديد محصلة المتجهات.

الدعم

سيجد بعض الطلبة هذه الأفكار صعبة، وسيحتاجون إلى دعم إضافي، وسيساعدهم الرجوع إلى ما درسوه عن مجال الجاذبية على فهم المنحى الرياضي في هذا الموضوع.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- بالرجوع إلى التيار الكهربائي في موصل فلزي، اسأل عن سبب تحرّك الإلكترونات، وساعد الطلبة على التوصل إلى أن هناك فرق جهد كهربائي عبر نهايتَي الموصل، لذلك يوجد مجال كهربائي في الموصل.

الموضوع ٢-٥: الجهد وطاقة الوضع الكهربائية

الأهداف التعليمية

٢-٩ يعرّف الجهد الكهربائي عند نقطة ما على أنه الشغل المبذول لوحدة الشحنة الموجبة لنقل شحنة اختبارية صغيرة من اللانهاية إلى تلك النقطة.

٢-١٠ يستخدم معادلة الجهد الكهربائي في المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية $V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$.

٢-١١ يصف كيف أن مفهوم الجهد الكهربائي مرتبط بطاقة الوضع الكهربائية لشحنتَين نقطيتَين ويستخدم المعادلة: $E_p = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r}$.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذا الموضوع ٤ حصص دراسية (ساعتان و ٤٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٢-٥ الجهد وطاقة الوضع الكهربائية	• المثال ٥ • الأسئلة من ١٥ إلى ١٧
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٢-٥ الجهد الكهربائي الاستقصاء العملي ٢-١: التحقق من معادلة الجهد الكهربائي	• أسئلة النشاط ٢-٥ تدرب على حساب القوى الكهربائية، والشغل المبذول والجهد الكهربائي.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- سيجد بعض الطلبة صعوبة في فهم أن مقدارًا محدّدًا من الشغل يُبذل عند نقل شحنة كهربائية من اللانهاية إلى نقطة بالقرب من جسم مشحون، وربما سيكون هناك خلط بين المجال الكهربائي والجهد الكهربائي أيضًا.

أنشطة تمهيدية

سيكون الطلبة قد درسوا مصطلح فرق الجهد في دراستهم السابقة قبل البدء بهذه الوحدة، كما أنهم عرفوا هذا المصطلح في الوحدة الأولى، من المهم أن يدرك الطلبة أن الجهد الكهربائي هو مثال معيّن على فرق الجهد الكهربائي: أي الفرق في الجهد الكهربائي بين نقطة ما في اللانهاية ونقطة على مسافة r من جسم مشحون.

نقترح عليك فكرتَين كتمهيد لهذا الموضوع وسيعتمد اختيارك على الموارد المتوفرة، وعلى الزمن المتاح، وعلى كيفية تقدم الطلبة في هذا الموضوع.

فكرة أ (١٥–٢٠ دقيقة)

- اطلب إلى الطلبة أن يتنبأوا بالعلاقة بين المسافة (r) عن شحنة كهربائية نقطية (Q_1) والجهد الكهربائي (V)، اسأل عمّا سيحدث إذا ازداد مقدار الشحنة الكهربائية (Q_1)، وما طاقة الوضع الكهربائية لشحنة ($+Q_2$) وشحنة مقدارها ($-Q_2$) عند نقطة ما في هذا المجال؟

› **فكرة للتقويم:** وزّع الطلبة في مجموعات ثنائية، واطلب إليهم مناقشة إجاباتهم. يجب أن يكونوا قادرين على التنبؤ بالعلاقة بين (r) و (V)؛ وذلك بمقارنتها بمجال الجاذبية الشعاعي، والإجابات عن الأسئلة الأخرى ستأتي تباعًا.

أخيرًا اسأل الطلبة عن المكان الذي قد يتم تعيينه ليكون فيه الجهد الكهربائي يساوي صفرًا، واطلب إليهم ربط هذا الجهد بالشحنات الكهربائية الموجبة والسالبة.

فكرة ب (١٠ –٢٥ دقيقة)

- ارسم لوحَين فلزيَّين متوازيَين على السبورة، أحدهما مؤرض والآخر متصل بالطرف الموجب لمصدر جهد كهربائي عالٍ (4.0 kV)، واطرح سلسلة من الأسئلة مثل: «ما مقدار الشغل الذي يُبذل عندما تنقل شحنة كهربائية (+20 nC) من اللوح المؤرض إلى اللوح الموجب؟» و «ما مقدار الطاقة التي اكتسبتها هذه الشحنة الكهربائية؟» و«ما مقدار الطاقة التي تكتسبها شحنة كهربائية (+20 C)؟» و «ما مقدار الطاقة التي تكتسبها شحنة كهربائية (+1 C)؟» و «ما مقدار الطاقة التي تكتسبها شحنة كهربائية (−1 C)؟» و «ما مقدار الطاقة التي تكتسبها شحنة كهربائية (+1 C) عند نقلها من اللوح المؤرض إلى نقطة المنتصف بين اللوحَين؟» وأخيرًا «ما مقدار الطاقة التي تكتسبها شحنة كهربائية (+1 C) عند نقلها باتجاه موازٍ للّوحَين؟».

› **فكرة للتقويم:** قيّم إجابات الطلبة، فالهدف من هذه الأسئلة هو مساعدتهم على إدراك أن الشغل المبذول يساوي الطاقة المنقولة، وعزّز فكرة أن فرق الجهد الكهربائي هو الطاقة المنقولة لكل وحدة شحنة كهربائية.

الأنشطة الرئيسية

١ استقصاء الجهد الكهربائي (٣٠–٤٠ دقيقة)

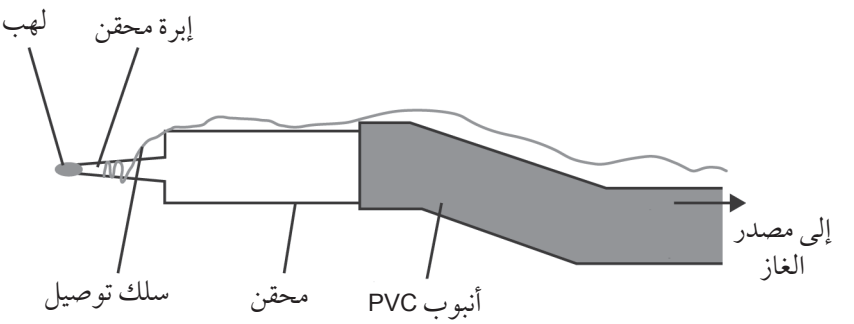
› **إرشادات عملية:** الأدوات: مجس اللهب، كشاف كهربائي ذو شريحتَين ذهبيّتَين، مسطرة مترية، سلك التوصيل (2–3 m)، أنبوب بلاستيكي (2–3 m)، مصدر جهد كهربائي عالٍ (حتى 5 kV)، لوحان فلزيان (30 cm × 30 cm)، ملقطان (مثبّتان) مشبك فم تمساح للّوحَين الفلزيَّين، مولّد فان دي جراف، أسلاك توصيل.

⚠ احتياطات الأمان والسلامة

- يجب أن يزوّد مصدر الجهد الكهربائي العالي بمقاومة أمان داخلية كبيرة بحيث تكون ضمن الدائرة.

لعمل مجس اللهب (الشكل ٢-٣):

- أزل المكبس من محقن صغير.
- ادفع أنبوبًا بلاستيكيًا داخل جسم المحقن.
- ضَع الإبرة على جسم المحقن.
- لفّ سلك التوصيل حول إبرة المحقن لعمل نقطة اتصال كهربائي جيدة.
- صِل السلك بغطاء الكشاف الكهربائي ذي الشريحتَين الذهبيّتَين بواسطة مشبك فم التمساح.
- ألصق المتر الأول من السلك والأنبوب بمسطرة مترية، واستخدم المسطرة كمقبض عند التعامل مع المجس.
- صِل الأنبوب البلاستكي بمصدر الغاز.
- شغّل الغاز برفق، واضبطه بحيث يشتعل لهب صغير بشكل ثابت في نهاية إبرة المحقن.



الشكل ٢-٣

سؤال مفصلي: اشرح الفرق بين المصطلحَين «شدة المجال الكهربائي» و «الجهد الكهربائي».

الإجابة: شدة المجال الكهربائي هو القوة لكل وحدة شحنة، والجهد الكهربائي هو الطاقة لكل وحدة شحنة.

- صِل مخرج مصدر الجهد الكهربائي العالي بقرص الكشاف الكهربائي ذي الشريحتَين الذهبيّتَين بحيث يوصل الطرف السالب للمصدر وشريط التأريض على الكشاف الكهربائي ذي الشريحتَين الذهبيّتَين بالأرضي، ثم زِد فرق الجهد الخارج ببطء من المصدر، وستلاحظ انفراج الشريحتَين أكثر فأكثر كلما ازداد فرق الجهد الكهربائي للمصدر. يوضّح هذا الأمر للطلبة أنه يمكن استخدام الكشاف الكهربائي لقياس فرق الجهد الكهربائي. ابحث في الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) عن تجربة (أو عرض) لهذا الأمر باستخدام عبارة البحث "gold leaf electroscope high tension lead".
- إن وضع لهب صغير من إبرة محقن (مجس لهب) بالقرب من جسم مشحون سيتيح للشحنة التسرّب من الإبرة بسبب تزويد الإلكترونات بطاقة إضافية، حيث سيصل الجهد الكهربائي للإبرة إلى جهد مساوٍ لجهد

الهواء حول تلك النقطة. ابحث في الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) باستخدام عبارة "institute of physics flame probe construction" للحصول على معلومات حول كيفية صنع مجس لهب لهذا النشاط.

- صِل السلك من مجس اللهب إلى غطاء الكشاف الكهربائي ذي الشريحتَين الذهبيّتَين، وصِل مصدر الجهد الكهربائي العالي عبر اللوحَين الفلزيَّين، ثم ابدأ بوضع إبرة مجس اللهب بالقرب من اللوح المؤرض، ثم حرّكها ببطء عبر المسافة بين اللوحَين نحو اللوح الموجب، بحيث تُظهر الشريحتان زيادة تدريجية في انفراجهما، وهذا يدل على أن الجهد الكهربائي يزداد تدريجيًا. يوضّح هذا النشاط فكرة الجهد الكهربائي لنقطة ما، وهي تربط فكرة الجهد الكهربائي عند استخدامه في الكهرباء التيارية والجهد الكهربائي في «الكهرباء الساكنة». فعندما يكون مجس اللهب في منتصف المسافة بين اللوحَين تقريبًا، حرّكه موازيًا للّوحَين. سيبقى انفراج الشريحتَين ثابتًا تقريبًا حتى يصل المجس إلى مستوى حواف اللوحَين؛ وهذا يوضح فكرة تساوي الجهد الكهربائي.
- شغّل مولّد ڤان دي جراف واجعله في حالة تشغيل حتى نهاية العرض، قرّب مجس اللهب نحو المولّد (ولكن ليس قريبًا جدًا) من القبّة، ستنفرج الشريحتان بحسب بُعد مسافة مجس اللهب عن القبّة. وكلما ازداد البعد عن القبّة قلّ الانفراج.

› **فكرة للتقويم:** يقيم المعلم الطلبة من خلال الأسئلة وإجاباتهم في أثناء العروض، ويمكن تحقيق مزيد من التقدّم والتقويم من خلال الطلب إليهم كتابة المعلومات التي تعلّموها من التجربة، فوزّع الطلبة في مجموعات ثنائية واطلب إليهم مناقشة إجابات بعضهم البعض. واختم بملخص للنقاط المهمة.

٢ الاستقصاء العملي ٢-١: التحقق من معادلة الجهد الكهربائي (ساعة واحدة)

المدّة

سيستغرق الاستقصاء العملي وحل أسئلة التحليل والتقييم ٤٠ دقيقة.

التحضير للاستقصاء

- يجب أن يكون الطلبة قادرين على استخدام المعادلة $V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$.
- يجب أن يكون الطلبة قادرين على رسم تمثيلات بيانية.
- سيستخدم الطلبة محاكاة لاستقصاء كيف يختلف الجهد الكهربائي (V) مع البعد (r) عن الشحنة الكهربائية النقطية.

توجيهات حول الاستقصاء

- استخدم رابط محاكاة موقع PhET على الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت):

https://phet.colorado.edu/en/simulations/charges-and-fields

أنموذج نتائج

تعطي البيانات الواردة في الجدول ٢-١ فكرة عن النتائج التي يجب أن يحصل عليها الطلبة من الاستقصاء.

$\frac{1}{r}$ (cm^{-1})	V (V)	r (cm)
0.0113	10.2	88.2
0.0063	5.7	158.1
0.0039	3.5	257.7
0.0028	2.5	353.0
0.0022	1.9	462.5
0.0015	1.4	666.4

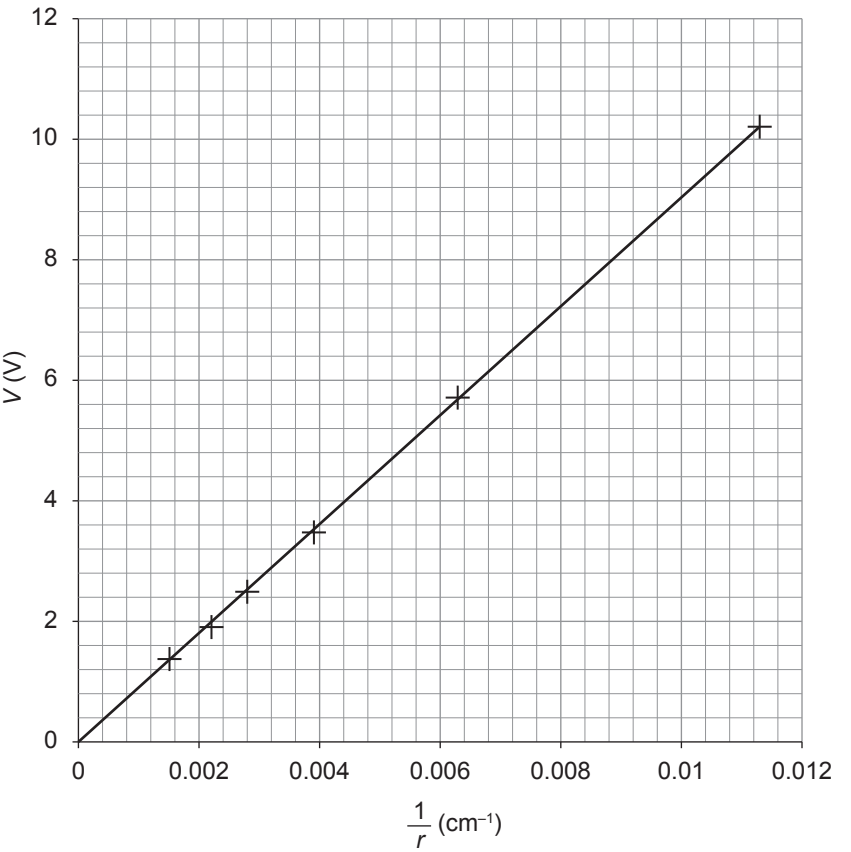
الجدول ٢-١: أنموذج نتائج للاستقصاء العملي ٢-١.

الشحنة الكهربائية = +1 nC

إجابات أسئلة الاستقصاء العملي ٢-١ في كتاب التجارب العملية والأنشطة (باستخدام أنموذج النتائج)

أ. انظر الجدول ٢-١.

ب. انظر الشكل ٢-٤.



الشكل ٢-٤

ج. تشير المعادلة إلى أن (V) تتناسب طرديًا مع $\frac{1}{r}$ لأن كمية الشحنة (Q) ثابتة. يجب أن يُظهر التمثيل البياني لـ (V) مقابل $\frac{1}{r}$، خطًا مستقيمًا يمر بنقطة الأصل، ويدعم التمثيل البياني المعادلة؛ وذلك نظرًا إلى وجود خط مستقيم يمر بنقطة الأصل.

د. الميل:

$$= \frac{(10 - 0)}{(0.011 - 0.000)} = 909$$

الوحدة V cm

أو 9.09 بوحدة V m

هـ. $$V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{Q}{4\pi Vr}$$

بما أن الميل $= Vr = \left(\frac{V}{\frac{1}{r}}\right)$

$$\varepsilon_0 = \frac{Q}{4\pi \times \text{الميل}}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1 \times 10^{-9}}{4\pi \times 9.09} = 8.75 \times 10^{-12}\ \text{F m}^{-1}$$

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

أعطِ الطلبة ذوي التحصيل الدراسي المرتفع نقاطًا إضافية لرسم مماسات لها وحساب ميلها.

الدعم

- سيجد بعض الطلبة صعوبة في استخدام التمثيلات البيانية لوغاريتم–لوغاريتم، وسيحتاجون إلى المساعدة وشرح هذه الطريقة، ويمكنك توجيههم باستخدام الشرح الخاص بذلك الموجود في ملحق كتاب التجارب العملية والأنشطة.
- يمكن الرجوع إلى المثال ٥ لمساعدة بعض الطلبة.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اطلب إلى الطلبة كتابة أكبر عدد ممكن من الحقائق أو المعادلات التي درسوها في هذه الوحدة كلٌّ بقدر تذكره لها، ثم اطلب إليهم كتابة المعادلات المكافئة لها في مجال الجاذبية. واطلب إليهم كذلك تحديد أوجه التشابه وأوجه الاختلاف بينهما.

إجابات كتاب الطالب

العلوم ضمن سياقها

من الصعب التنبؤ بوقت حدوث ضربة البرق، وهذا ما يجعله مصدرًا كهربائيًا لا يمكن الاعتماد عليه.

هناك عدد من التحديات المتعلقة باستغلال طاقة البرق:

- من الصعب معرفة مكان ضربة البرق، ومواضع أعمدة التقاط ومضات البرق المطلوبة للاستفادة منه.
- يوفر البرق ومضات نارية (قصيرة جدًا) من الطاقة. وهذه الطاقة يجب أن تكون مخزّنة بطريقة ما (مكثفات عملاقة) بحيث يمكن استخدام تلك الطاقة بشكل مناسب (تكون الفترة الزمنية مناسبة كذلك).

على الرغم من أن الطاقة المتحرّرة في أثناء البرق ضخمة، فهي تنتهي في فترة زمنية قصيرة جدًا. تحدث 3000000 ضربة برق في اليوم تعني نحو 35 ضربة / ثانية في المتوسط، وهو ما ينتج قدرة كهربائية متوسطة مقدارها (350 MW). يبلغ إنتاج أصغر محطة طاقة نووية (500 MW) تقريبًا، لذلك فإن استغلال كل طاقة البرق على هذا الكوكب لن يوفر إلّا كمية ضئيلة من الطاقة الكهربائية.

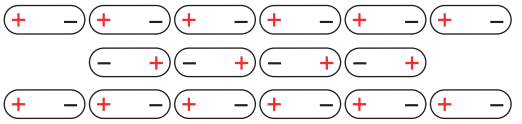
إجابات أسئلة موضوعات الوحدة

١. أ. يظهر المخطط (١) مجالًا كهربائيًا بين شحنتَين موجبتَين كل منهما تتنافر مع الأخرى (رؤوس الأسهم تتجه بعيدًا عن الشحنتَين).

ب. يظهر المخطط (٣) مجالًا كهربائيًا بين شحنتَين سالبتَين كل منهما تتنافر مع الأخرى (رؤوس الأسهم تتجه نحو الشحنتَين).

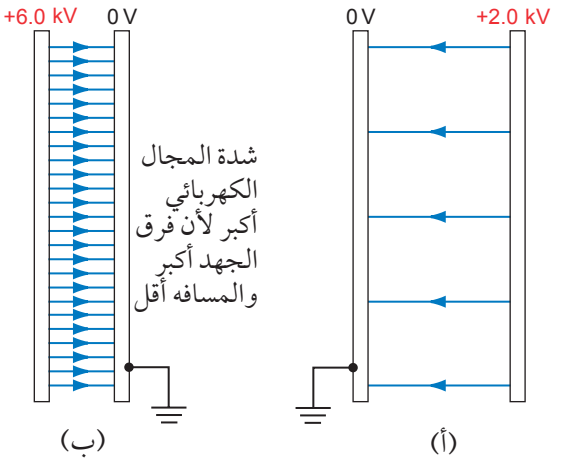
ج. يظهر المخطط (٢) مجالًا كهربائيًا بين شحنتَين مختلفتَين كل منهما تتجاذب مع الأخرى. موضع الشحنة الكهربائية الموجبة إلى اليمين والسالبة إلى اليسار.

٢. مخطط يظهر أي عدد من الجزيئات مصطفة بشكل متواز بطريقة يكون فيها النوع نفسه للشحنات من جهة محددة من المخطط كالمثال الآتي.



٣. تكون شدة المجال الكهربائي أكبر في الجزء العلوي (المدبب) من المبنى؛ حيث أن خطوط المجال الكهربائي متقاربة من بعضها مقارنة بالخطوط الأخرى.

٤.



٥. شدة المجال الكهربائي:

$$E = \frac{F}{Q} = \frac{150}{(20 \times 10^{-3})} = 7500 \text{ N C}^{-1}$$

بالاتجاه نفسه للقوة إلى الأسفل.

٦. شدة المجال الكهربائي:

$$E = \frac{V}{d} = \frac{1000}{0.40} = 2500 \text{ V m}^{-1} = 2500 \text{ N C}^{-1}$$

٧. شدة المجال الكهربائي:

$$E = \frac{F}{Q} = \frac{8 \times 10^{-16}}{(1.6 \times 10^{-19})} = 5000 \text{ N C}^{-1}$$

٨. أ. إعادة ترتيب المعادلة $E = \frac{V}{d}$ بحيث يُعطى فرق الجهد الكهربائي المسبب للشرر بواسطة:

$$V = Ed = 40000 \times 4 = 160000 \text{ V}$$

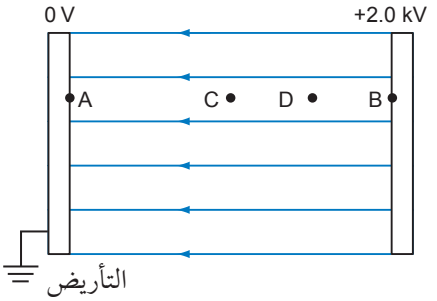
$$= 1.6 \times 10^{5} \text{ V} = 160 \text{ kV}$$

وهذا مجرد تقدير لأن الصيغة تنطبق فقط في حالة المجال الكهربائي المنتظم الناتج عن لوحَين متوازيَين؛ في حين أن استخدام مثل هذه الطرائق التقريبية يُعدّ جيدًا لإيجاد تقدير تقريبي لما هو مطلوب.

ب. $V = Ed = 40000 \times 10000 = 400\ \text{MV}$

(تذكّر أن شدة المجال أُعطيت بالفولت لكل سنتيمتر).

٩. أ.



ب. مقدار فرق الجهد الكهربائي بين A و B

$= 2.0\ \text{kV}$

ج. شدة المجال الكهربائي بين اللوحَين المتوازيَين منتظمة، لذلك لها القيمة نفسها عند كلا النقطتَين.

$$E = \frac{V}{d} = \frac{2.0 \times 10^3}{0.25} = 8.0\ \text{kV m}^{-1}$$

د. $F = QE = +5 \times 10^{-6} \times 8.0 \times 10^3 = 0.04\ \text{N}$

تؤثر إلى اليسار لأن الشحنة موجبة.

١٠. $$E = \frac{V}{d} = \frac{5.0 \times 10^3}{0.10} = 5.0 \times 10^4\ \text{V m}^{-1}$$

$F = QE = +2 \times 10^{-6} \times 5.0 \times 10^4 = 0.10\ \text{N}$

١١. القوة:

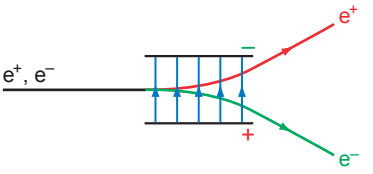
$F = QE$

$= -1.6 \times 10^{-19} \times 5.0 \times 10^6 = -8.0 \times 10^{-13}\ \text{N}$

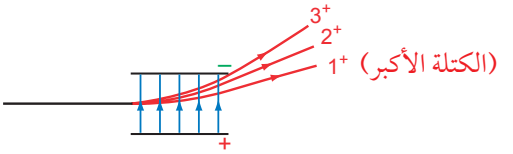
أعد ترتيب المعادلة $F = ma$ لإيجاد مقدار التسارع:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{8.0 \times 10^{-13}}{9.11 \times 10^{-31}} = 8.8 \times 10^{17}\ \text{m s}^{-2}$$

١٢. أ.



ب.



ستنحرف الأيونات الموجبة نحو اللوح السالب الشحنة والأيونات السالبة نحو اللوح الموجب الشحنة، وستنحرف الأيونات ذات الكتلة الأكبر بدرجة أقل.

وستنحرف الأيونات ذات الشحنة الكهربائية الأكبر بدرجة أكبر.

١٣. أ. شدة المجال الكهربائي بسبب الكرة:

$$E_1 = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{2.0 \times 10^{-6}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times 0.25^2}$$

$= 2.9 \times 10^5\ \text{N C}^{-1}$

ب. المسافة من المركز إلى المركز للكرتَين:

$= 20 + 20 + 10 = 50\ \text{cm}$

القوة:

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{2.0 \times 10^{-6} \times 1.0 \times 10^{-6}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times 0.5^2}$$

$= 0.072\ \text{N}$

ج. حسبنا شدة المجال الكهربائي الناتج عن الكرة الأولى على بُعد 25 cm من مركزها في الجزئية (أ)، (وهي أيضًا نقطة المنتصف بين الكرتَين). شدة المجال الكهربائي بسبب الكرة الثانية،

$$E_2 = \frac{Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{-1.0 \times 10^{-6}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times 0.25^2}$$

$= -1.4 \times 10^5\ \text{N C}^{-1}$

تشير الإشارة السالبة إلى أن المجال يجذب شحنة اختبارية موجبة باتجاه الكرة الثانية، في حين أن مجال الكرة الأولى يتنافر مع الشحنة الكهربائية الموجبة بعيدًا عن الكرة الأولى (باتجاه الكرة الثانية أيضًا)، لذا فإن شدة المجال الكلية بسبب كِلا المجالَين يكون باتجاه الكرة الثانية السالبة:

$= 1.4 \times 10^5 + 2.9 \times 10^5 = 4.3 \times 10^5 \text{ V m}^{-1}$

١٤. قطر الكرة 40 cm يعني أن المسافة من المركز إلى السطح = 20 cm

أعد ترتيب المعادلة $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ لتصبح:

$Q = 4\pi \times \varepsilon_0 r^2 E$

$= 4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times 0.20^2 \times 4.0 \times 10^6$

$Q = 1.8 \times 10^{-5}\text{ C}$

١٥. أ. طاقة الوضع الكهربائية (W):

$W = QV = +1 \times V$

لذلك، تكون طاقة الوضع الكهربائية في المواضع المختلفة في المجال المنتظم كالآتي:

عند النقطة A = 0 J، وعند النقطة B = 2 kJ، وعند النقطة C = 1 kJ

(C تقع في منتصف المسافة بين النقطة A: 0 V والنقطة B: +2 kV).

وطاقة الوضع الكهربائية عند النقطة D = 1.5 kJ

(D تقع في منتصف المسافة بين النقطة C: +1 kJ والنقطة B: +2 kV).

ب. طاقة الوضع الكهربائية (W):

$W = QV = +2 \times V$

= 2 × الإجابات في الجزئية (أ)

وهي كالآتي:

A: 0 J

B: 4 kJ

C: 2 kJ

D: 3 kJ

١٦. أعد ترتيب $V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$ لتصبح:

$Q = 4\pi \times \varepsilon_0 r V$

$= 4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times 0.10 \times 100000$

$= 1.1 \times 10^{-6}\text{ C}$

تُعامل الشحنة الكهربائية على سطح الكرة على أنها مركّزة عند نقطة في مركز الكرة، الجهد الكهربائي:

$$V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r} = \frac{1.1 \times 10^{-6}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times 0.20}$$

$= 5.0 \times 10^4 = 50 \text{ kV}$

١٧. أ. الشغل المبذول في المجال الكهربائي المنتظم = QV، لذلك يكون الشغل المبذول كالآتي:

(E → F: 2.5 kJ) ، (E → H: 5 kJ)

(H → E: −5 kJ) ، (F → G: 0 J)

ب. ١. (E → F: –2.5 kJ) ، (E → H: –5 kJ)

(H → E: +5 kJ) ، (F → G: 0 J)

٢. (E → F: 5 kJ) ، (E → H: 10 kJ)

(H → E: –10 kJ) ، (F → G: 0 J)

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. ج (اتجاه المجال الكهربائي: مبتعدًا عن الشحنة الكهربائية الموجبة / باتجاه الشحنة الكهربائية السالبة أي إلى الأعلى نحو اللوح العلوي.

القوة المؤثرة على الإلكترون: بما أن الشحنة الكهربائية للإلكترون سالبة، فإن القوة تُبعده عن اللوح السالب أي يتجه إلى الأسفل نحو اللوح السفلي).

٢. ب (أ : شحنة الإلكترون؛ ج: يحسب E على أنها $V \times d$، د : يحسب $\frac{V}{d}$ فقط).

٣. **أ.** الشريحة مشحونة بشحنة موجبة وتخضع لقوة كهربائية باتجاه المجال الكهربائي نفسه.

ب. ستصبح الشريحة مشحونة بشحنة سالبة وستتأثر بقوة في الاتجاه المعاكس للمجال الكهربائي.

٤. شدة المجال الكهربائي:

$$E = \frac{F}{Q} = \frac{4.4 \times 10^{-13}}{8.8 \times 10^{-17}} = 5000 \text{ N C}^{-1}$$

٥. فرق الجهد الكهربائي:

$$V = E \times d = 4000 \times 0.04 = 160 \text{ V}$$

٦. **أ.** المسافة الفاصلة بين اللوحَين:

$$d = \frac{V}{E} = \frac{2400}{3.0 \times 10^{4}} = 0.08 \text{ m} = 8.0 \text{ cm}$$

ب. شدة المجال الكهربائي E:

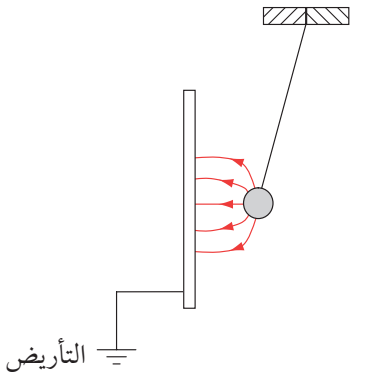
$$E = \frac{V}{d} = \frac{2400}{0.02} = 1.2 \times 10^{5} \text{ V m}^{-1}$$

٧. تتناسب شدة المجال الكهربائي طرديًا مع فرق الجهد الكهربائي، لذلك مضاعفة فرق الجهد يضاعف شدة المجال الكهربائي.

وتتناسب شدة المجال الكهربائي عكسيًا مع المسافة الفاصلة بين اللوحَين، وبالتالي فإن تقليل المسافة الفاصلة إلى الثلث يؤدي إلى مضاعفة شدة المجال الكهربائي لـ 3 أمثال.

لذلك، تزداد شدة المجال الكهربائي لـ 6 أمثال ما كانت عليه.

٨. **أ.**



يجب أن تكون الخطوط الخمسة واضحة، وغير متلامسة، وتتجه الأسهم في الاتجاه الصحيح من الشحنة الموجبة إلى اللوح المؤرض.

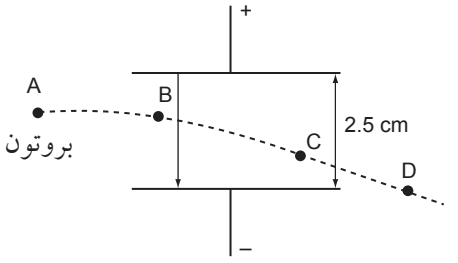
ب. تستحث الشحنة الكهربائية الموجبة على الكرة الشحنات السالبة على اللوح الفلزي؛ لذلك تتجاذب الشحنات المختلفة.

ج. ١. ستنجذب الكرة إلى اللوح الفلزي.

تستحث الشحنة الكهربائية السالبة على الكرة الشحنات الموجبة على اللوح الفلزي.

٢. سينعكس اتجاه المجال الكهربائي (لكن شكل خطوط المجال لا يتغيّر).

٩. **أ.** سلسلة من الخطوط المتوازية بين اللوحَين. وتتجه الأسهم رأسيًا إلى أسفل.



ب. ١. رأسية إلى أسفل.

٢. 6.4×10^{-14} N

ج. $E = \frac{F}{Q} = \frac{6.4 \times 10^{-14}}{1.6 \times 10^{-19}} = 400000 \text{ V m}^{-1}$

د. بترتيب المعادلة $E = \frac{V}{d}$ فإن:

$$V = Ed = 400000 \times 2.5 \times 10^{-2} = 10000 \text{ V}$$

١٠. **أ.** شدة المجال الكهربائي هي القوة لكل وحدة شحنة كهربائية التي تؤثر على شحنة كهربائية موجبة ثابتة موضوعة عند تلك النقطة.

ب. ١.
$$E = \frac{V}{d} = \frac{5.0 \times 10^{6}}{8.0 \times 10^{-2}}$$
$$F = EQ = \left(\frac{5.0 \times 10^{6}}{8.0 \times 10^{-2}}\right) \times 1.6 \times 10^{-19}$$
$$= 1.0 \times 10^{-11}\ \text{N}$$

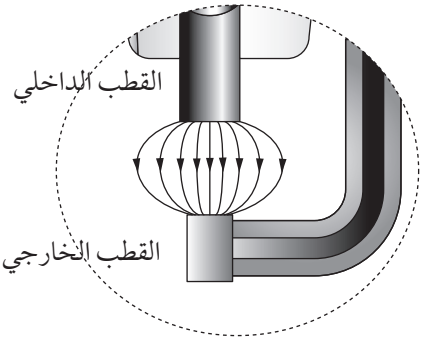
٢. الشغل المبذول:
$$W = F\Delta d = 1.0 \times 10^{-11} \times 8.0 \times 10^{-2}$$
$$= 8.0 \times 10^{-13}\ \text{J}$$

يمكن الوصول إلى النتيجة نفسها باستخدام المعادلة: $W = QV$

٣. $8.0 \times 10^{-13}\ \text{J}$

٤. طاقة الحركة: $\frac{1}{2}mv^2 = 8.0 \times 10^{-13}$
$$v^2 = 2 \times \frac{8.0 \times 10^{-13}}{1.7 \times 10^{-27}}$$
$$v = 3.1 \times 10^{7}\ \text{m s}^{-1}$$

١١. أ. الأسهم من القطب الداخلي إلى القطب الخارجي (يؤشر إلى الأسفل).



ب. تكون الخطوط متقاربة من بعضها.

ج. $\Delta V = E\Delta d$
$$= 5.0 \times 10^{6} \times 1.25 \times 10^{-3} = 6250\ \text{V}$$

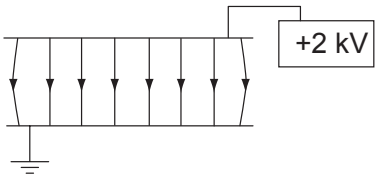
د. إذا كانت شدة المجال الكهربائي ثابتة: $E = 5.0 \times 10^{6}\ \text{N C}^{-1}$ (أو $5.0 \times 10^{6}\ \text{V m}^{-1}$)، فإن الجهد الكهربائي على مسافة 4.0 µm يهبط إلى:
$$V = 5.0 \times 10^{6} \times 4.0 \times 10^{-6}\ \text{V}$$
$$d = \frac{V}{E} = \frac{20}{5.0 \times 10^{6}} = 4.0 \times 10^{-6} = 4.0\ \mu\text{m}$$

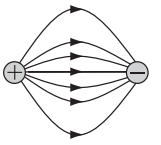
أي أن الجهد الكهربائي يصبح = 20 V (أو أيّ طريقة أخرى ممكنة).

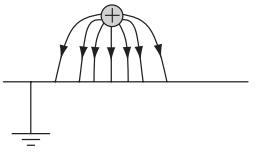
١٢. ج

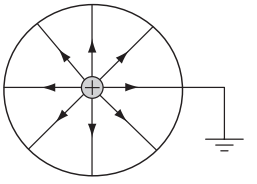
١٣. أ (ب: استخدم $\frac{1}{r}$، ج: استخدم r، د: استخدم r^2).

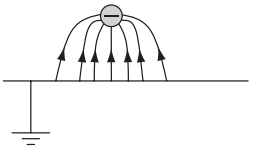
١٤. من أ إلى هـ.

أ.


ب.


ج.


د.


هـ.


١٥. أ.
$$E = \frac{V}{d} = \frac{2500}{0.040}$$
$$= 6.25 \times 10^{4}\ \text{V m}^{-1}$$

ب. ١.
$$F = EQ = 6.25 \times 10^{4} \times 2.4 \times 10^{-9}$$
$$= 1.5 \times 10^{-4}\ \text{N}$$

٢.
$$a = \frac{F}{m} = \frac{1.5 \times 10^{-4}}{4.2 \times 10^{-6}} = 36\ \text{m s}^{-2}$$

١٦. أ.
$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{2.4 \times 10^{-9}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times 0.02^2}$$
$$= 5.4 \times 10^{4}\ \text{V m}^{-1}$$

ب. $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{2.4 \times 10^{-9}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times 0.04^2}$

$= 1.3 \times 10^4 \text{ V m}^{-1}$

(أو ربع إجابة الجزئية (أ)؛ لأن المسافة قد تضاعفت).

١٧. أ. الجهد الكهربائي V:

$$V = \frac{Q}{4\pi \times \varepsilon_0 r}$$

وبإعادة ترتيب المعادلة للحصول على الشحنة الكهربائية:

$Q = 4\pi \times \varepsilon_0 r \times V$

$= 4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times 0.03 \times 20 \times 10^3$

$= 6.7 \times 10^{-8} \text{ C}$

ب. $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{6.7 \times 10^{-9}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times 0.03^2}$

$= 6.7 \times 10^5 \text{ N C}^{-1}$

١٨. جهد التأيّن للهيدروجين:

$V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$

$= \frac{1.6 \times 10^{-19}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times 1.05 \times 10^{-10}} = 13.7 \text{ V}$

١٩. أ. ١. $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{2.0 \times 10^{-9}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times 0.05^2}$

$\approx 7200 \text{ V m}^{-1}$

وهي موجبة لأن لها قيمًا موجبة لشدة المجال الكهربائي كما هو موضح في التمثيل البياني في السؤال.

٢. محصلة شدة المجال على بُعد 5 cm:

$\approx 1800 \text{ V m}^{-1}$

وبالتالي، المجال بسبب الكرة B:

$= 7200 - 1800 = 5400 \text{ V m}^{-1}$

يقود إلى $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$،

$Q = E \times 4\pi \times \varepsilon_0 \times r^2 = 1.5 \times 10^{-9} \text{ C}$

ب. ١. $V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$

$= \frac{2.0 \times 10^{-9}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times 1.0 \times 10^{-2}}$

$\approx 1800 \text{ V}$

٢. يكون الجهد الكهربائي أكبر قبل إزالة الكرة B، وبما أن الجهد الكهربائي كمية عددية، بالتالي فإن المحصلة للجهد عبارة عن حاصل جمع الجهدين.

٢٠. أ. الجهد الكهربائي في نقطة ما هو الشغل المبذول في نقل وحدة شحنة كهربائية موجبة من اللانهاية إلى تلك النقطة.

ب. ١. $V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$

بما أن شحنة البروتون المضاد سالبة، بالتالي: $Q = -e$

$= \frac{-1.6 \times 10^{-19}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times 5.3 \times 10^{-11}}$

$= -27.1 \text{ V}$

٢. $W = VQ = -27.1 \times (-1.6 \times 10^{-19} \text{ C})$

$= +4.3 \times 10^{-18} \text{ J}$

٢١. أ. $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r} = \frac{6.0 \times 10^{-8}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times (0.8 \times 10^{-2})^2}$

$= 8.4 \times 10^6 \text{ N C}^{-1}$

ب. ١. $F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$

$= \frac{6.0 \times 10^{-8} \times (-4.5 \times 10^{-8})}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times (5.0 \times 10^{-2})^2}$

$= -9.7 \times 10^{-3} \text{ N}$

٢. القراءة الجديدة للميزان:

$= 0.0482 - 0.0097 = 0.0384 \text{ N}$

ج. $\Delta V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right)$

$= \frac{6.0 \times 10^{-8}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12}}\left(\frac{1}{3.5 \times 10^{-2}} - \frac{1}{5.0 \times 10^{-2}}\right)$

$= 4.6 \times 10^3 \text{ V}$

الشغل المبذول:

$Q\Delta V = 4.6 \times 10^{-3} \times (-4.5 \times 10^{-8})$

$= -2.1 \times 10^{-4} \text{ J}$

إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة

إجابات أسئلة الأنشطة

نشاط ٢-١: تمثيل مجال كهربائي

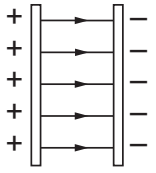
١. أ. تتنافر الشحنتان الكهربائيتان الموجبتان إحداهما عن الأخرى.

ب. توجد قوة تجاذب بين شحنتَين كهربائيتَين مختلفتَين في النوع.

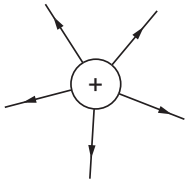
ج. خطوط المجال الكهربائي تتجه من الشحنة الموجبة إلى الشحنة السالبة.

د. يوضح خط المجال الكهربائي اتجاه القوة المؤثرة على شحنة كهربائية موجبة موضوعة عند نقطة معيّنة في مجال كهربائي ما.

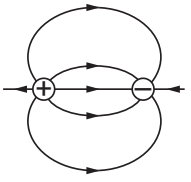
٢. أ.



ب.

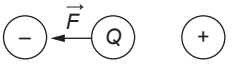


ج.

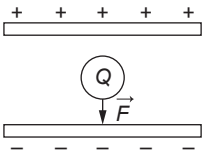


٣. أ.

ب.



ج.



نشاط ٢-٢: حساب القوة وشدة المجال الكهربائي

١. أ. E: شدة المجال الكهربائي (الوحدة $N\ C^{-1}$)

F: القوة الكهربائية (الوحدة N)

q: الشحنة الكهربائية (الوحدة C)

ب. $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ بترتيب المعادلة تصبح القوة:

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

ج. بما أن $\vec{F} = m\vec{a}$ بالتعويض عنها نحصل على:

$$m\vec{a} = q\vec{E}$$

لذلك فإن $\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$

٢. أ. $$E = \frac{F}{q} = \frac{2.0 \times 10^{-9}}{4.5 \times 10^{-6}} = 4.4 \times 10^{-4}\ N\ C^{-1}$$

ب. $$F = qE = 1.6 \times 10^{-19} \times 2.0 \times 10^{4}$$

$$= 3.2 \times 10^{-15}\ N$$

٣. أ. E: شدة المجال الكهربائي (الوحدة $N\ C^{-1}$)

V: فرق الجهد الكهربائي بين اللوحَين (الوحدة V)

d: المسافة الفاصلة بين اللوحَين (الوحدة m)

ب. $$E = \frac{V}{d} = \frac{5.0 \times 10^{3}}{20.0 \times 10^{-2}} = 2.5 \times 10^{4}\ N\ C^{-1}$$

ج. بما أن $E = \frac{V}{d}$ فإن:

$$V = Ed = 500 \times 1.0 \times 10^{-2} = 5.0\ V$$

د. بتعويض $E = \frac{V}{d}$ في $F = qE$ تعطي:

$$F = \frac{qV}{d} = \frac{2.0 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 400}{0.140}$$

$$= 9.1 \times 10^{-16}\ N$$

هـ. بتعويض $E = \frac{V}{d}$ في $F = qE$ تعطي:

$$F = \frac{qV}{d} = \frac{2.0 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^{3}}{0.005} = 4000\ N$$

نحو الأسفل

نشاط ٢-٣: حركة الشحنات في مجال كهربائي

١. أ. $E = \frac{V}{d} = \frac{240}{2.0 \times 10^{-3}} = 1.2 \times 10^{4}\ \text{N C}^{-1}$

ب. بما أن $E = \frac{F}{q}$ فإن:

$F = qE = 1.60 \times 10^{-19} \times 1.2 \times 10^{4}$

$= 1.9 \times 10^{-15}\ \text{N}$

ج. بما أن $F = ma$ فإن:

$a = \frac{F}{m} = \frac{1.9 \times 10^{-15}}{1.67 \times 10^{-27}} = 1.1 \times 10^{12}\ \text{m s}^{-2}$

د. سيتسارع البروتون إلى اليمين نحو اللوح السالب.

٢. أ. خطوط المجال الكهربائي متوازية ومتباعدة بشكل متساوٍ.

ب. المجال الكهربائي يتجه من اللوح الموجب إلى اللوح السالب.

ج. بما أن لكل إلكترون شحنة كهربائية سالبة، فإن القوة تكون بالاتجاه المعاكس لخطوط المجال الكهربائي.

د. لأن القوة الكهربائية (وقوة الجاذبية) يؤثران في الاتجاه الرأسي وليس لهما مركّبة أفقية.

هـ. تزداد المركّبة الرأسية لسرعتها المتجهة بمعدل ثابت (أي تسارع ثابت بسبب القوة الكهربائية الثابتة).

و. شكل المسار هو قطع مكافئ (كما هي الحال بالنسبة إلى المقذوف في مجال الجاذبية المنتظم للأرض).

نشاط ٢-٤: المجال الكهربائي حول شحنة كهربائية نقطية

١. أ. المجال الكهربائي هو المنطقة التي يتأثر فيها جسم مشحون بقوة كهربائية.

ب. شدة المجال الكهربائي (N C^{-1}) =

$$\frac{\text{القوة (N)}}{\text{الشحنة الكهربائية (C)}}$$

$E = \frac{F}{q}$

ج. ١. بما أن $E = \frac{F}{q}$ فإن:

$F = qE = -1.6 \times 10^{-19} \times 5000$

$= -8.0 \times 10^{-16}\ \text{N}$

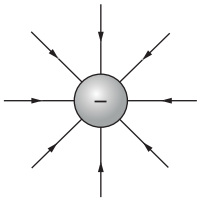
إلى اليسار

٢. $W = mg = 9.11 \times 10^{-31} \times 9.81$

$= 8.94 \times 10^{-30}\ \text{N}$

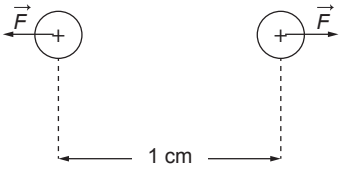
نحو الأسفل

٢. أ.



ب. $d = 5.0 + 20 + 5.0 = 40\ \text{cm}$

٣. أ.



ب. القوّتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه؛ وتؤثر كل منهما على جسمَين مختلفَين (شحنتين)؛ كلاهما قوة كهربائية أي من النوع نفسه.

ج. لا يتغير مقدار القوة ولكن يتغير اتجاههما (تصبحان قوّتَي تجاذب).

د. ١. تزيد إلى أربعة أمثالها.

٢. تقل إلى الربع.

٣. تزيد إلى أربعة أمثالها.

هـ. $F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$

$= \frac{1.0 \times 10^{-6} \times 1.0 \times 10^{-6}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times (1.0 \times 10^{-2})^2} = 90 \text{ N}$

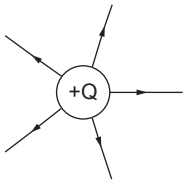
٤. أ. 24 N C^{-1} متجهًا بعيدًا عن الشحنة الكهربائية $+Q$.

ب. بما أن $E = \frac{F}{q}$ فإن:

$F = qE = 5 \times 24 = 120 \text{ N}$

متجهة نحو الشحنة الكهربائية $+Q$

٥. أ.



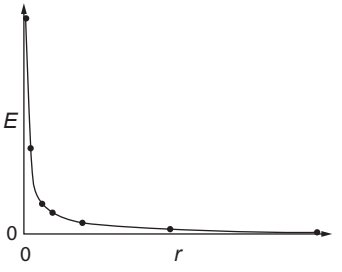
ب. لا، غير منتظم؛ لأن الخطوط مختلفة الاتجاه وليست متباعدة بشكل متساوٍ، وتصبح متباعدة أكثر كلما ابتعدت عن الشحنة الكهربائية.

ج. $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$

$= \frac{5.0 \times 10^{-6}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times (4.0 \times 10^{-2})^2}$

$= 2.8 \times 10^7 \text{ N C}^{-1}$

د.



٦. أ. الشحنة الكهربائية $+4.0 \times 10^{-6}$، لأن كلا الشحنتَين على المسافة نفسها؛ لذلك ستبذل الشحنة الكهربائية الأكبر قوة أكبر.

ب. إلى اليمين (بعيدًا عن الشحنة الكهربائية $+4.0 \times 10^{-6}$).

ج. تتناسب القوة طرديًا مع مقدار الشحنة الكهربائية وعكسيًا مع مربع المسافة عن الشحنة الكهربائية، وحتى تكون محصلة القوى تساوي صفرًا يجب أن تتساوى القوتان في المقدار وتتعاكسان في الاتجاه. وبما أن الشحنة الكهربائية اليسرى أكبر بمقدار بأربع مرات من الشحنة الكهربائية اليمنى، لذلك يجب أن تكون النقطة على بُعد ضعف المسافة من الشحنة الكهربائية اليسرى مقارنة مع بُعدها عن الشحنة الكهربائية اليمنى (لأن؛ $2^2 = 4$).

لذلك، يجب أن تكون النقطة على بُعد 2.0 cm من الشحنة الكهربائية اليسرى.

نشاط ٢-٥: الجهد الكهربائي

١. أ. $\Delta E_P = mg\Delta h = 20 \times 9.81 \times 2.0 = 392.4 \text{ J}$

$\Delta\phi = \frac{392.4}{20} \approx 20 \text{ J kg}^{-1}$

(مع رقمَين معنويَّين)

ب. لأن الشحنات الموجبة تتنافر (أو تُدفع الشحنة الكهربائية الموجبة بعكس اتجاه المجال الكهربائي).

ج. $\Delta E_P = q\Delta V = 20 \times (2 - 0)$

$\Delta E_P = 40 \text{ J}$

$\Delta V = 2 \text{ V}$

د. -40 J؛ تفقد الشحنة الكهربائية السالبة طاقة عند انتقالها إلى جهد كهربائي أعلى.

٢. أ. تتجاذبان، لأنهما شحنتان كهربائيتان مختلفتان.

ب. يجب بذل شغل ضد قوة التجاذب بين الشحنتَين.

ج. $V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$

$= \frac{0.010}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times 0.010} = 9.0 \times 10^9 \text{ V}$

د. $E_P = qV = -0.0050 \times 9.0 \times 10^9 = -4.5 \times 10^7 \text{ J}$

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. أ. المنطقة التي يتأثر فيها جسم مشحون بقوة كهربائية؛ هذا ما يُعرف بـ «مجال القوة».

ب. القوة لكل وحدة شحنة كهربائية والتي تؤثر على شحنة كهربائية موجبة ثابتة موضوعة عند تلك النقطة.

ج. ١. بما أن $E = \frac{F}{q}$ فإن:

القوة الكهربائية:

$$F = qE = -4.5 \times 10^{-9} \times 2500$$

$$= -1.1 \times 10^{-5}\ \text{N}$$

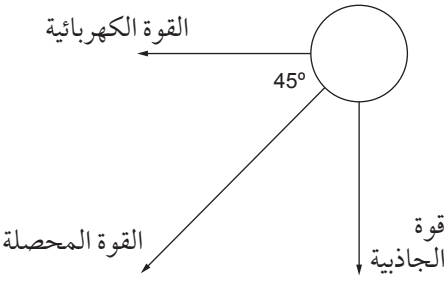
(إلى اليسار)

٢. قوة الجاذبية:

$$W = mg = 1.0 \times 10^{-6} \times 9.81 = 9.8 \times 10^{-6}\ \text{N}$$

(إلى الأسفل)

٣. القوّتان لهما مقدارن متساويان تقريبًا، لذا فإن محصلتهما ستكون بزاوية 45° تقريبًا مع المستوى الأفقي.



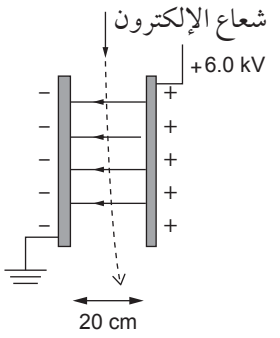
٢. أ.
$$E = \frac{V}{d} = \frac{6.0 \times 10^{3}}{20 \times 10^{-2}} = 3.0 \times 10^{4}\ \text{N C}^{-1}$$

ب. بما أن $E = \frac{F}{q}$ فإن:

$$F = qE = 1.6 \times 10^{-19} \times 3.0 \times 10^{4}$$

$$= 4.8 \times 10^{-15}\ \text{N}$$

ج، د. يكون مسار شعاع الإلكترون مقوّسًا عندما يمر بين اللوحَين، ومستقيمًا بعد خروجه من بين اللوحَين إلى الخارج.



٣. أ. ١. نحو اليمين.

٢. تطبيق فرق جهد كهربائي بين لوحَين فلزيَّين تفصل بينهما مسافة معيّنة وفي هذه الحالة هناك فتحة لدخول الإلكترونات على أحد اللوحَين.

ب.
$$v^2 = u^2 + 2as$$

$$a = \frac{v^2 - u^2}{2s} = \frac{0 - (2.0 \times 10^{7})^2}{2 \times 0.050}$$

$$= -4.0 \times 10^{15}\ \text{m s}^{-2}$$

ج.
$$E = \frac{F}{q} = \frac{ma}{q}$$

$$= \frac{9.11 \times 10^{-31} \times 4.0 \times 10^{15}}{1.6 \times 10^{-19}} = 2.3 \times 10^{4}\ \text{N C}^{-1}$$

د. يعكس اتجاهه نحو اليسار ويتحرك بتسارع ثابت حتى يصل إلى النقطة P، ويتحرك بعد ذلك بسرعة ثابتة.

٤. أ. تؤثر أي شحنتَين نقطتَين إحداهما على الأخرى بقوة كهربائية تتناسب مع حاصل ضرب مقدار شحنتَيهما وعكسيًا مع مربع المسافة بينهما.

ب.
$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

$$= \frac{6.0 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 1.6 \times 10^{-19}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times (0.7 \times 10^{-10})^2}$$

$$= 2.8 \times 10^{-7}\ \text{N}$$

ج. $F = 2.8 \times 10^{-7}\ \text{N}$

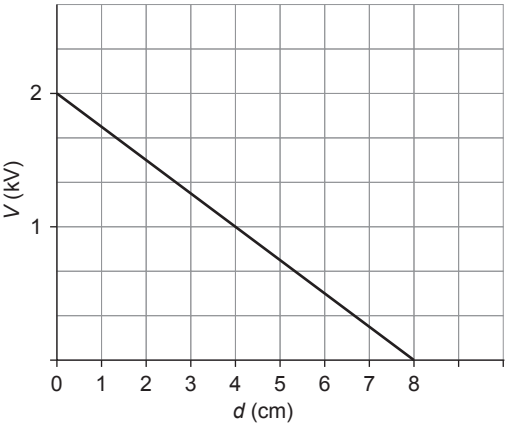
د. طاقة الوضع الكهربائية للإلكترون تزداد؛ لأنه يجب بذل شغل لزيادة المسافة الفاصلة بين الشحنات المتعاكسة.

٥. أ. الجهد الكهربائي عند نقطة ما يساوي الشغل المبذول لكل وحدة شحنة كهربائية لنقل وحدة شحنة كهربائية موجبة من اللانهاية إلى تلك النقطة.

ب. $W = q\Delta V = 1.6 \times 10^{-19} \times 2.0 \times 10^{3}$

$= 3.2 \times 10^{-16}$ J

ج.



د. $E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{2.0 \times 10^{3}}{0.08} = 2.5 \times 10^{4}$ V m^{-1}

هـ. بالنسبة إلى المسار AB: لا يبذل شغل؛ لأنه لا يوجد تغيير في الجهد الكهربائي.

بالنسبة إلى المسار BC:

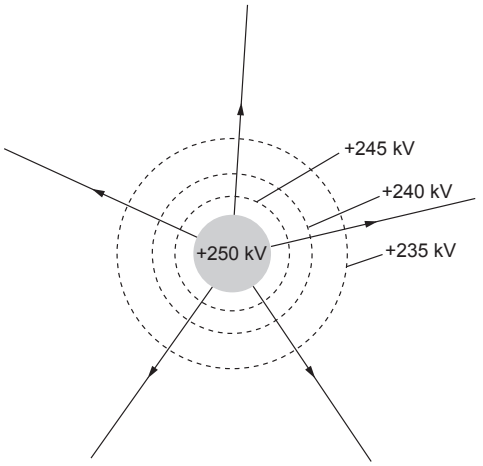
$\Delta V = -E\Delta d$

$\Delta V = -2.5 \times 10^{4} \times 0.050 = -1.25 \times 10^{3}$ V

$W = q\Delta V = -1.6 \times 10^{-19} \times -1.25 \times 10^{3}$

$= +2.0 \times 10^{-16}$ J

٦. أ. تكون خطوط المجال الكهربائي بزوايا قائمة على خطوط تساوي الجهد الدائرية؛ وتبيّن الأسهم التي تبدأ من السلك (الكابل) أن اتجاه المجال يكون إلى الخارج.



ب. تكون شدة المجال أكبر بالقرب من الكابل حيث تكون خطوط المجال أكثر تقاربًا وتتباعد بالابتعاد عن الشحنة.

ج. $E = -\frac{\Delta V}{d} = \frac{-5.0 \times 10^{3}}{0.0080} = -6.3 \times 10^{5}$ V m^{-1}

هذا تقدير؛ لأن شدة المجال الكهربائي ستختلف بين سطح السلك (الكابل) وخط تساوي الجهد +245 V. ومع ذلك، فإن المسافة صغيرة جدًا بحيث يمكن اعتبار التقدير صحيحًا.

الوحدة الثالثة

الدوائر الكهربائية

نظرة عامة

- تُتيح هذه الوحدة من المنهج للطلبة مراجعة معرفتهم الأساسية بالتيار الكهربائي والشحنة الكهربائية وفرق الجهد الكهربائي والمقاومة الكهربائية، وقد قُدمت فكرة حفظ الشحنة الكهربائية من خلال القانون الأول لكيرشوف، كما رُبط حفظ الطاقة في دراسة فرق الجهد الكهربائي حول مسارٍ مغلق ضمن دائرة كهربائية من خلال دراسة القانون الثاني لكيرشوف، كما تتضمن هذه الوحدة دراسة المقاومة والمقاومةً النوعية، وتنتهي بدراسة بعض الدوائر العملية المفيدة.
- يطوّر محتوى هذه الوحدة المفاهيم التي مرّ بها الطلبة في دراساتهم السابقة، ويوضّح كيف يمكن استخدام النهج المتبع لفهم الدوائر الأكثر تعقيدًا.
- هناك فرصة كبيرة لتطوير المهارات العملية في هذه الوحدة، ولكن لن يكتسب الطلبة فهمًا صحيحًا من دون خبرة مباشرة في بناء دوائر كهربائية بسيطة وأخذ قياسات.
- مواضيع هذه الوحدة من المنهج كميّة بطبيعتها (تعتمد على الحساب)، وتعطي فرصة جيدة لتطوير المهارات الرياضية في المعالجات الجبرية.
- يتوقع من الطالب خلال هذه الوحدة أن:
  - يذكر أن التيار الكهربائي هو تدفق لحاملات شحنة كهربائية مكمّمة.
  - يستخدم المعادلتَين: $Q = It$ و $I = Anvq$ المتعلقتَين بموصل حامل لتيار كهربائي.
  - يعرّف فرق الجهد الكهربائي عبر أي مكوِّن على أنه الطاقة المنقولة لكل وحدة شحنة ويستخدم المعادلة: $V = \frac{W}{Q}$.
  - يستخدم المعادلة: $R = \frac{\rho L}{A}$.
  - يذكر القانون الأول لكيرشوف ويشرح أنه نتيجة لقانون حفظ الشحنة الكهربائية.
  - يذكر القانون الثاني لكيرشوف ويشرح أنه نتيجة لقانون حفظ الطاقة.
  - يستخدم قانونَي كيرشوف لحل مسائل الدائرة الكهربائية.
  - يصف تأثيرات المقاومة الداخلية لمصدر قوة دافعة كهربائية على فرق الجهد الكهربائي بين طرفيه.
  - يصف مبدأ عمل دائرة مجزئ الجهد ويستخدمه.
  - يذكر مبدأ عمل مقياس الجهد كوسيلة لمقارنة فروق الجهد ويستخدمه.
  - يصف استخدام الجلفانوميتر بالطرق الصفرية (انعدام شدة التيار).
- ثمّة فرص لتغطية جميع أهداف التقويم الثلاثة: AO1 (المعرفة والفهم)، AO2 (معالجة المعلومات وتطبيقها وتقييمها) و AO3 (المهارات والاستقصاءات التجريبية).

مخطط التدريس

أهداف الموضوع	الموضوع	عدد الحصص	المصادر في كتاب الطالب	المصادر في كتاب التجارب العملية والأنشطة
٣-١، ٣-٢، ٣-٣	٣-١ التيار الكهربائي ٣-٢ فرق الجهد الكهربائي	٤	الأسئلة من ١ إلى ١١ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ٣-١ المقاومة، وفرق الجهد الكهربائي، والقوة الدافعة الكهربائية نشاط ٣-٢ التيار الكهربائي والشحنة الكهربائية نشاط ٣-٣ حاملات الشحنات الكهربائية أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٣-٤	٣-٣ المقاومة النوعية	٤	الأسئلة من ١٢ إلى ١٥ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ٣-٤ المقاومة النوعية والمقاومة: الأساسيات نشاط ٣-٥ المقاومة النوعية والمقاومة: مسائل متقدمة الاستقصاء العملي ٣-١: المقاومة النوعية لسلك فلزي أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٣-٥، ٣-٦، ٣-٧	٣-٤ قانونا كيرشوف	٤	الأسئلة من ١٦ إلى ٢٣ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ٣-٦ قانونا كيرشوف نشاط ٣-٧ تطبيق قانون كيرشوف الثاني على دوائر كهربائية أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٣-٨، ٣-٩، ٣-١٠، ٣-١١	٣-٥ الدوائر العملية	٥	الأسئلة من ٢٤ إلى ٣١ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ٣-٨ القوة الدافعة الكهربائية والمقاومة الداخلية نشاط ٣-٩ استخدام معادلات المقاومة الداخلية نشاط ٣-١٠ مجزئ الجهد الكهربائي نشاط ٣-١١ مقياس الجهد الكهربائي أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع

الموضوعان ٣-١: التيار الكهربائي و ٣-٢: فرق الجهد الكهربائي

الأهداف التعليمية

٣-١ يذكر أن التيار الكهربائي هو تدفق لحاملات شحنة كهربائية مكمّمة.

٣-٢ يستخدم المعادلتَين: $Q = It$ و $I = Anvq$ المتعلقتَين بموصل حامل لتيار كهربائي.

٣-٣ يعرّف فرق الجهد الكهربائي عبر أي مكوِّن على أنه الطاقة المنقولة لكل وحدة شحنة ويستخدم المعادلة: $V = \frac{W}{Q}$.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذَين الموضوعَين ٤ حصص دراسية (ساعتان و٤٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٣-١ التيار الكهربائي ٣-٢ فرق الجهد الكهربائي	• الأمثلة من ١ إلى ٣ • الأسئلة من ١ إلى ١١
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٣-١ المقاومة، وفرق الجهد الكهربائي، والقوة الدافعة الكهربائية نشاط ٣-٢ التيار الكهربائي والشحنة الكهربائية نشاط ٣-٣ حاملات الشحنات الكهربائية	• تركّز أسئلة النشاط ٣-١ على فهم واستخدام ما تعلمه الطالب من تعريفات أساسية في الكهرباء. • تعزز أسئلة النشاط ٣-٢ تدريبًا على حساب شدة التيار الكهربائي ومقدار الشحنة الكهربائية. • تعزز أسئلة النشاط ٣-٣ العلاقة الكمية بين شدة التيار الكهربائي وحاملات الشحنة الكهربائية.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- يتخيّل العديد من الطلبة أن التيار الكهربائي «يُستهلك» فيتناقص كلما تحرّك في دائرة ما. تبيّن التجارب بوضوح خلاف ذلك، فالتيار الكهربائي هو نفسه على طول مسار الدائرة.
- سيستخدم الطلبة غالبًا عبارة: «تدفق التيار الكهربائي»؛ وهذا غير صحيح، فالتيار الكهربائي هو تدفق الشحنات الكهربائية، وبالتالي فإن ما يتحدثون عنه هو «تدفق الشحنات الكهربائية»!
- قد يكون مفهوم فرق الجهد الكهربائي غير واضح بشكل جيد لدى بعض الطلبة، وبخاصة أن وسائل الإعلام لا تتحدث عنه بطريقة تساعد على فهمه، على سبيل المثال، «نجا رجل من مرور 20000 V عبر جسمه»!
- ليس مستغربًا أن يكون الاختلاف الدقيق بين فرق الجهد الكهربائي والقوة الدافعة الكهربائية صعبًا على العديد من الطلبة أيضًا. سيعاد النظر في دراسة هذا الاختلاف في الموضوع القادم من هذه الوحدة والذي سيساعد في إزالة سوء الفهم.

أنشطة تمهيدية

الكثير من أفكار هذَين الموضوعَين مرّت على الطلبة سابقًا؛ ومع ذلك فإن المعرفة الأساسية والفهم للموضوعَين سيختلفان من مجموعة إلى أخرى داخل الصف، والوقت الذي يقضيه الطلبة الآن في بناء الأساسيات سيكون مفيدًا جدًا في المستقبل.

نقترح عليك ثلاث أفكار كتمهيد لهذين الموضوعين؛ وسيعتمد اختيارك على الموارد المتوفرة، وعلى الزمن المتاح، وعلى كيفية تقدم الطلبة في هذين الموضوعين.

فكرة أ (٢٠-٢٥ دقيقة)

- ركّب دائرة بها خلية (أو أكثر) ومصباحًا ومقاومة وأميترًا، ثمّ صوّر الدائرة بحيث يسهل على الطلبة التعرّف إلى كل مكوّن. أعرض الصورة على كل الطلبة، واطلب إليهم رسم مخطط للدائرة، ثم اسمح لهم في مجموعات ثنائية أن يقارنوا مخططاتهم وتحديد الصحيح منها بعد المناقشة، ثم قدّم الإجابة الصحيحة لجميع طلبة الصف، واسمح للمجموعات بمقارنة إجاباتهم بالإجابة الصحيحة في الرسم التخطيطي.

فكرة للتقويم: قوّم هذا التمرين وتأكّد من أنك اطلعت على كل المحاولات لرسم مخطط الدائرة. استمع إلى أي نقاش يدور بين الطلبة وتحاور معهم.

فكرة ب (١٥–٢٠ دقيقة)

- وزّع الطلبة في مجموعات ثنائية، ثم أعطِ كل مجموعة ورقة واطلب إليهم أن يكتبوا من دون مناقشة مع أقرانهم، ما يعنيه مصطلح جهد كهربائي لهم، ثم بدّل الأوراق بين المجموعات، واطلب إليهم أن يقرأوا للصف ما كتبه أقرانهم. يجب عليهم أن يوضحوا ما إذا كانوا يتفقون مع زملائهم أم لا.

› **فكرة للتقويم:** يمكنك تقويم فهم الطلبة من خلال ما كتبوه وكذلك من خلال تحليلهم لعمل أقرانهم.

فكرة ج (١٠ دقائق)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: أميتر، فولتميتر، مصباح (3 V)، مقاومة (مقدارها يختلف بشكل بسيط عن مقاومة المصباح)، بطارية (6 V)، أسلاك توصيل.

- اطلب إلى الطلبة أن يوصلوا دائرة توالي وأن يقيسوا شدة التيار الكهربائي فيها ويقيسوا فرق الجهد الكهربائي بين طرفَي المصباح والمقاومة والبطارية.

› **فكرة للتقويم:** وجّه الطلبة إلى رسم مخططات الدوائر لتوضيح كيفية قياس فرق الجهد الكهربائي بين طرفَي كل مكوّن، واسمح لهم أن يناقشوا نتائجهم، وتأكّد من أن كل طالب يفهم الطريقة الصحيحة لتوصيل الفولتميتر، ويفهم أن فرق الجهد الكهربائي بين طرفَي البطارية يساوي مجموع فرقَي الجهد الكهربائي بين طرفَي المصباح والمقاومة.

الأنشطة الرئيسية

١ مدخل إلى التيار الكهربائي كتدفق شحنة كهربائية (٣٠–٣٥ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: مصدر جهد كهربائي (30–100 V)، ملّي أميتر أو جهاز ملتيميتر موضوع على المقياس المناسب، ورقة ترشيح، دبوسا تثبيت، مشبكا فم التمساح، 3 أسلاك توصيل، هيدروكسيد الأمونيوم ذو تركيز (1 M)، بلورات كبريتات النحاس (II).

- يعرض هذا النشاط حركة حاملات الشحنة الكهربائية في محلول إلكتروليتي:

– قصّ قطعة من ورق الترشيح لتلائم تمامًا الجزء العلوي من شريحة مجهر.

– انقع ورقة الترشيح في محلول هيدروكسيد الأمونيوم ذي تركيز (1 M) وضَعها على الجزء العلوي من الشريحة مجددًا، ثم ضع دبوسَي تثبيت عبر الجزء العلوي من ورقة الترشيح عند كل من طرفي الشريحة، وثبّتهما في مكانهما بمشبك فم التمساح. صِل مشبكَي فم التمساح بمصدر جهد كهربائي من 30 V إلى 100 V وأميتر. استخدم الملقط لوضع بلورة صغيرة من كبريتات النحاس في وسط ورقة الترشيح، ثم شغّل مصدر الجهد الكهربائي، ولاحظ اللون الأزرق. اللون الأزرق ناتج عن أيونات النحاس Cu^{2+} التي تتحرك ببطء شديد نحو المهبط (القطب السالب)، ويمكن الحصول على مزيد من التفاصيل حول كيفية إعداد أدوات التجربة باستخدام الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) والبحث عن عبارة "institute of physics conduction by coloured ions".

– كرّر العملية بقطعة جديدة من ورق الترشيح ولكن مع إيقاف تشغيل مصدر الجهد الكهربائي، وسينتشر اللون مرة أخرى ولكن هذه المرة بالتساوي في جميع الاتجاهات.

– اطلب إلى الطلبة حلّ السؤالين ١ و ٢ الواردَين في كتاب الطالب.

- هذه الأسئلة تجعل الطلبة يفكرون في معنى حاملات الشحنة الكهربائية، وهي تعزّز فكرة أنه على الرغم من أن حاملات الشحنة الكهربائية في الفلزات هي إلكترونات (شحنات سالبة)، فقد تكون في مواد أخرى حاملات الشحنة الكهربائية موجبة الشحنة، أو قد يكون هناك حاملات شحنة موجبة وسالبة.

فكرة للتقويم: حدّد ثلاثة أو أربعة طلبة ليكونوا بمثابة لجنة من «الخبراء».

اطلب إلى طلبة الصف أن يكتبوا على ورقة خارجية، الأسئلة التي يرغبون في طرحها حول ما يحدث. اجمع الأوراق واختر الأسئلة التي تريد طرحها على اللجنة.

يمكن للخبراء بعد ذلك محاولة الإجابة عن الأسئلة، وعندما يواجهون صعوبات يمكنك إعطاء توجيهات دقيقة لهم تقودهم إلى تقديم إجابات جيدة.

أمثلة على بعض الأسئلة التي يمكن أن تُطرح: لماذا تتحرك الألوان ببطء شديد عند تشغيل التيار الكهربائي مباشرةً؟ ما الذي يحمل التيار الكهربائي عبر ورق الترشيح؟ هل استخدام بلورات من مواد أخرى غير النحاس يعطي النتيجة نفسها؟ ما الذي يحمل التيار الكهربائي عبر الأسلاك النحاسية؟

استغلّ هذه الفرصة لمناقشة مفهوم التيار الاصطلاحي وخاصية التوصيل بواسطة الإلكترونات والأيونات، ويمكنك أيضًا استخدام المناقشة لتقديم العلاقة بين شدة التيار الكهربائي والشحنة الكهربائية.

٢ استخدام المعادلة ($Q = It$) (٢٠–٢٥ دقيقة)

- تعطي الأسئلة من ٣ إلى ٦ الواردة في كتاب الطالب فرصة للطلبة لإجراء بعض الحسابات الكمّية. يجب توجيه الطلبة لتحديد إجاباتهم بطريقة واضحة تتضمن: أولًا، تحقّق من وحدات الكميات المعطاة، ثم اكتب المعادلة. بيّن كيف يُعاد ترتيب المعادلة بالشكل المناسب والتعويض فيها؛ أخيرًا، أكمل الحساب وأعطِ الوحدة المناسبة. المثال الآتي يوضح كيفية تطبيق هذه الخطوات:

تخزّن كرة مشحونة (300 μC) من شحنة كهربائية، ثم تفرغ الكرة شحنتها في (2.0 ms). احسب متوسط شدة تيار التفريغ.

$Q = 3.0 \times 10^{-4}\ \text{C}$ و $t = 2.0 \times 10^{-3}\ \text{s}$

$$Q = It$$

إعادة الترتيب تعطي: $I = \frac{Q}{t}$

$$I = \frac{3.0 \times 10^{-4}}{2.0 \times 10^{-3}} = 0.15\ \text{A}$$

يجب عليك تشجيع الطلبة بانتظام على اتباع هذه الطريقة حتى تصبح عادة.

- تُدرّب هذه الأسئلة الطلبة على استخدام الصيغة $Q = It$. وهذا يتضمن التأكيد على أن الزمن يجب أن يكون بوحدة الثانية.

- يؤدي السؤالان ٧ و ٨ إلى مرحلة أبعد في الحلّ. فهما يحققان مهارة في استخدام العلاقة: $Q = Nq$

حيث (Q) هي الشحنة الكهربائية الكلية التي تمر من نقطة ما، و (N) هي عدد حاملات الشحنة الكهربائية التي تمر من النقطة، و (q) هي الشحنة الكهربائية لكل حامل شحنة.

- تعطي هذه الأسئلة الطلبة الفرصة لتطوير فهمهم بأن الشحنة الكهربائية الكلية التي تمر من نقطة ما تساوي حاصل ضرب عدد حاملات الشحنة الكهربائية التي تمر من النقطة في شحنة كل حامل شحنة.
- يمكن أن يكون الواجب المنزلي هو حلّ النشاط ٣-٢ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة.

› **فكرة للتقويم:** يمكن للمعلم تصحيح مجموعتَي الأسئلة ٣-٦ و ٧ و ٨، وتقديم التغذية الراجعة للطلبة لتعزيز الفهم.

سؤال مفصلي: هل يفهم الطلبة الأفكار المرتبطة بالصيغتَين $Q = It$ و $Q = Nq$؟ فبدون فهم كامل لهذين المفهومين، سيجدون صعوبة كبيرة في فهم النشاط الرئيسي ٣.

٣ استنتاج المعادلة ($I = nAvq$) واستخدامها (٣٠-٣٥ دقيقة)

- اشرح للطلبة كيفية استنتاج الصيغة $I = nAvq$، وتأكّد من أنهم يشاركون في عملية الاستنتاج من خلال طرح أسئلة على الصف في كل مرحلة من مراحل عملية الاستنتاج. من المفيد للطلبة معرفة مصدر الصيغة وفهم التقنيات المستخدمة لاستنتاجها (ملاحظة: القدرة على استنتاج هذه الصيغة ليست ضمن الأهداف التعليمة المطلوبة على الطلبة). كما يدعم استنتاج هذه الصيغة فهم الطلبة للعلاقة بين المتغيرات المختلفة المتضمنة فيها، ويربط أفكارهم كذلك بما شاهدوه في العرض التوضيحي في النشاط الرئيسي ١. لا تتسارع حاملات الشحنة الكهربائية في الموصل الفلزي باستمرار؛ فهي تتسارع وتتصادم مع أيونات الفلز، فتتباطأ وتغيّر اتجاهها ثم تتسارع مرة أخرى. هذه الحركة التي ننظر إليها هي السرعة المتجهة الانجرافية للإلكترونات، وهذه الحركة أبطأ بكثير من الحركة التي تحدث بسبب المجال الكهربائي والتي تتسبب في حركة حاملات الشحنة الكهربائية على كامل الدائرة الكهربائية.
- وجّه الطلبة إلى حلّ الأسئلة ٩-١١ من كتاب الطالب، والتي تعطيهم الفرصة لاستخدام الصيغة $I = nAvq$ وتعزيز الأفكار التي أثيرت في هذا الموضوع. يمكن أن يكون الواجب المنزلي هو النشاط ٣-٤ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة.

› **فكرة للتقويم:** اطلب إلى الطلبة تصحيح أسئلة الواجب المنزلي بعضهم لبعض في الصف، ولا تعطهم الإجابات فقط بل اختر عدة طلبة لشرح كيفية الحصول على الإجابة عن كل سؤال أو جزئية من السؤال.

يساهم تصحيح الأسئلة ٩-١١ مع تقديم التغذية الراجعة في تقويم أكثر فاعلية لتعزيز فهم الطلبة.

٤ تعريف فرق الجهد الكهربائي (٢٥-٣٠ دقيقة)

- قدّم فكرة أن فرق الجهد الكهربائي هو مقياس للطاقة المنقولة أثناء انتقال حاملات الشحنة الكهربائية خلال المقاومات مثل المصابيح، ثم قدّم تعريف فرق الجهد الكهربائي على أنه الطاقة المنقولة لكل وحدة شحنة كهربائية $V = \frac{W}{Q}$.
- يمكن بعد ذلك تعريف وحدة فرق الجهد الكهربائي على أنها 1 فولت وهو يساوي 1 جول من الطاقة التي انتقلت عندما يمر 1 كولوم من الشحنة الكهربائية عبر المصباح ($1\ V = 1\ J\ C^{-1}$).
- يمكن الإشارة باختصار إلى الفرق بين القوة الدافعة الكهربائية وفرق الجهد الكهربائي في هذه المرحلة، وستدرس هذا الفرق لاحقًا بمزيد من العمق في الموضوع ٣-٥ من هذه الوحدة.

› **فكرة للتقويم:** ستساعدك ملاحظة الطلبة -سواء مشاركاتهم الفردية أو في مجموعات- على تقويم مدى فهمهم للموضوع.

لقد درس الطلبة الآن كلًا من التيار الكهربائي وفرق الجهد الكهربائي، فأعطِ كل طالب ورقة وتحدّاه ليصف الفرق بين التيار الكهربائي وفرق الجهد الكهربائي، واطلب إليه العمل مع زميل له، ثم اسأله: هل يتفق زميلك مع الوصف الذي كتبته؟ هل يمكن تحسين ذلك الوصف؟

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

في النشاط الرئيسي ٣، قد يُطلب إلى الطلبة ذوي التحصيل الدراسي المرتفع عرض التجربة باستخدام بلورات أيونية مختلفة، على سبيل المثال برمنجنات البوتاسيوم، ويمكنهم عرض ذلك لطلبة الصف.

الدعم

سيجد بعض الطلبة صعوبة في إعادة ترتيب المعادلات، وسيساعدهم المزيد من التدريب في فهم ذلك. ومن المفيد أحيانًا أن تُناقش كيفية المعالجة مع معلم الرياضيات.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- ناقش جميع طلبة الصف للتأكّد من أنهم يفهمون جيدًا المفاهيم والمصطلحات الواردة في هذا الموضوع، وتأكّد من استعدادهم للانتقال إلى المرحلة الآتية من عملية التعلّم، ومن أن جميع الطلبة يشاركون في العملية من خلال طرح أسئلة على زملائهم مثل، «ما الفرق بين شدة التيار الكهربائي والشحنة الكهربائية ؟» أو «بأي نوع من السرعة تنتقل الإلكترونات في موصل فلزي؟» أتبع ذلك، بسؤال، «لكن مصباحين متصلين على التوالي في دائرة يضيء كل منهما على الفور وفي الزمن نفسه، لماذا؟»
- اختبر معرفة الطلبة بمخططات الدوائر بواسطة استخدام الاختبار نفسه المقترح في النشاط التمهيدي للموضوع ١. هذه المرة أعطهم أسماء المكوّنات واطلب إليهم رسم رموز مخطط الدائرة. وهذا أصعب! إذا كان هناك جدل حول ما إذا كان الرسم صحيحًا، فاسمح لهم بمناقشة عامة، ثم تصرّف كما لو كنت أنت الحكم والتزم بصرامة بالرموز المعطاة، ولا تسمح باستخدام الرموز القديمة (مثل خط متعرج للمقاومة).
- يمكن للطلبة عمل جدول لتلخيص الكميات ووحداتها وتعريفاتها وعلاقاتها الرياضية بعضها مع بعض.

الموضوع ٣-٣: المقاومة النوعية

الأهداف التعليمية

٣-٤ يستخدم المعادلة: $R = \frac{\rho L}{A}$.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذا الموضوع ٤ حصص دراسية (ساعتان و ٤٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٣-٣ المقاومة النوعية	• المثال ٤ • الأسئلة من ١٢ إلى ١٥
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٣-٤ المقاومة النوعية والمقاومة: الأساسيات نشاط ٣-٥ المقاومة النوعية والمقاومة: مسائل متقدمة الاستقصاء العملي ٣-١: المقاومة النوعية لسلك فلزي	• تساعد أسئلة النشاط ٣-٤ على التفكير في العلاقة بين مقاومة سلك فلزي وطوله ومساحة مقطعه العرضي ومقاومته النوعية. • تدرّب أسئلة النشاط ٣-٥ على التعامل مع الأسئلة الصعبة حيث تعطى الكميات بوحدات قياس وليست بالوحدات الدولية. • يتحقق الطالب في الاستقصاء العملي من العلاقة بين مقاومة سلك ما وطوله.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- عند استخدام المعادلة $R = \frac{\rho L}{A}$ قد يخطئ الطلبة في موقع A و L في المعادلة. تذكّر أنّ وحدة المقاومة النوعية هي (Ω m) والتحقّق من أنّ الوحدة على الجانب الأيمن من المعادلة هي أيضًا (Ω) وهي أضمن طريقة لتجنب هذا الخطأ.

أنشطة تمهيدية

من غير المحتمل أن يكون الطلبة قد درسوا مصطلح المقاومة النوعية من قبل، ومع ذلك سيدرك الكثير منهم أن مقاومة الموصل تعتمد على المادة التي صُنع منها الموصل وطوله ومساحة المقطع العرضي له.

نقترح عليك فكرتَين كتمهيد لهذا الموضوع؛ وسيعتمد اختيارك على الموارد المتوفرة، وعلى الزمن المتاح، وعلى كيفية تقدم الطلبة في هذا الموضوع.

فكرة أ (١٠ دقائق)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: سلك نيكروم بقطر صغير طوله (25 cm)، سلك نيكروم بقطر صغير طوله (50 cm)، سلك نيكروم بقطر كبير طوله (25 cm)، سلك نيكروم بقطر كبير طوله (50 cm)، سلك نحاسي بقطر صغير جدًا طوله (25 cm)، سلك نحاسي بقطر صغير جدًا طوله (50 cm).

أطلق على هذه الأسلاك تسمية، سلك أ، سلك ب، ... إلخ.

المواصفات الدقيقة للأسلاك ليست مهمة ولا الفلزات التي صُنعت منها، ومع ذلك فالمهم أن تختلف الأقطار بوضوح بمجرد النظر إليها. اختير النحاس للعيّنتين الأخيرتين حيث يسهل التعرّف عليه، ويجب على الطلبة في هذه المرحلة معرفة أن النحاس موصل جيد جدًا.

- ضع ستة أسلاك مختلفة على المنضدة (انظر الإرشادات العملية)، واطلب إلى الطلبة النظر إلى كل سلك من دون لمسه. وجّه الطلبة إلى ترتيبها تصاعديًا في قائمة من الأصغر إلى الأكبر مقاومة.

› **فكرة للتقويم:** اسأل أحد الطلبة عن ترتيب مقاومة الأسلاك، واستوضح عمّا إذا كان هناك من يختلف معه، ثم ناقش تأثير كل متغيّر.

فكرة ب (١٠ دقائق)

- اطلب إلى الطلبة اقتراح العوامل التي قد تؤثر على مقاومة موصل ما، وتوقّع إجابات مثل الطول والسمك والمادة التي صُنع منها الموصل. يمكن أن يؤدي السؤال الدقيق إلى اقتراحات حول العلاقات بين هذه المتغيّرات والمقاومة، بحيث يوفر للطلبة القاعدة التي يمكن من خلالها الانطلاق في الاستقصاءات العملية.

الأنشطة الرئيسية

١ استقصاء كيفية تأثير طول الموصل ومساحة مقطعه العرضي على مقاومته (٤٠ دقيقة – ساعة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: (لكل طالب أو مجموعة ثنائية) سلكا توصيل*، ملتيميتر رقمي*، مسطرة مترية، سلك مقاومة طوله (110 cm) (يمكن أن يكون سلك المقاومة نيكروم أو كونستانتان أو أي سبيكة ذات مقاومة نوعية بين $10^{-6}\ \Omega\ m$ و $10^{-8}\ \Omega\ m$ ويجب أن يكون قطره ما بين 0.2 mm و 0.3 mm)، شريط عازل، مشبكا فم التمساح، ميكروميتر، 6 أسلاك كونستانتان بطول (50 cm) وبأقطار مختلفة:
(0.19 mm)، (0.23 mm)، (0.27 mm)، (0.32 mm)، (0.38 mm)، (0.46 mm).
(*بدلًا من ذلك، يمكن استخدام طريقة الفولتميتر – الأميتر. يلزم في هذه الحالة، 5 أسلاك توصيل، مصدر جهد كهربائي (2 V)، وأميتر وفولتميتر).

- يستقصي الطلبة العلاقة بين مقاومة سلك مقاومة وطوله ومساحة مقطعه العرضي. يجب عليهم تصميم تجربتهم وتحديد القياسات التي يجب عليهم أخذها.

› **فكرة للتقويم:** يجب على الطلبة كتابة خطوات التجربة والقياسات التي أخذوها حتى التوصل إلى نتيجة محدّدة. ويمكنك تصحيحها وتقديم التغذية الراجعة للطلبة، بعد ذلك ناقش طلبة الصف، معتمدًا المنهجية العملية الجيدة (مثل ربط السلك بالمسطرة المترية) وعرض النتائج (جدول مروس بشكل صحيح، وأعداد متسقة من الأرقام المعنوية ورسم تمثيل بياني).

يمكن الآن استخدام المناقشة لإظهار العلاقة بين الطول ومساحة المقطع العرضي ومقاومة الموصل على الشكل $R \propto \frac{l}{A}$. وهذا يقود إلى $R = \frac{\rho L}{A}$، حيث ρ هي ثابت التناسب. ويطلق عليه اسم المقاومة النوعية.

تعطي الأسئلة من ١٢ إلى ١٥ الواردة في كتاب الطالب فرصة للطلبة للتدرب على استخدام صيغة المقاومة النوعية.

يقدم النشاطان ٣–٤ و ٣–٥ الواردان في كتاب التجارب العملية والأنشطة مزيدًا من التدريب على استخدام المعادلة.

٢ الاستقصاء العملي ٣–١: المقاومة النوعية لسلك فلزي (ساعة واحدة)

المدّة

سيستغرق الاستقصاء العملي ٣٠ دقيقة، وسيستغرق حل أسئلة التحليل والتقييم ٣٠ دقيقة أيضًا.

ستحتاج إلى

المواد والأدوات	
• سلكان موصلان.	• بكرة من سلك مقاومة (36 SWG كونستانتان بقطر 0.19 mm أو 32 SWG نيكروم بقطر 0.27 mm).
• مشبك فم التمساح عدد (2).	• شريط لاصق.
• ملتيميتر رقمي.	• مقص.
• مسطرة مترية.	• قاطع أسلاك.
• ميكروميتر.	

التحضير للاستقصاء

- يجب أن يكون الطلبة قادرين على استخدام المعادلة $R = \frac{\rho L}{A}$.
- يجب أن يكون الطلبة قادرين على رسم تمثيلات بيانية.
- سيستقصي الطلبة كيف تختلف مقاومة سلك المقاومة مع اختلاف طوله.
- سيستخدم الطلبة ميكروميترًا لقياس قطر السلك.

توجيهات حول الاستقصاء

- إذا لم يكن السلك مستقيمًا فربما لا يكون قياس السلك ذي الطول (50 cm) من أحد طرفَيه إلى الطرف الآخر هو (50 cm) بالضبط؛ لأن السلك به التواءات وتقوسات قليلة.
- ربما لا يكون الطلبة متأكدين من المدى الذي يجب استخدامه على الملتيميتر الرقمي.

أنموذج نتائج

الجدول ٣-١ يُعطي فكرة عن النتائج التي يجب على الطلبة أن يحصلوا عليها في نهاية الاستقصاء، كما يمكن استخدامها كذلك لإكمال تحليل البيانات وأسئلة التقويم إذا كان الطلبة غير قادرين على تنفيذ الاستقصاء.

R (Ω)	l (m)
4.3	0.100
6.5	0.250
9.1	0.400
11.8	0.550
14.4	0.700
17.1	0.850

الجدول ٣-١: أنموذج نتائج للاستقصاء العملي ٣-١.

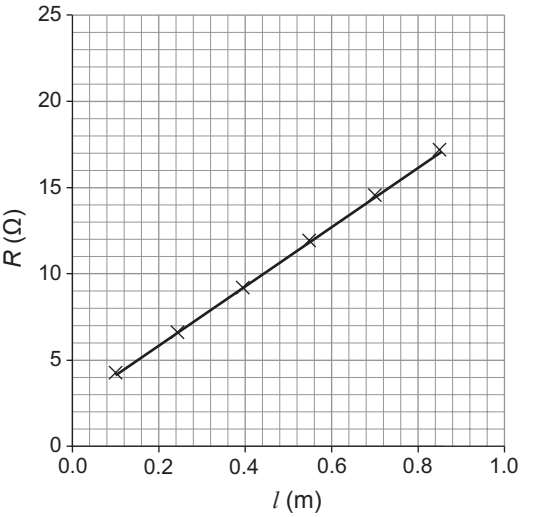
d = 0.19 mm

المقاومة الكلية للسلكَين الموصلَين = 2.3 Ω

إجابات أسئلة الاستقصاء العملي ٣-١ في كتاب التجارب العملية والأنشطة (باستخدام أنموذج النتائج)

أ. $A = 0.028\ mm^2 = 2.8 \times 10^{-8}\ m^2$

ب، ج. انظر الشكل ٣-١.



الشكل ٣-١

د. الميل = $\frac{(17-4)}{(0.85-0.10)}$ = 17.3

هـ. نقطة التقاطع مع المحور الصادي من الاستقراء عند تمديد الخط = 2.35

و. $\rho = 17.3 \times 2.8 \times 10^{-8} = 4.84 \times 10^{-7}\ \Omega\ m$

ز. كونستانتان بقطر 0.19 mm

ح. $1.2 \times 10^{-6} = 17.3 \times A$

$A = 6.9 \times 10^{-8}\ m^2$ ، $d = 0.30$ mm (اختر 0.27 mm أو 0.32 mm) .

ط. إذا كان $\rho = 1.7 \times 10^{-8}\ \Omega\ m$، و $A = 2.8 \times 10^{-8}\ m^2$ و $l = 1.000$ m فإن $R = 0.6\ \Omega$ (صغيرة جدًا)

أو $17.3 \times A = 1.7 \times 10^{-8}$

$A = 9.83 \times 10^{-10}\ m^2$

$=> d^2 = \frac{4A}{\pi} = 1.26 \times 10^{-9}\ m^2$

$d = 3.54 \times 10^{-5}$ m = 0.0354 mm (سميك جدًا).

ي. نقطة التقاطع (y) يجب أن تعطي مقاومة الأسلاك الموصلة، فالمقارنة بين مقاومة الأسلاك الموصلة ونقطة التقاطع (y) يجب أن تعطي قيم مشابهة (بالنسبة إلى نتائج الطلبة).

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدي

- يمكنك إعطاء الطلبة ذوي التحصيل الدراسي المرتفع بعض النصائح في التخطيط لاستقصاءاتهم بحيث يتمكنون من اتخاذ قراراتهم بأنفسهم.
- لا تتوسع معهم في تفاصيل إيجاد العلاقة بين مساحة المقطع العرضي والمتغيّر المقاس وهو القطر.

الدعم

- سيجد العديد من الطلبة فكرة المقاومة النوعية صعبة، ولن يقدّروا أنها تعتمد على مادة معيّنة بدلًا من اعتمادها على المكوّن أو سلك معيّن. يتمثل أحد الحلول في الطلب إلى الطلبة شرح الفرق بين المقاومة والمقاومة النوعية، فابحث عن التفسيرات التي توضّح أن الطلبة يفهمون أن المقاومة النوعية خاصية للمادة وليست لموصل بأبعاد محددة، كما أن وحدة قياسها تختلف عن وحدة قياس المقاومة.
- من المفيد أحيانًا وصف المقاومة النوعية بدلالة المقاومة بين وجهين متقابلين لمكعب من المادة أبعاده (1 m × 1 m × 1 m).
- قدّم الدعم من خلال تواجدك لمساعدة الطلبة في الجلسات العملية، وساعدهم في تجاوز تعقيدات إيجاد العلاقة بين قطر سلك ما ومساحة مقطعه العرضي.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اطلب إلى مجموعات من الطلبة أن يبحثوا عن المقاومة النوعية للفلزات النقية أو السبائك أو البلاستيك أو أشباه الموصلات. اعرض نتائج كل المجموعات، ثم اسألهم عن الاختلافات الموجودة بين الفلزات النقية والسبائك. كيف تعتقدون أن أشباه الموصلات حصلت على أسمائها؟ ما مدى توصيل البلاستيك للتيار الكهربائي؟ ما الفرق في الرتبة العددية (قوى العدد 10) لمقدار المقاومة النوعية بين أفضل الموصلات وأردئها؟

الموضوع ٣-٤: قانونا كيرشوف

الأهداف التعليمية

٣-٥ يذكر القانون الأول لكيرشوف ويشرح أنه نتيجة لقانون حفظ الشحنة الكهربائية.

٣-٦ يذكر القانون الثاني لكيرشوف ويشرح أنه نتيجة لقانون حفظ الطاقة.

٣-٧ يستخدم قانونَي كيرشوف لحل مسائل الدائرة الكهربائية.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذا الموضوع ٤ حصص دراسية (ساعتان و ٤٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٣-٤ قانونا كيرشوف	• المثالان ٥ و ٦ • الأسئلة من ١٦ إلى ٢٣
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٣-٦ قانونا كيرشوف نشاط ٣-٧ تطبيق قانون كيرشوف الثاني على دوائر كهربائية	• تعزز أسئلة النشاط ٣-٦ فهم الطالب لقانونَي كيرشوف وكيفية ارتباطهما بحفظ الشحنة الكهربائية وحفظ الطاقة. • توسّع أسئلة النشاط ٣-٧ فهم تطبيق قانون كيرشوف الثاني على دوائر كهربائية معقدة وكيفية اختيار المسارات المغلقة.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- يجد العديد من الطلبة صعوبة في التمييز بين فرق الجهد الكهربائي الموجب وفرق الجهد الكهربائي السالب عند استخدام القانون الثاني لكيرشوف، ومن السهل نسبيًا اكتشاف ذلك عندما يحلّل الطلبة مسارًا مغلقًا في دائرة ما بشكل غير صحيح، فذكّرهم أنه عندما يكون التيار الكهربائي عبر مسار ما في الخلية من الطرف السالب إلى الموجب، فإن التغيّر في الجهد الكهربائي يكون موجبًا، وعندما يكون التيار الكهربائي في الخلية من الطرف الموجب إلى السالب، فإن التغيّر في الجهد الكهربائي يكون سالبًا. يمكنك عمل بطاقات لهذه الحالات وللمكوّنات الأخرى كالمقاومات.

أنشطة تمهيدية

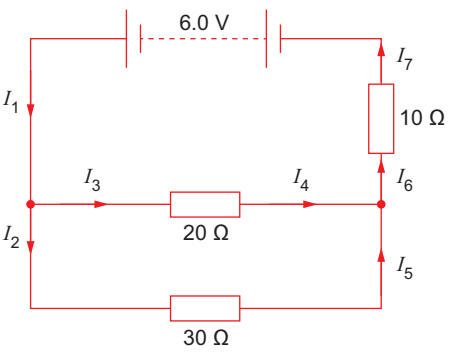
على الرغم من أن قانونَي كيرشوف ضروريان لتحليل وتصميم الدوائر المعقّدة (غالبًا بمساعدة الحاسوب)، فقد يشعر الطلبة بأنهم يكرّرون فقط ما تعلموه في دراساتهم السابقة.

نقترح عليك فكرتَين كتمهيد لهذا الموضوع؛ وسيعتمد اختيارك على الموارد المتوفرة، وعلى الزمن المتاح، وعلى كيفية تقدم الطلبة في هذا الموضوع.

فكرة أ (١٠–١٥ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: (لكل طالب) 9 أسلاك توصيل، بطاريتان مختلفتا القوى الدافعة الكهربائية، مقاومتان مقداراهما مختلف، أميتر، فولتميتر، أو ملتيميتران رقميان.

- ارسم دائرة مشابهة لتلك المبيّنة في الشكل ٣–٢ أدناه واعرضها. فقد تختلف مقادير المقاومات والقوة الدافعة الكهربائية للبطارية عن تلك المعروضة، لذلك تحتاج أن تتأكّد من أنها تعطي نتائج يسهل على الطلبة معالجتها، فاطلب إليهم توصيل دائرة مماثلة لتلك المبيّنة وقياس شدة التيارات الكهربائية (I_1)، و (I_2)، و (I_3)، و (I_4)، و (I_5)، و (I_6)، و (I_7)، ثم تقديم أي استنتاجات يمكنهم الحصول عليها.



الشكل ٣–٢

› **أفكار للتقويم:** اطلب إلى كل طالب تقديم نتائجه إلى أحد زملائه، ثم يتوصل الطالبان معًا إلى استنتاجات مشتركة، فيقدمان هذه الاستنتاجات إلى مجموعة ثنائية أخرى من الطلبة. كرّر العملية حتى لا يبقى في الصف إلّا مجموعتان. هل توصلت المجموعتان إلى الاستنتاجات نفسها؟ هل فاتهما أي شيء؟

فكرة ب (٥–١٠ دقائق)

- اعرض للطلبة نسخة من مخطط دائرة معقّدة لآلة صناعية. على سبيل المثال، ابحث في الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) عن «مخطط دائرة جهاز التوجيه اللاسلكي circuit diagram for wifi router»، واسألهم كيف

يمكنهم مقاربة تحليل الدائرة، ثم أظهر لهم جزءًا صغيرًا من الدائرة التي اخترتها واستخرجتها من الدائرة بأكملها. هل يعتقد الطلبة أنهم قد يكونون قادرين على تحليل ذلك؟

› **أفكار للتقويم:** هذه فرصة للطلبة للمناقشة وإلقاء نظرة خاطفة على تعلّمهم المستقبلي بدلًا من التقويم التكويني. ومع ذلك، قد يستمرون في تقديم بعض التعليقات المشوقة.

الأنشطة الرئيسية

١ أحاجي (ألغاز) في قانونَي كيرشوف (٣٥–٤٠ دقيقة)

- ارسم أربع دوائر بسيطة نسبيًا مشابهة (مع اختلاف بسيط) لتلك الموجودة في الأشكال من ٣–١٤ إلى ٣–١٨ الواردة في كتاب الطالب. ابدأ بأمثلة بسيطة، وزِد التحدي تدريجيًا.
- ارسم أربع دوائر أخرى مشابهة (مع اختلاف بسيط) لتلك الموجودة في الأشكال من ٣–١٨ إلى ٣–٢١ الواردة في كتاب الطالب، ابدأ مرة أخرى بأمثلة بسيطة وزِد الصعوبة تدريجيًا.
- ارسم دائرتين أكثر تعقيدًا، بحيث تمثل إحداهما تحديًا لجميع الطلبة، وتكون الأخرى أكثر صعوبة حتى للطالب ذي التحصيل الدراسي المرتفع. الشكل ٣–١٩ مثال على النوع الأول، ويمكن أن تكون إضافة خلية أخرى على التوازي عبر المقاومة السفلى (10 Ω) كافية للنوع الثاني.
- في كل دائرة سيكون هناك (على الأقل) كمية واحدة مجهولة، فحفّز الطلبة على البحث عن حل اللغز وإيجاد الكمية المجهولة.
- تأكّد من وجود معلومات كافية في كل دائرة بحيث يمكن حساب الكميات المجهولة.
- أعطِ كل طالب نسخة من الدوائر العشر، وامنحهم ١٥ دقيقة لإجراء أكبر عدد ممكن من العمليات الحسابية.
- في هذه المرحلة يمكن تقديم القانون الأول لكيرشوف، ويمكن إكمال حلّ الأسئلة من ١٦ إلى ٢٤. يجدر بك التأكيد على أنه إذا حصل الطلبة على «تيار سالب»، فهذا يعني أن التيار الكهربائي هو في الاتجاه المعاكس للاتجاه الذي كانوا يتوقعونه.
- يمكن تقديم القانون الثاني بمجرد إكمال جميع الطلبة حلّ الأسئلة بنجاح، ويجب التأكيد على أن فروق الجهد الكهربائية بشكل عام تُعدّ سالبة (هبوط في الجهد الكهربائي)، وتُعدّ القوى الدافعة الكهربائية موجبة (ارتفاع في الجهد الكهربائي)، ما لم يكن هناك أكثر من خلية واحدة متصلة بأقطاب متعاكسة.
- يُعدّ السؤال ٢٠ مثالًا بسيطًا جدًا، في حين يقدم السؤالان ٢١ و ٢٢ من كتاب الطالب أمثلة أكثر تحدّيًا، فيجب على الطلبة اختيار «المسارات» التي يحتاجون إلى استخدامها. وبعد الانتهاء من ذلك، عُد إلى الألغاز المعقّدة (إذا كان الوقت قصيرًا، فيمكنك تعيينها كواجب منزلي).

› **فكرة للتقويم:** اختر أحد الطلبة ليبلغ طلبة الصف بإجابة لغز معيّن في كل مرة. هل يتفقون معه جميعًا؟ عندما يكون هناك عدم اتفاق، يجب على الطالب تبرير إجابته، كما يجب على المتحدي اكتشاف أي أخطاء ومحاولة إثبات صحة إجابته. اسمح بالمناقشة واطرح أسئلة مثل: «كيف وجدت فرق الجهد الكهربائي بين طرفَي المقاومة؟» «ماذا يعني التيار الكهربائي السالب؟» من المهم أن يتم التوصل إلى توافق في الآراء، وإذا لم يحدث ذلك، فستحتاج إلى التدخل.

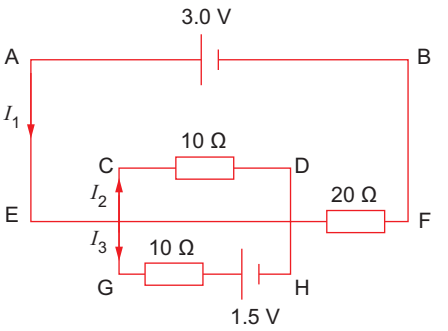
بالنسبة إلى اللّغزَين الأخيرين، اسأل ما إذا كان لدى أي طالب إجابة عنهما، وما إذا كان لدى أحدهم إجابة مختلفة. لا تعلّق أو تسمح بالمناقشة في هذه المرحلة. أخبر الطلبة أن الألغاز ستناقش في مرحلة لاحقة.

عندما تتم محاولة حلّ المسائل الأكثر تعقيدًا، اسأل الطلبة عمّا إذا كانوا قد وجدوا أن استخدام قانونَي كيرشوف ساعدهم في حل هذه المسائل المعقّدة.

٢ تطوير عملي للقانون الثاني لكيرشوف (٣٠-٣٥ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: (لكل طالب) 11 سلك توصيل، 3 بطاريات لها القوة الدافعة الكهربائية نفسها، 3 مقاومات مختلفة المقدار، أميتر، فولتميتر أو ملتيميتران رقميان.

سؤال مفصلي: يبيّن مخطط الدائرة في الشكل ٣-٣ شبكة من المقاومات.



الشكل ٣-٣

احسب شدة التيارات الكهربائية (I_1)، و (I_2)، و (I_3). بيّن طريقة عملك، ووضّح اختيارك «للمسارات المغلقة».

يختبر هذا السؤال قدرة الطلبة على اختيار المسارات المغلقة المعقولة، كما أنه يختبر قدرتهم على التعرّف إلى معنى «تيار كهربائي سالب». ستساعدهم محاولة الحل الأولية، متبوعة بالتجربة الدقيقة وبإشرافك على تقوية هذه الأفكار.

(الإجابة: $I_1 = 0.09\ A$ ، $I_2 = 0.12\ A$ ، $I_3 = -0.03\ A$)

- يمكن للطلبة بناء دائرة من نسخة من مخطط دائرة مشابه للشكل ٣-١٩، فأخبرهم بقياس فرق الجهد الكهربائي عبر كل مكوّن.
- اطلب إلى الطلبة تحديد «المسارات» الثلاثة الممكنة في الدائرة، وأخبرهم بمحاولة وضع قاعدة مشتركة بين جميع المسارات.
- وضّح المفهوم القائل بأن القانون الثاني لكيرشوف هو في الحقيقة تعبير عن حفظ الطاقة:

«الطاقة المعطاة لكل وحدة شحنة بواسطة مصدر جهد كهربائي = الطاقة التي تستهلكها كل وحدة شحنة كهربائية في الدائرة الخارجية».

- اشرح للطلبة المثال ٥، ثم أعطهم السؤالين ٢١ و ٢٢ لحلّهما بأنفسهم.

› **فكرة للتقويم:** وجّه الطلبة إلى إعداد ورقة لتقديمها إلى الصف مع النتائج التي توصلوا إليها، واختر طالبًا واحدًا، أو مجموعة ثنائية من الطلبة لعرض النتائج التي توصلوا إليها. سيقدم بعض الطلبة مجموعة من الأشكال فقط، وربما يكون الآخرون قد طوّروا أفكارهم لإيجاد شيء مشابه للقانون الثاني لكيرشوف؛ فإذا كان هناك قليل من تطور الأفكار، فاسمح للطلبة بحلّ السؤال ٢٠. ثم اسأل مرة أخرى.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

أعطِ الطلبة ذوي التحصيل الدراسي المرتفع بعض الدوائر المعقّدة جدًا مع عدم ذكر قيم للقوى الدافعة الكهربائية أو فروق الجهد. يجب أن يحسبوا القيم المفقودة، حيث يمكن تطبيق القانون الثاني لكيرشوف، ويمكن للطلبة تقدير كيفية تحليل الدوائر المعقدة.

الدعم

- يمكن مساعدة الطلبة الأقل ثقة بأنفسهم باستخدام فكرة أن مجموع شدة التيارات الكهربائية عند نقطة ما تساوي صفرًا، وأن كل تلك التيارات الكهربائية التي اتخذتَ أسهمها باتجاه معيّن نحو النقطة تكون موجبة، وتلك الأسهم ذات الاتجاه المعاكس تكون سالبة؛ فإذا كانت إجابتك النهائية كمية بإشارة سالبة، فإن التيار الكهربائي يسير بالاتجاه المعاكس للاتجاه الذي كنت اتخذته.
- المبدأ القائل إن مجموع فروق الجهد الكهربائي حول مسار مغلق في دائرة ما هو صفر سيساعد للطلبة الذين يجدون صعوبة في العمل. تكون القوى الدافعة الكهربائية، إذا انتقلت عبر مسار ما من الطرف السالب إلى الموجب في مصدر جهد كهربائي موجبة، وبالتالي فإن القوى الدافعة الكهربائية إذا انتقلت من الطرف الموجب إلى السالب في مصدر الجهد الكهربائي سالبة. يكون التيار الكهربائي عبر المقاومة سالبًا طالما تتبّع اتجاه التيار الكهربائي. لذلك إن وضع جميع الكميات على جانب واحد من المعادلة ووضع الصفر في الجانب الآخر يقلل من خيارات الطلبة فيسهل عليهم الحل.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- تطبيق قانونَي كيرشوف يوظّف عمليًا الكثير من الفيزياء التي درسها معظم الطلبة في الصفوف السابقة، ويجب أن يؤدي ذلك إلى تحسين عمق فهم الطلبة وقدرتهم في حل المسائل والتي كانت تفوق قدراتهم في الماضي. ومن الأمثلة الجيدة اللغزان الواردان في النشاط الرئيسي ١، فاعرض هذَين اللغزَين مرة أخرى وتعّرف إلى عدد الطلبة الذين يمكنهم حلها أو القيام بمحاولة جيدة لحلّها.
- الأسئلة من ١٨ إلى ٢٥ من أسئلة نهاية الوحدة تعطي تدريبًا إضافيًا جيدًا لاستخدام قانونَي كيرشوف.

الموضوع ٣-٥: الدوائر العملية

الأهداف التعليمية

٣-٨ يصف تأثيرات المقاومة الداخلية لمصدر قوة دافعة كهربائية على فرق الجهد الكهربائي بين طرفَيه.

٣-٩ يصف مبدأ عمل دائرة مجزئ الجهد ويستخدمه.

٣-١٠ يذكر مبدأ عمل مقياس الجهد كوسيلة لمقارنة فروق الجهد ويستخدمه.

٣-١١ يصف استخدام الجلفانوميتر بالطرق الصفرية (انعدام شدة التيار).

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذا الموضوع ٥ حصص دراسية (٣ ساعات و ٢٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٣-٥ الدوائر العملية	• المثال ٧ • الأسئلة من ٢٤ إلى ٣١
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٣-٨ القوة الدافعة الكهربائية والمقاومة الداخلية نشاط ٣-٩ استخدام معادلات المقاومة الداخلية نشاط ٣-١٠ مجزئ الجهد الكهربائي نشاط ٣-١١ مقياس الجهد الكهربائي	• تساعد أسئلة النشاط ٣-٨ على فهم العلاقة بين القوة الدافعة الكهربائية، وفرق الجهد الكهربائي، والتيار الكهربائي، والمقاومة الداخلية. • يدرّب النشاط ٣-٩ على استخدام وإجراء العمليات الحسابية لدوائر كهربائية تتضمن مقاومة داخلية. • تدرّب أسئلة النشاط ٣-١٠ على استخدام معادلة مجزئ الجهد. • تعزز أسئلة النشاط ٣-١١ أهمية استخدام مقياس الجهد الكهربائي لمقارنة فرق جهد كهربائي بسرعة وبشكل مضبوط.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- يعرّف العديد من الطلبة القوة الدافعة الكهربائية على أنها فرق الجهد الكهربائي عبر طرفَي مصدر جهد كهربائي، والتعريف الصحيح هو: الطاقة المنقولة لكل وحدة شحنة في دفع شحنة حول الدائرة الكاملة.

أنشطة تمهيدية

ستكون فكرة أن مصدر جهد كهربائي له مقاومة داخلية جديدة لمعظم الطلبة، وسيقبل بعضهم الفكرة بسهولة، وقد يستغرق بعضهم الآخر وقتًا للتكيّف معها. ستساعد دراسة هذا الموضوع الطلبة الذين يجدون صعوبة في مفهوم المقاومة الداخلية على تطوير فهمهم تدريجيًا.

نقترح عليك فكرتَين كتمهيد لهذا الموضوع؛ وسيعتمد اختيارك على الموارد المتوفرة، وعلى الزمن المتاح، وعلى كيفية تقدم الطلبة في هذا الموضوع.

فكرة أ (١٠ دقائق)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: (لكل طالب) مصباح يدوي (1.5 V) بحامل، سلكا توصيل، خليتان جافتان. بالإضافة إلى ذلك ليكن لديك مصدر جهد كهربائي ذو فرق جهد كهربائي منخفض، مقاومة.

يجب حفظ الخلايا الجافة في مكان بارد إلى ما قبل الدرس مباشرة، ويجب أن تبقى باردة عندما يحصل الطلبة عليها.

يجب أن يكون مقدار المقاومة صغيرًا بما يكفي للسماح بتيار كبير وبما يكفي ليتسبب بارتفاع درجة حرارة مصدر الجهد الكهربائي بشكل بسيط (يصبح دافئًا). ويجب أن لا تكون صغيرة جدًا لدرجة يتلف معها مصدر الجهد الكهربائي.

تحقّق من وجود تيار كافٍ لإنتاج فرق ملحوظ في درجة الحرارة بين الخليتين. إن لم يحصل ذلك فحاول بمقاومة مقدارها (1 Ω) أو (2 Ω).

- أعطِ كل طالب خليتَين جافتَين، ومصباحًا يدويًا صغيرًا، واطلب إليهم توصيل خلية واحدة بالمصباح لمدة دقيقتين، ثم افصل الخلية. قارنها بالخلية الثانية غير المستخدمة، واسأل الطلبة عمّا إذا كان بإمكانهم اكتشاف أي اختلاف بين الخليتين. إذا لم يعط أيّ منهم إجابة، فخُذ إحدى الخلايا غير المستخدمة. كرّر التجربة، ثم ضع هذه الخلية في يد أحد الطلبة والخلية الأخرى غير المستخدمة في يده الأخرى. من المتوقع أن يجعله ذلك يدرك أن الخلية المستخدمة أكثر دفئًا من الخلية غير المستخدمة.

› **أفكار للتقويم:** اسأل الطلبة: «لماذا تسخن الخلية المستخدمة؟» قد تتضمن الاقتراحات، «لأن الخلية لها مقاومة» أو «لأن الشغل بذل في دفع التيار الكهربائي عبر الخلية»؛ وهنا تكمن المشكلة. وقد تتضمن الاقتراحات الأخرى: «يحدث تفاعل كيميائي طارد للحرارة». هذه إجابة جيدة. كرّر التجربة مع مصدر جهد كهربائي ذي فرق جهد كهربائي منخفض.

فكرة ب (١٠ دقائق)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: (لكل طالب أو مجموعة ثنائية) خلية جافة، 5 أسلاك توصيل، مقاومة متغيّرة (Ω 10–Ω 0 تقريبًا)، فولتميتر، أميتر أو ملتميتران، مفتاح كهربائي.

- اطلب إلى الطلبة إعداد دائرة لقياس فرق الجهد الكهربائي عبر طرفَي خلية جافة وكذلك لقياس شدة التيار الكهربائي في الخلية عندما تكون المقاومة المتغيّرة في وضع المقاومة القصوى (بأقصى قيمة لها)، ومتصلة عبر الخلية، ثم اطلب إليهم تقليل المقاومة، واسأل: «ماذا يحدث لشدة التيار الكهربائي؟» «ماذا يحدث لفرق الجهد الكهربائي عبر الخلية؟» «ما شدة التيار الكهربائي وفرق الجهد الكهربائي عندما يكون مقدار المقاومة المتغيّرة صفرًا؟».

ملاحظة: من أجل حماية الخلية، يجب إغلاق المفتاح فقط عندما تؤخذ القراءات فعلًا.

› **أفكار للتقويم:** ناقش الملاحظات، واسأل: «لماذا يحدث هذا؟» لماذا ينخفض فرق الجهد الكهربائي عبر الخلية إلى الصفر عندما تكون المقاومة الخارجية صفرًا؟

الأنشطة الرئيسية

١ استقصاء شدة التيار الكهربائي في خلية جافة وفرق الجهد الكهربائي بين طرفَيها (٤٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: (لكل طالب أو مجموعة ثنائية) خلية جافة، مقاومة متغيّرة أو ريوستات (Ω 10 قيمة قصوى)، أميتر، فولتميتر، 6 أسلاك توصيل.

- ينفذ الطلبة هذا الاستقصاء من خلال ربط الدائرة بخلية جافة، ومقاومة متغيّرة، وأميتر، وفولتميتر. تغيير مقاومة الريوستات (المقاومة المتغيّرة) يغيّر شدة التيار الكهربائي، إذ يأخذ الطلبة القراءات من الفولتميتر ومن الأميتر، ويسجلون القراءات في جدول، ثم يرسمون تمثيلًا بيانيًا لشدة التيار الكهربائي على المحور السيني (x) مقابل فرق الجهد الكهربائي بين طرفي الخلية على المحور الصادي (y). اسأل الطلبة عمّا تمثله نقطة التقاطع مع المحور الصادي. ماذا يمثل ميل التمثيل البياني؟

› **فكرة للتقويم:** يمكن تقويم جودة العمل من خلال تسجيل النتائج وتشتت النقاط ورسم التمثيل البياني، وقد تقود مناقشة هذه النتائج إلى فهم أعمق لكل من المقاومة الداخلية والقوة الدافعة الكهربائية.

ملاحظة: تأكّد من أن الطلبة يتجنبون التفكير في أن القوة الدافعة الكهربائية للخلية هي فرق الجهد الكهربائي بين طرفي الخلية عندما لا يوجد تيار في الخلية، وقد تكون مساوية له في القيمة ولكنها لم تعرّف على هذا النحو.

٢ استقصاء دائرة مجزئ جهد كهربائي (٣٠–٤٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: (لكل طالب أو مجموعة ثنائية) 3 أسلاك توصيل، فولتميتر، مقاومة مقدارها (100 Ω) (سمّها «المقاومة الثابتة»)، بطارية (3–6 V)، مفتاح، مجموعة مختارة من 10 مقاومات تقريبًا تتراوح قيمتها من (10 Ω) إلى (1000 Ω) تقريبًا، بما في ذلك مقاومة (100 Ω).

سؤال مفصلي: يتضمن مجزئ جهد بطارية قوتها الدافعة الكهربائية (6.0 V) متصلة عبره، ويتكون مجزئ الجهد من مقاومة ثابتة مقاومتها (200 Ω) ومقاومة متغيّرة. يوصل فولتميتر عالي المقاومة عبر المقاومة الثابتة لقياس الجهد الخارج.

احسب مقاومة المقاومة المتغيّرة عندما تكون قراءة الفولتميتر (أ) 6.0 V، و (ب) 3.0 V، و (ج) 2.5 V

اشرح: لماذا يتطلب استخدام فولتميتر عالي المقاومة؟

يجب أن يكون الطلبة قادرين على استخدام معادلة مجزئ الجهد لحساب مقدار المقاومة المتغيّرة في الأمثلة. (أ) 0 Ω، و (ب) 200 Ω، و (ج) 280 Ω، وسيتمكن العديد منهم من إيجاد (أ) و (ب) من دون استخدام الصيغة:

$$(V_{out}) = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) \times (V_{in}).$$

نحتاج إلى استخدام فولتميتر عالي المقاومة لأنه يوصل على التوازي مع المقاومة الثابتة؛ فإذا استُخدم فولتميتر بمقاومة مماثلة للمقاومة الثابتة فستنخفض المقاومة المكافئة لهما في هذا الفرع من الدائرة بشكل كبير وسينخفض فرق الجهد الخارج أيضًا.

- وجه الطلبة إلى تهيئة دائرة مجزئ جهد كهربائي مماثلة لتلك الموجودة في الشكل ٣–٢٦ (أ) الوارد في كتاب الطالب، مع توصيل الفولتميتر عبر «المقاومة الثابتة». يمكن للطلبة بعد ذلك توصيل المقاومات الأخرى بالدائرة تباعًا، كما يجب عليهم تسجيل نتائجهم، فاطلب إليهم دراسة نتائجهم للحصول على أنماط فيها، واقترح عليهم أن يكرّروا التجربة ولكن بمقاومة ذات قيمة مختلفة «للمقاومة الثابتة».

› **فكرة للتقويم:** تحدّث مع الطلبة وهم يبحثون عن الأنماط، لأن اتباع نهج التدرج في طرح الأسئلة أفضل من مجرد أن يذكر الطالب معادلة مجزىء الجهد؛ واسألهم عن النسب وعن فرق الجهد الكهربائي عبر البطارية وكيف يرتبط ذلك بفرق الجهد الكهربائي عبر «المقاومة الثابتة» والمقاومة الأخرى (المتغيرة).

يجب أن يذكّر هؤلاء الطلبة بالقانون الثاني لكيرشوف، ويجب أن يكونوا قادرين على استنتاج معادلة مجزئ الجهد بأنفسهم.

٣ استخدام مجزئ الجهد لمقارنة القوة الدافعة الكهربائية للخلايا وللمقاومات (٣٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: (لكل طالب) 5 أسلاك توصيل، ملتيميتر رقمي، مسطرة مترية، مفتاح، خلية، خليتان أخريان لهما قوة دافعة كهربائية مختلفة، مقاومتان ذات قيم مختلفة، (110 cm) من سلك مقاومة.

يمكن أن يكون سلك المقاومة نيكروم، أو كونستانتان، أو أي سبيكة ذات مقاومة نوعية تتراوح بين (10^{-6} Ω m) و (10^{-8} Ω m). ويجب أن يتراوح قطرها ما بين (0.2 mm) و (0.3 mm).

قد تكون الخليتان مناسبتَين إذا كانتا جافتين وقابلتَين لإعادة الشحن وذات أبعاد متشابهة، ويجب أن تكون للخلية الأساسية قوة دافعة كهربائية أكبر من أي من خليتي الاختبار.

يجب أن تكون للمقاومتين قيم متشابهة ولكن باختلاف بسيط، ويجب تسمية إحداها «المقاومة المعيارية»، كما يجب أن توضع قيمتها عليها على أن لا يكون للمقاومة الثانية قيمة عليها.

سيحتاج الطلبة إلى شريط لاصق ومقص.

- يحتاج الطلبة إلى مقدمة وشرح لكيفية مقارنة القوى الدافعة الكهربائية باستخدام دائرة مجزئ جهد، والأمثلة على الدوائر تجدها في الشكلين ٣-٢٨ و ٣-٢٩ من كتاب الطالب، فأطلعهم عليهما وأظهر لهم هاتين الدائرتين، وبذلك يكونون قادرين على توصيل الدائرتين، وتنفيذ تجارب لمقارنة القوى الدافعة الكهربائية لخليتين، كما يمكنهم مقارنة فروق الجهد عبر المقاومات، وبالتالي سيكونون قادرين على مقارنة قيم تلك المقاومات، وسيواجه بعضهم صعوبة في الحصول على نقطة اتزان. هناك نوعان من الأسباب المحتملة لهذا الأمر: أولًا، خلية الاختبار لها قوة دافعة كهربائية أكبر من الخلية الأساسية (انظر الإرشادات العملية)؛ ثانيًا، خلية الاختبار متصلة بالقطب الخطأ.
- من أجل الحصول على نقطة الاتزان، يجب أن يتمّ ضبط الملتيمتر على إعداد شدة التيار الكهربائي. مبدئيًا يوضع على شدة تيار قد يصل إلى (1 A)، ومع الاقتراب من نقطة الاتزان يمكن زيادة الحساسية إلى (1 mA) أو أقل.

› **فكرة للتقويم:** ستخبرك الملاحظة الدقيقة للطلبة في أثناء إعدادهم للدوائر بمدى تقدّمهم منذ بدء دراسة الكهرباء.

اعقد جلسة مع جميع طلبة الصف، بحيث تسألهم: «ما الذي وجدوه صعبًا في هذه التجربة؟» و «ما هي فوائد استخدام الطريقة الصفرية عند قياس القوة الدافعة الكهربائية للخلايا؟».

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

- يجب على جميع الطلبة حل النشاط ٣-٩ والأسئلة ١-٣ من النشاط ٣-١٠ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة.
- يُعدّ السؤال ٤ من النشاط ٣-١٠ أكثر صعوبة، بل يُعدّ النظر فيه تحدّيًا، وسيكون الطلبة الأكثر ثقة بأنفسهم فقط هم القادرين على إكمال حلّه من دون مساعدة.

الدعم

- شجع الطلبة على رسم الدائرة مع الجزء النشط من الخلية (باستخدام رمز الخلية) والمقاومة الداخلية (باستخدام رمز المقاومة)، وكلاهما داخل مربع خط متقطع، لأن هذا الأمر يعطي صورة مرئية عن الحالة لمن يواجهون صعوبات.
- يمكن تشجيع الطلبة الذين يجدون مشقة في اكتساب إحساس حقيقي بالعمل في هذا البند على تذكّر أنه في مجزئ الجهد، يتحقق فرق الجهد الكهربائي الأكبر عبر المقاومة الأكبر.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- التعليمات على بعض الأجهزة التي تعمل بالبطاريات تحذّر المستخدمين من استخدام البطاريات القابلة لإعادة الشحن، فاطلب إلى الطلبة أن يقترحوا الأسباب التي تؤدي إلى إتلاف الدوائر في الأجهزة عند استخدام البطاريات القابلة لإعادة الشحن.
- يستخدم الطلبة الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) أو غيرها من المعلومات للبحث في القوة الدافعة الكهربائية والمقاومة الداخلية وأي خاصية أخرى ذات صلة قد تجعل أنواعًا مختلفة من الخلايا مناسبة (أو غير مناسبة) لاستخدام معيّن، مثل تشغيل سيارة كهربائية.

إجابات كتاب الطالب

العلوم ضمن سياقها

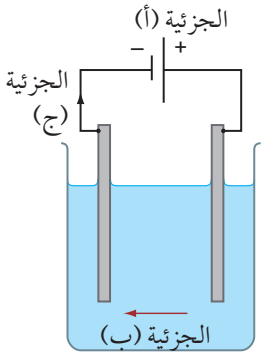
كان لأجهزة الحاسوب تأثير كبير على الصناعة على مدار الثلاثين عامًا الماضية. على سبيل المثال:

- أحدثت الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) ثورة في الاتصالات، حيث سمحت للمهندسين بإرسال الخطط وما شابه على الفور إلى الزملاء.
- يمكن الآن استخدام الطابعات ثلاثية الأبعاد لتصنيع السلع (أو الأشياء) الأساسية في أي مكان في العالم. وقد صمّمت ناسا (NASA) قطع غيار وأرسلتها إلكترونيًا إلى محطة الفضاء الدولية حيث يمكنهم طباعتها باستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد.
- أتاحت أجهزة الحاسوب إتمام الإجراءات الروتينية المتزايدة التعقيد. وتتيح شبكات أجهزة الاستشعار في الآلات تحديد المشكلات والتعامل معها مبكرًا قبل تفاقمها.

إجابات أسئلة موضوعات الوحدة

١. نحو اليمين.

٢. أ، ب، ج.



٣. $\Delta Q = I\,\Delta t = 0.40 \times 15 = 6.0\ \text{C}$

٤. $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{150}{30} = 5\ \text{A}$

٥. $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{50}{20} = 2.5\ \text{A} \approx 3\ \text{A}$

٦. أ. تزداد شدة التيار الكهربائي إلى أربعة أمثال لذلك ينخفض الزمن إلى الربع، وبالتالي:

$$t = \frac{1 \text{ ساعة}}{4} = \frac{1}{4}\text{ h} = 15\text{ min}$$

ب. $\Delta Q = I\,\Delta t = 200 \times 15 \times 60 = 180000\ \text{C}$

٧. عدد البروتونات $= \frac{\text{الشحنة الكهربائية الكلية}}{\text{الشحنة الكهربائية لكل بروتون}}$

$$= \frac{1}{1.6 \times 10^{-19}} = 6.3 \times 10^{18}$$

٨. $8.0 \times 10^{-19}\ \text{C}$؛ لأنها الوحيدة التي تعدّ مضاعفًا صحيحًا للشحنة الأولية ($q = 5e$)

٩. $I = nAqv$

$$= 5.9 \times 10^{28} \times 2.0 \times 10^{-6} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 0.10 \times 10^{-3}$$

$$\approx 1.9\ \text{A}$$

١٠. $I = nAvq$

$$v = \frac{I}{Anq}$$

$$v = \frac{5.0}{8.5 \times 10^{28} \times \pi \times (0.50 \times 10^{-3})^2 \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= 4.7 \times 10^{-4}\ \text{m s}^{-1}$$

١١. تزيد السرعة لأن متوسط السرعة الانجرافية يتناسب عكسيًا مع الكثافة العددية وبقية المتغيرات الأخرى ثابتة.

١٢. أ. أعد ترتيب معادلة المقاومة، $R = \frac{\rho L}{A}$، لتعطي الطول: $L = \frac{RA}{\rho}$

حيث:

$$A = \frac{1}{4}\pi d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times (0.5 \times 10^{-3})^2 = 1.96 \times 10^{-7}\ \text{m}^2$$

لذلك، الطول للمقاومة 1.0 Ω هو:

$$L = \frac{RA}{\rho} = \frac{1.0 \times 0.2 \times 10^{-6}}{44.0 \times 10^{-8}} = 0.45\ \text{m} \approx 0.5\ \text{m}$$

ب. الطول للمقاومة 5.0 Ω هو:

$$L = 5.0 \times 0.45 = 2.2\ \text{m}$$

ج. الطول للمقاومة 10 Ω هو:

$$L = 10 \times 0.45 = 4.5\ \text{m}$$

١٣. حجم النحاس (V) = الطول (L) × مساحة المقطع العرضي (A)

لذلك فإن الطول: $L = \frac{V}{A}$

وبالتالي، فإن المقاومة:

$$R = \frac{\rho V}{A^2} = \frac{1.69 \times 10^{-8} \times 1.0 \times 10^{-6}}{(4.0 \times 10^{-7})^2} = 0.11\ \Omega$$

١٤. أ. المقاومة، $R = \frac{\rho L}{A}$،

نعلم أن الطول الأول، $L_1 = 1.0$ m، وكذلك المقاومة النوعية للنحاس ρ، ومقاومته (R_1).

لذلك، مساحة المقطع العرضي من السلك:

$$A = \frac{\rho L_1}{R_1}$$

بالتالي:

$$\frac{\rho}{A} = \frac{R_1}{L_1}$$

مقاومة سلك طوله 5.0 m هي:

$$R_2 = \frac{\rho L_2}{A} = \frac{L_2 R_1}{L_1}$$

$$= \frac{5.0 \times 0.50}{1.0} = 2.5\ \Omega$$

ب. المساحة $A = \frac{1}{4}\pi d^2$، لذلك فإن انخفاض القطر إلى النصف يقلّل مساحة المقطع العرضي إلى الربع. وبما أن المقاومة تتناسب عكسيًا مع مساحة المقطع العرضي، فإن انخفاض القطر إلى النصف يؤدّي إلى زيادة المقاومة إلى 4 أمثال. لذلك، المقاومة هي:

$$R = 0.50 \times 4 = 2.0\ \Omega$$

١٥. 40 Ω؛ يزداد مقدار المقاومة إلى 4 أمثالها (لأن مساحة المقطع العرضي قد انخفضت إلى النصف وتضاعف الطول).

١٦. 4.5 A

١٧. 1.5 داخلًا إلى النقطة P

١٨. شدة التيار الكهربائي باتجاه نقطة التفريع:

$$\Sigma I_{in} = 1.0 + 2.5 + 3.0 = 6.5$$

شدة التيار الكهربائي بعيدًا عن نقطة التفريع:

$$\Sigma I_{out} = 4.0 + 2.0 + 0.5 = 6.5$$

لقد تحقق قانون كيرشوف الأول.

١٩. شدة التيار الكهربائي باتجاه نقطة التفريع:

$$\Sigma I_{in} = 3.0 + 2.0$$

شدة التيار الكهربائي بعيدًا عن نقطة التفريع:

$$\Sigma I_{out} = 7.0 + I$$

$$7.0 + I = 3.0 + 2.0$$

$$I = 5.0 - 7.0 = -2.0\ \text{A}$$

لذلك $I = 2.0$ A باتجاه نقطة التفريع، وعكس الاتجاه المبيّن في المخطط.

٢٠. مجموع القوى الدافعة الكهربائية حول أي مسار مغلق في دائرة يساوي مجموع فروق الجهد حول المسار المغلق. لذلك، تكون القوى الدافعة لمصادر الطاقة = مجموع فروق الجهد عبر المقاومات، وهذا يعني أن فرق الجهد الكهربائي عبر المقاومة (R) يعطى بـ:

القوى الدافعة لمصادر الطاقة – فرق الجهد عبر المقاومة 20 Ω.

$$V_R = 10 - (0.1 \times 20) = 8.0\ \text{V}$$

لكن $V = IR$ ؛ لذلك فإن المقاومة (R) تُعطى بـ:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{8.0}{0.1} = 80\ \Omega$$

طريقة أخرى للحل:

$$10 - (0.1 \times 20) - 0.1\,R = 0$$

$$R = \frac{8.0}{0.1} = 80\ \Omega$$

٢١. أ. اختر المسار المغلق الذي يحتوي على خلية 5.0 V في الأعلى، ويعبر المقاومة 10 Ω التيار الكهربائي I، والخلية الوسطى 5.0 V، باعتباره المسار الذي يحتوي على كمية مجهولة واحدة فقط وهي شدة التيار.

ب. مجموع القوى الدافعة الكهربائية للخلايا في الحلقة = فرق الجهد الكهربائي عبر المقاومة:

$\Sigma\varepsilon = 5.0 + 5.0 = 10\ V$

لكن $V = IR$، لذلك،

$I = \frac{V}{R} = \frac{10}{10} = 1.0\ A$

٢٢. في المسار المغلق، مجموع القوى الدافعة الكهربائية هي:

$= 30 - 10 = 20\ V$

والتي يجب أن تساوي وفقًا للقانون الثاني لكيرشوف مجموع فروق الجهد عبر المقاومات، مجموع فروق الجهد عبر المقاومات تعطى بواسطة $V = IR$:

$= (0.5 \times R) + (0.5 \times 10) + (0.2 \times 10) + (0.2 \times 20)$

لذلك، $20 = (0.5 \times R) + 11$، لتعطي R:

$R = \frac{20 - 11}{0.5} = 18\ \Omega$

٢٣. ضع في اعتبارك المسار المغلق للدائرة في الأعلى، يتضمن خلية 10 V ومقاومة 20 Ω

استخدم القانون الثاني لكيرشوف والمعادلة $V = IR$ لتعطي:

$10 = I_1 \times 20$

لذلك فإن شدة التيار الكهربائي خلال A_1 هي:

$I_1 = \frac{10}{20} = 0.5\ A$

ضع في اعتبارك المسار المغلق للدائرة في الأسفل، تتضمن خلية 5 V ومقاومة 20 Ω

استخدم القانون الثاني لكيرشوف والمعادلة $V = IR$ لتعطي:

$5\ V = I_1 \times 20\ \Omega$

لذلك فإن شدة التيار الكهربائي خلال A_3 هي:

$I_3 = \frac{5}{20} = 0.25\ A$

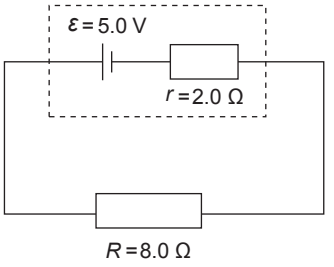
الآن استخدم القانون الأول لكيرشوف في نقطة التفريع في الدائرة إلى يمين الأميتر A_2 ليعطي:

$I_1 = I_2 + I_3$

لذلك شدة التيار الكهربائي خلال A_2 هي:

$I_2 = I_1 - I_3 = 0.50 - 0.25 = 0.25\ A$

٢٤.



شدة التيار = 0.50 A

بإعادة ترتيب القوة الدافعة الكهربائية $\varepsilon = I(R + r)$ لتعطي شدة التيار الكهربائي:

$I = \frac{\varepsilon}{(R + r)} = \frac{5.0}{(8.0 + 2.0)} = 0.50\ A$

٢٥. أ. ١. بإعادة ترتيب القوة الدافعة الكهربائية $\varepsilon = I(R + r)$ لتعطي شدة التيار الكهربائي:

$I = \frac{\varepsilon}{(R + r)} = \frac{3.0}{(10 + 10 + 4.0)}$

$= 0.125 \approx 0.13\ A$

٢. تُعطى المقاومة الخارجية R بواسطة:

$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10}$

لذلك فإن: $R = 5.0\ \Omega$

وكذلك،

$I = \frac{\varepsilon}{(R + r)} = \frac{3.0}{(5.0 + 4.0)} = 0.33\ A$

ب. ١. فرق الجهد الكهربائي المفقود:

$Ir = 0.125 \times 4.0 = 0.5\ V$

فرق الجهد الكهربائي بين طرفي الخلية: القوى الدافعة الكهربائية – فرق الجهد الكهربائي المفقود:

$= 3.0 - 0.5 = 2.5\ V$

٢. فرق الجهد الكهربائي المفقود:

$Ir = 0.33 \times 4.0 \approx 1.3$ V

فرق الجهد الكهربائي بين طرفي الخلية:

القوى الدافعة الكهربائية – فرق الجهد الكهربائي المفقود:

$= 3.0 - 1.33 \approx 1.7$ V

٢٦. بإعادة ترتيب القوة الدافعة الكهربائية $\varepsilon = I(R + r)$ لتعطي شدة التيار الكهربائي:

$$I = \frac{\varepsilon}{(R + r)} = \frac{(1.5 \times 4)}{2.0 + (0.1 \times 4)} = 2.5 \text{ A}$$

٢٧. $\varepsilon = 3.0$ V

فرق الجهد الكهربائي عبر المقاومة 10 Ω:

$= 2.8$ V

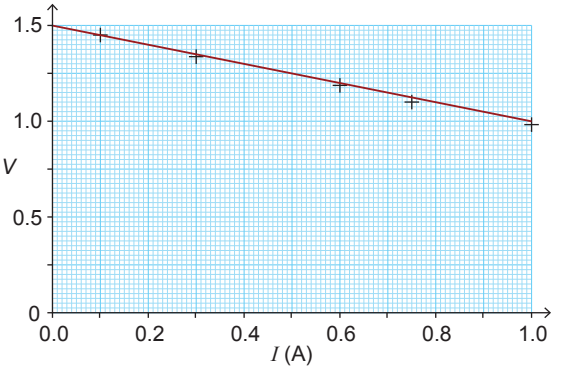
لذلك، فإن شدة التيار الكهربائي في الدائرة والمقاومة موصلة:

$$= \frac{V}{R} = \frac{2.8}{10} = 0.28 \text{ A}$$

بإعادة ترتيب القوة الدافعة الكهربائية $\varepsilon = I(R + r)$، لتعطي المقاومة الداخلية للبطارية:

$$r = \frac{(\varepsilon - IR)}{I} = \frac{(3.0 - 2.8)}{0.28} = 0.71\ \Omega$$

٢٨.



$\varepsilon = 1.5$ V و $r = 0.5\ \Omega$

٢٩. فرق الجهد الكهربائي بين طرفي البطارية:

$= \varepsilon - Ir = 12 - (100 \times 0.04) = 8$ V

٣٠. عندما تضبط المقاومة على 0 Ω، يكون $V_{out} = 0$ V

وعندما تضبط المقاومة على 40 Ω، يكون:

$$V_{out} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} \times V_{in} = \frac{40}{(10 + 40)} \times 10 = 8 \text{ V}$$

٣١. أ. فرق الجهد الكهربائي لسلك طوله 1 cm:

$$= \frac{4.0}{100} = 0.04 \text{ V}$$

الطول المطلوب لفرق جهد كهربائي 1.0 V هو:

$$= \frac{1.0}{0.04} = 25 \text{ cm}$$

ب. فرق الجهد الكهربائي عبر طول 37.0 cm من السلك.

$37.0 \times 0.04 = 1.48 \text{ V} \approx 1.5$ V

سيكون للخلية الأساسية مقاومة داخلية وهي تزود مجزئ الجهد بالتيار الكهربائي. لذلك، فإن فرق الجهد الكهربائي بين طرفيها والسلك سيكون أقل بقليل من القوة الدافعة الكهربائية للخلية (4.0 V).

ج. إذا كان سلك التوازن الذي طوله 31.2 cm مطلوبًا للخلية التي قوتها الدافعة الكهربائية 1.230 V، يكون فرق الجهد الكهربائي الذي توفره خلية مجهولة القوة الدافعة الكهربائية:

$$= \frac{(1.230 \times 37.0)}{31.2} = 1.459 \text{ V} \approx 1.46 \text{ V}$$

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. ج (لتعريف القوة الدافعة الكهربائية يجب أن تذكر أنها الطاقة المنقولة لكل وحدة شحنة)

٢. $Q = It = 0.150 \times 40 \times 60 = 360$ C

٣. $t = \frac{Q}{I} = \frac{2000}{40} = 50$ s

٤. $Q = It = 30 \times 10^3 \times 2000 \times 10^{-6} = 60$ C

٥. أ. $I = \frac{V}{R} = \frac{4.5}{15} = 0.30$ A

ب. $R = \frac{V}{I} = \frac{230}{6.5} = 35\ \Omega$

ج. $V = IR = 2.4 \times 3.5 = 8.4$ V

٦. أ. $Q = It = 2.4 \times 10 \times 60 = 1440 \text{ C} \approx 1400$ C

ب. $W = QV = 1440 \times 6.0 = 8640\ \text{J} \approx 8600\ \text{J}$

٧. $W = QV = 1.6 \times 10^{-19} \times 50 \times 10^{3}$

$= 8.0 \times 10^{-15}\ \text{J}$

٨. أ. ١. السهم من اليسار إلى اليمين داخل المحلول.

٢. السهم (تدفق الإلكترونات) من الأنود الإلكترود الأيسر إلى الطرف الموجب للبطارية أو من الطرف السالب للبطارية إلى الإلكترود الأيمن.

ب. ١. الشحنة الكهربائية = شحنة لكل أيون × عدد الأيونات:

$Q = 1.6 \times 10^{-19} \times 3.6 \times 10^{16}$

$Q = 5.76 \times 10^{-3} \approx 5.8 \times 10^{-3}\ \text{C}$

أو:

$Q = 2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 1.8 \times 10^{16}$

$= 5.76 \times 10^{-3} \approx 5.8 \times 10^{-3}\ \text{C}$

٢. $I = \frac{Q}{t} = \frac{5.8 \times 10^{-3}}{(8.0 \times 60)}$

$I = 1.2 \times 10^{-5}\ \text{A} = 12\ \mu\text{A}$

٩. أ. بمعرفة أن شدة التيار الكهربائي في الأميتر = شدة التيار الكهربائي في الأنبوب

$Q = It = 4.5 \times 10^{-3} \times 3 \times 60 = 0.81\ \text{C}$

ب. عدد الإلكترونات = $\frac{\text{الشحنة الكهربائية الكلية}}{\text{الشحنة الكهربائية لكل إلكترون}}$

$N = \frac{8.1 \times 10^{-1}}{1.6 \times 10^{-19}} = 5.06 \times 10^{18} \approx 5.1 \times 10^{18}$

ج. $W = QV = 75 \times 1.6 \times 10^{-19} = 1.2 \times 10^{-17}\ \text{J}$

١٠. أ. الكثافة العددية للإلكترونات n = عدد الذرات في $1\ \text{m}^3$ = عدد الذرات في $8900\ \text{kg}$

$= \frac{8900 \times 6.0 \times 10^{26}}{54} = 9.89 \times 10^{28} \approx 10^{29}\ \text{m}^{-3}$

ب. متوسط السرعة الانجرافية:

$v = \frac{I}{nAe}$

$v = \frac{3.5 \times 10^{-3}}{9.89 \times 10^{28} \times 5.0 \times 10^{-8} \times 1.6 \times 10^{-19}}$

$= 4.4 \times 10^{-6}\ \text{m s}^{-1}$

١١. أ. فرق الجهد الكهربائي عبر طرفي خلية ما هو الشغل المبذول لكل وحدة شحنة من الشحنة الكهربائية في الدائرة الخارجية.

القوة الدافعة الكهربائية لخلية ما هو الشغل المبذول لكل كولوم من الشحنة الكهربائية في الدائرة الكاملة.

ب. ١. $Q = It = 100 \times 3600 = 360000\ \text{C}$

٢. $W = QV = 12 \times 360000\ \text{W}$

$W = 4.3 \times 10^{6}\ \text{J}$

١٢. أ. النسبة المئوية لعدم اليقين:

$= \frac{0.1}{2.4} \times 100\% = 4.1\%$

ب. $R = \frac{V}{I} = \frac{8.9}{2.4} = 3.7\ \Omega$

المقاومة لكل وحدة طول:

$= \frac{3.7}{80 \times 10^{-3}} = 46\ \Omega\ \text{m}^{-1}$

ج. بإضافة النسب المئوية لعدم اليقين:

$= 2 + 4.1 + 5 = 11\%$ (مقرّبة)

عدم اليقين المطلق لكل وحدة طول من السلك:

$= 46 \times 11\% = 5\ \Omega\ \text{m}^{-1}$ (مقرّبة)

١٣. ب

١٤. أ. المقاومة:

$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{1.3 \times 10^{-8} \times 1.5}{0.008 \times 10^{-6}} = 2.4\ \Omega$

ب. $L = \frac{RA}{\rho} = \frac{30 \times 8.0 \times 10^{-9}}{1.30 \times 10^{-8}} = 18.5 \approx 18\ \text{m}$

١٥. أ. مساحة مقطع السلك ونوع مادته.

ب. ١. $R = \frac{V}{I} = \frac{1.5}{0.24} = 6.25\ \Omega \approx 6.3\ \Omega$

٢. بما أن $R = \frac{\rho L}{A}$، فإن:

$$A = \frac{\rho L}{R} = \frac{1.69 \times 10^{-8} \times 5.0}{6.25}$$

$$= 1.35 \times 10^{-8}\ m^2 \approx 1.4 \times 10^{-8}\ m^2$$

بما أن $A = \frac{1}{4}\pi d^2$، فإن،

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.352 \times 10^{-8}}{\pi}}$$

$$= 1.3 \times 10^{-4}\ m$$

ج. ستنخفض شدة التيار، نظرًا لأن مقاومة السلك تتناسب عكسيًا مع مساحة المقطع، فعندما تضيق الحزمة التي يُصنع منها السلك فإن مقاومته ستزداد. فتنخفض شدة التيار الكهربائي.

١٦. أ. بما أن $R = \frac{\rho L}{A}$، و A تساوي السُمك × العرض. لذلك يكون السُمك:

$$t = \frac{\rho L}{Rw} = \frac{2.3 \times 10^{3} \times 36 \times 10^{-3}}{1.1 \times 10^{6} \times 32 \times 10^{-3}}$$

$$= 0.0023\ m\ (2.3\ mm)$$

ب. $I = \frac{V}{R} = \frac{12}{1.1 \times 10^{6}} = 1.1 \times 10^{-5}\ A$

١٧. أ.

$$\rho = \frac{RA}{L}$$

$$= \frac{R\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2}{2.25} = \frac{0.28 \times \pi \times \left(\frac{0.4 \times 10^{-3}}{2}\right)^2}{2.25}$$

$$= 1.56 \times 10^{-8}\ \Omega\ m$$

ب. ١. عدم اليقين في القطر:

$$= \frac{0.02}{0.40} \times 100\% = 5.0\%$$

عدم اليقين في الطول:

$$= \frac{0.05}{2.25} \times 100\% = 2.2\% \approx 2\%$$

عدم اليقين في المقاومة:

$$= \frac{0.01}{0.28} \times 100\% = 3.6\% \approx 4\%$$

٢. عدم اليقين في كل المتغيّرات (عدم اليقين الكلّي):

$$= (2 \times 5.0) + 2.2 + 3.6 = 15.8\%$$

عدم اليقين الفعلي في قيمة المقاومة النوعية:

$$= 1.56 \times 10^{-8} \times \frac{15.8}{100} = 0.25 \times 10^{-8}\ \Omega\ m$$

١٨. ب

١٩. د

٢٠. أ. $W = 3.6\ A$ إلى اليمين

ب. $X = 4.3 - 2.4 = 1.9$ باتجاه الأسفل

ج. $Y = 4.8 - 2.7 = 2.1\ A$ إلى اليسار

د. $Z = 4.3 - 4.3 = 0$

٢١. $X = 6.5 - 2.0 = 4.5\ m\ A$ إلى اليمين

$Y = 4.5 - 4.2 = 0.3$ باتجاه الأسفل

٢٢. أ. $X = 2.2 - 1.4 = 0.8\ V$

ب. $X = 6.3 + 2.4 - 5.0 = 3.7\ V$

ج. $X = 6.0 - 1.4 - 2.4 = 2.2\ V$

د. $X = 4.3 + 4.7 = 9.0\ V$

$Y = 9.0\ V$

٢٣. أ. شدة التيار الكهربائي المتدفق من البطارية تساوي شدة التيار المار عبر المقاومة:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1.8}{220} = 8.2\ mA$$

ب. فرق الجهد الكهربائي عبر المصباح:

$$V = 6.0 - 1.8 = 4.2\ V$$

ج. المقاومة الكلية:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{6.0}{0.0082} = 730\ \Omega$$

د. الشحنة الكهربائية:

$$Q = It = 0.0082 \times 60 = 0.492\ C \approx 0.49\ C$$

عدد الإلكترونات:

$$N = \frac{Q}{e} = \frac{0.492}{1.6 \times 10^{-19}} = 3.1 \times 10^{18}$$

٢٤. أ. شدة التيار الكهربائي في المقاومة Y:

$$= 2.0 - 0.5 = 1.5\ A$$

ب. فرق الجهد الكهربائي عبر Y:

$= 0.5 \times 6.0 = 3.0\ V$

بالتالي، مقدار مقاومة Y:

$Y = \frac{3}{1.5} = 2\ \Omega$

ج. فرق الجهد الكهربائي عبر X:

$= 12 - 3 = 9.0\ V$

بالتالي، مقدار مقاومة X:

$= \frac{9.0}{2.0} = 4.5\ \Omega$

٢٥. أ. $I_1 = I_2 + I_3$

$I_2 = 1.75 - 1.00 = 0.75\ A$

ب. $\varepsilon_1 = IR = 0.75 \times 12 = 9.0\ V$

ج. استخدم المسار المغلق للدائرة المحتوية للبطاريتين والمقاومة 3 Ω:

$9.0 = \varepsilon_2 + (1 \times 3)$

$\varepsilon_2 = 6.0\ V$

د. $I = \frac{V}{R} = \frac{6.0}{12} = 0.50\ A$

٢٦. ب

٢٧. أ. فرق الجهد الكهربائي بين طرفي الخلية:

$V = IR = 2.5 \times 0.30 = 0.75\ V$

هناك شغل مبذول داخل الخلية ضد المقاومة الداخلية أو يوجد جهد كهربائي (جهد مفقود) عبر المقاومة الداخلية.

ب. $\varepsilon = V + Ir$

$1.5 = 0.75 + 2.5 \times r$

لذلك $2.5r = 0.75$

أي أن: $r = 0.30\ \Omega$

٢٨. أ. ١. خلية الاختبار موصلة بشكل معكوس، لذلك يجب أن يعكسها.

٢. تكون قراءة الأميتر عند نقطة الاتزان صفرًا.

ب. $\frac{\text{القوة الدافعة الكهربائية}}{1.434} = \frac{22.5}{34.6}$

لذلك، القوة الدافعة الكهربائية:

$= \frac{22.5}{34.6} \times 1.434 = 0.933\ V$

٢٩. أ. المقاومة بسبب الشغل المبذول (أو الطاقة المنقولة) في دفع التيار الكهربائي عبر الخلية.

والذي يساوي «الجهد المفقود» مقسومًا على شدة التيار الكهربائي.

ب. ١. $\varepsilon = I(R + r) = 0.625(2 + r)$

$= 0.341(4 + r)$

$r = 0.40\ \Omega$

٢. عوّض في $\varepsilon = I(R + r)$:

$\varepsilon = 1.50\ V$

ج. المقاومة الداخلية مرتفعة جدًا، والحد الأقصى للتيار $< 4\ A$

$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{1.50}{0.40} = 3.75\ A$

٣٠. أ. القوة الدافعة الكهربائية للخلية هي الشغل المبذول لكل كولوم من الشحنة الكهربائية في الدائرة الكاملة.

ب. ١. لا يوجد تيار / أو التيار الكهربائي ضئيل جدًا خلال الڤولتميتر عالي المقاومة، وبالتالي يكون التيار الكهربائي في البطارية كذلك. فعندما توصل المقاومة على التوازي مع البطارية، يكون هناك تيار أكبر بكثير خلالها وكذلك في الخلية.

لذلك، يوجد الآن هبوط في فرق الجهد حيث يُبذل شغل كهربائي ضد المقاومة الداخلية للبطارية.

٢. $I = \frac{V}{R} = \frac{8.40}{12} = 0.70\ \text{A}$

٣. الجهد المفقود = 0.54 V

$r = \frac{\text{الجهد المفقود}}{I} = \frac{0.54}{0.70} = 0.77\ \Omega$

٤. مقاومة الڤولتميتر > r أو R.

٣١. فرق الجهد الكهربائي في الدائرة 1 عبر المصباح يتغيّر من 0 V إلى 240 V.

لا ينخفض فرق الجهد الكهربائي أبدًا إلى الصفر في الدائرة 2.

٣٢. أ. ستنخفض قراءة الڤولتميتر؛ لأن شدة التيار الكهربائي تنخفض خلال المقاومة R_2.

ب. $V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) \times V_{in}$

لذلك،

$2.0 = \frac{470}{470 + R_1} \times 9$

$R_1 = 1645 \approx 1600\ \Omega$

ج. المقاومة R_2 والڤولتميتر على التوازي، لذا فإن المقاومة المكافئة:

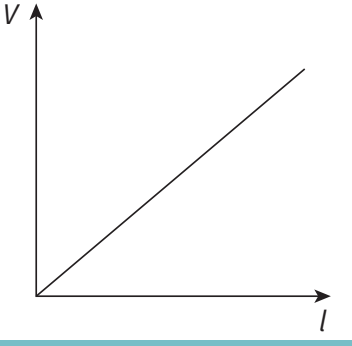
$R_T = \left(\frac{1}{470} + \frac{1}{2000}\right)^{-1} = 380\ \Omega$

$V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) \times V_{in}$

$= \frac{380}{1645 + 380} \times 9 = 1.7\ \text{V}$

٣٣. أ. ١. خط مستقيم يمر بنقطة الأصل مع ميل موجب.

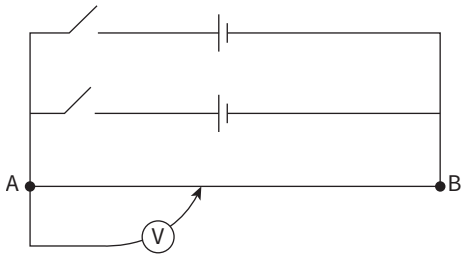
تسمية محورَي التمثيل البياني: V على (المحور الصادي) و l على (المحور السيني).



٢. A: 0 V و B: 2.2 V

٣. رسم تخطيطي عام (خلية واحدة أو خليتين).

الخليتان يجب أن تكونا بقطبية صحيحة، مع استخدام مفتاحين أو أي تعبير مناسب يدل على أنه تستخدم خلية واحدة فقط في كل مرة.



ب. $\varepsilon = I\,(R + r)$

عند التوصيل على التوالي:

$\varepsilon = 0.6 \times (8 + r)$

عند التوصيل على التوازي:

$\varepsilon = 1.50 \times (2 + r)$

بحل المعادلتين آنيًا نحصل على:

$r = 2.0\ \Omega$

بالتعويض في أي من المعادلتين نحصل على:

$\varepsilon = 6.0\ \text{V}$

٣٤. أ. المخطط مشابه للشكل ٣-٣٠.

ب. ١. قيمة عدم اليقين في طول سلك الاتزان:

$0.1 + 0.1 = \pm 0.2\ \text{cm}$

٢. أ. النسبة:

$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{15.4}{42.6} = 0.362$

ب. طول سلك الاتزان لـ R_2:

$42.6 - 15.4\ \text{cm} = 27.2$

النسبة:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{15.4}{27.2} = 0.566$$

ج. عدم اليقين للطول في R_1:

$$= \pm 0.2 \text{ cm}$$

والنسبة المئوية لعدم اليقين =

$$\frac{0.2}{15.4} \times 100 = 1.3\%$$

عدم اليقين للطول في R_2:

$$= 0.2 + 0.2 = \pm 0.4 \text{ cm}$$

والنسبة المئوية لعدم اليقين =

$$\frac{0.4}{27.2} \times 100 = 1.5\%$$

النسبة المئوية الكلية لعدم اليقين =

$$1.3\% + 1.5\% = 2.8\% \approx 3\%$$

عدم اليقين في قيمة النسبة $\frac{R_1}{R_2}$:

$$\frac{3}{100} \times 0.566 = 0.017$$

إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة

إجابات أسئلة الأنشطة

نشاط ٣-١: المقاومة، وفرق الجهد الكهربائي، والقوة الدافعة الكهربائية

١. أ. كلاهما يقاس بالفولت ويتضمن تغيّرًا في الطاقة لكل كولوم.

ب. يوجد فرق الجهد الكهربائي عبر المقاومات، في حين توجد القوة الدافعة الكهربائية عبر مصادر الطاقة الكهربائية. تنتقل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة في أثناء مرور الشحنة الكهربائية عبر المقاومات؛ وتنتقل الأنواع الأخرى من الطاقة إلى طاقة كهربائية في مصدر القوة الدافعة الكهربائية.

٢.

القوة الدافعة الكهربائية	$J\ C^{-1}$
الشحنة الكهربائية	$A\ s$
المقاومة	$V\ A^{-1}$
القدرة الكهربائية	$J\ s^{-1}$

٣. أ. القوة الدافعة الكهربائية

ب. فرق الجهد الكهربائي

ج. شدة التيار الكهربائي

د. الفولت

هـ. الأوم

٤. أ. فرق الجهد الكهربائي

ب. فرق الجهد الكهربائي

ج. شدة التيار الكهربائي

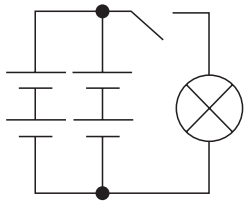
د. شدة التيار الكهربائي

هـ. الشحنة الكهربائية

٥. بما أن، $R = \frac{V}{I}$ و $\Omega = \frac{V}{A}$

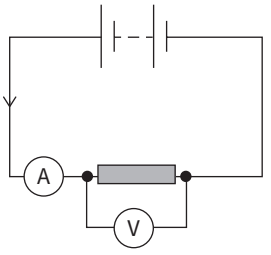
$\Omega = \frac{J\ C^{-1}}{C\ s^{-1}} = J\ s\ C^{-2}$

٦.



٧. أ. التيار الكهربائي في المقاومة وفرق الجهد الكهربائي عبر المقاومة.

ب.



ج. مقاومة الأميتر منخفضة؛ مقاومة الڤولتميتر عالية.

د. مع رسم الدائرة، إذا كان للڤولتميتر مقاومة منخفضة، فإن الأميتر لن يقيس شدة التيار الكهربائي من خلال المقاومة فقط، ولكن يقيس شدة التيار الكهربائي من خلال الڤولتميتر أيضًا، لذلك يجب أن يكون للڤولتميتر مقاومة عالية لمنع ذلك. مع توصيل الڤولتميتر عبر الخلية؛ أما إذا كان للأميتر مقاومة عالية، فإن قراءة الڤولتميتر هي فرق الجهد الكهربائي عبر المقاومة مضافًا إليها فرق الجهد الكهربائي عبر الأميتر، لذلك يجب أن يكون للأميتر مقاومة منخفضة لمنع ذلك.

٨. أ. $R = \frac{V}{I} = \frac{12}{0.80} = 15\ \Omega$

ب. $V = IR = 1.2 \times 15 = 18\ V$

نشاط ٣-٢: التيار الكهربائي والشحنة الكهربائية

١. الاتجاهان متعاكسان.

٢. أ. معدّل تدفق الشحنة الكهربائية عبر نقطة في الدائرة.

ب. $Q = It$

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{360}{60} = 6.0 \text{ A}$$

ج. $Q = It = 250 \times 10^{-6} \times (3 \times 60) = 0.045 \text{ C}$

٣. أ. $Q = It$

$$= 5.0 \times 10^{-3} \times (12 \times 60) = 3.6 \text{ C}$$

ب. لكل إلكترون شحنة 1.6×10^{-19} C

$$Q = Nq$$

$$N = \frac{Q}{q} = \frac{3.6}{1.6 \times 10^{-19}} = 2.3 \times 10^{19}$$

ج. $Q = It$

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{2.0}{5.0 \times 10^{-3}} = 400 \text{ s}$$

٤. أ. $Q = Nq$

$$Q = 100 \times 1.6 \times 10^{-19} = 1.6 \times 10^{-17} \text{ C}$$

ب. $Q = It$

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{1.6 \times 10^{-17}}{5.0 \times 10^{-19}} = 3.2 \times 10^{-9} \text{ A}$$

ج. لأن الشحنة الكهربائية كمية مكمّمة وهذا يعني أنها لا بد أن تأخذ كميات تساوي مضاعفات من أصغر شحنة يمكن أن تتدفق هي شحنة الإلكترون.

٥. الشحنة الكهربائية الكلية التي تضرب الشاشة في كل ثانية (1.0 mC)؛ لأن شدة التيار الكهربائي هو معدّل تدفق الشحنة الكهربائية.

$$Q = It$$

$$Q = 1 \times 10^{-3} \times 1 = 1 \times 10^{-3} \text{ C} = 1 \text{ mC}$$

$$Q = Nq$$

$$N = \frac{Q}{q} = \frac{1.0 \times 10^{-3}}{1.6 \times 10^{-19}} = 6.3 \times 10^{15}$$

نشاط ٣-٣: حاملات الشحنات الكهربائية

١. أ. n: عدد حاملات الشحنة الكهربائية لكل وحدة حجم.

q: الشحنة الكهربائية على حامل شحنة واحدة، وعادة ما تكون شحنة الإلكترون.

v: متوسط سرعة الانجراف لحاملات الشحنة الكهربائية.

ب. ١. n: عدد حاملات الشحنة الكهربائية لكل وحدة حجم.

لذلك، عدد حاملات الشحنة الكهربائية في سلك طوله l:

$= n \times$ حجم $= nAl$

٢. الشحنة الكهربائية الكلية = عدد حاملات الشحنة الكهربائية × شحنة كل حامل شحنة

الشحنة الكهربائية الكلية:

$$= nAl \times q = nAlq$$

٣. السرعة $= \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$

$$\text{الزمن} = \frac{\text{المسافة}}{\text{السرعة}} = \frac{l}{v}$$

٤. $$I = \frac{Q}{t} = \frac{nAlq}{\frac{l}{v}}$$

$$I = nAvq$$

ج. تكون قيمة n أكبر في الفلز؛ وبالتالي تكون شدة التيار الكهربائي أكبر.

٢. أ. إلكترونات.

ب. أيونات.

٣. أ. $I = nAvq$

$$n = \frac{I}{Avq}$$

$$= \frac{2.0}{(1.0 \times 10^{-6} \times 2.5 \times 10^{-4} \times 1.6 \times 10^{-19})}$$

$$n = 5.0 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

ب. تنخفض السرعة المتجهة الانجرافية أيضًا إلى النصف.

ج. يؤدي مضاعفة القطر إلى أن تكون مساحة المقطع العرضي أكبر بأربع مرات؛
لذلك يجب أن تقل السرعة المتجهة الانجرافية إلى الربع للمحافظة على تيار كهربائي ثابت.

٤. أ. حجم السلك:

$$V = Al = 1.2 \times 10^{-6} \times 5.0$$

$$V = 6.0 \times 10^{-6}\ \text{m}^3$$

عدد حاملات الشحنة الكهربائية:

$$= 3.6 \times 10^{23} \times 3 = 10.8 \times 10^{23}$$

$$n = \frac{10.8 \times 10^{23}}{6.0 \times 10^{-6}} = 1.8 \times 10^{29}\ \text{m}^{-3}$$

ب. $I = nAvq$

$$v = \frac{I}{nAq}$$

$$= \frac{5.0}{(1.8 \times 10^{29} \times 1.2 \times 10^{-6} \times 1.6 \times 10^{-19})}$$

$$v = 1.4 \times 10^{-4}\ \text{m s}^{-1}$$

٥. أ. $I = nAvq$

$$I = 8.0 \times 10^{28} \times 1.8 \times 10^{-7} \times 8.7 \times 10^{-4} \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$I = 2.0\ \text{A}$$

ب. $v = \frac{s}{t}$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{l}{v} = \frac{5.0}{8.7 \times 10^{-4}}$$

$$t = 5747\ \text{s} \approx 5700\ \text{s}$$

ج. حجم السلك:

$$V = Al = 1.8 \times 10^{-7} \times 5.0$$

$$V = 9.0 \times 10^{-7}\ \text{m}^3$$

عدد الإلكترونات الحرّة:

$$nV = 8.0 \times 10^{28} \times 9.0 \times 10^{-7}$$

$$= 7.2 \times 10^{22}$$

د. تبدأ جميع الإلكترونات داخل السلك بالحركة في الزمن نفسه تقريبًا.

٦. أ. I و n و q

ب. $I = nAvq$

$v = \frac{I}{nAq}$ لذا فإن v تتناسب عكسيًا مع A.

$$v_Q : v_P = A_P : A_Q = 2 : 1$$

نشاط ٣-٤: المقاومة النوعية والمقاومة: الأساسيات

١. أ. المقاومة النوعية = $\frac{\text{المقاومة} \times \text{مساحة المقطع العرضي}}{\text{الطول}}$

ب. لا تأخذ المقاومة النوعية مقاومة السلك بالحسبان فحسب، بل طول السلك ومساحة مقطعه أيضًا لينتج الكمية نفسها (ثابتة) لجميع الأسلاك من المادة نفسها. في حين أن المقاومة خاصة بسلك مفرد.

ج. تعتمد مقاومة الأسلاك على الطول ومساحة المقطع؛ في حين المقاومة النوعية هي نفسها لجميع الأسلاك من المادة نفسها (عند درجة الحرارة نفسها). تعتمد المقاومة لكل وحدة طول على مساحة مقطع السلك، في حين لا تعتمد المقاومة النوعية على ذلك.

٢. أ. $\Omega\ \text{m}$

ب. $R = \frac{V}{I}$ و $\rho = \frac{RA}{l}$

وحدة المقاومة النوعية: $\rho = \frac{\Omega \times \text{m}^2}{\text{m}} = \Omega\ \text{m}$

$\Omega = \frac{\text{V}}{\text{A}}$، بالتعويض عن الأوم نحصل على الوحدة $\rho = \text{V m A}^{-1}$

ج. باستخدام الصيغة: $V = \frac{W}{Q}$: $\text{V} = \text{J C}^{-1}$

باستخدام الصيغة: $Q = It$: $\text{C} = \text{A s}$

باستخدام الصيغة:

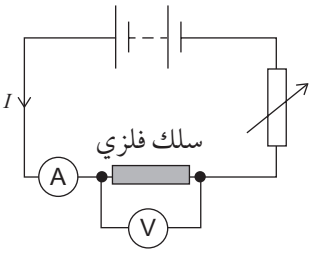
$$KE = \frac{1}{2}mv^2 : \text{J} = \text{kg m}^2\ \text{s}^{-2}$$

بالتعويض عن الڤولت والكولوم والجول نجد أن وحدة المقاومة النوعية:

$\rho = \text{J C}^{-1}\text{ m A}^{-1} = \text{kg m}^2\text{ s}^{-2} \times (\text{A s})^{-1} \times \text{m A}^{-1}$

الوحدة لـ ρ : $\text{m}^3\text{ kg A}^{-2}\text{ s}^{-3}$

٣. **الرسم التخطيطي للدائرة:** باستخدام الدائرة المبيّنة مع مصدر جهد كهربائي متغيّر.



الكميات المقاسة والأدوات: قِس كلًا من فرق الجهد الكهربائي (V) عبر السلك وشدة التيار الكهربائي (I) بداخله بالڤولتميتر والأميتر على الترتيب.

قِس الطول (l) من السلك بالمسطرة المترية وقطر السلك بالميكروميتر. كرّر القياسات مع أطوال مختلفة من السلك. احسب (R) حيث $R = \frac{V}{I}$.

التمثيل البياني: ارسم تمثيلًا بيانيًا لـ (R) مقابل (l).

استخدام الميل: ميل التمثيل البياني = $\frac{\rho}{A}$، حيث (ρ) هي المقاومة النوعية و (A) هي مساحة المقطع العرضي = $\frac{\pi d^2}{4}$ ، و (d) تمثل قطر السلك الفلزي.

لذلك، ρ = الميل × $\frac{\pi d^2}{4}$.

أكبر نسبة عدم يقين: تكون أكبر نسبة عدم يقين في القطر؛ لأن القطر له القياس الأصغر.

الإجراءات الاحترازية: للمحافظة على درجة الحرارة ثابتة، استخدم التيارات الكهربائية الصغيرة وأخذ القراءة بسرعة وإيقاف تشغيلها، أو وضع السلك في حمّام مائي بدرجة حرارة ثابتة (شرط أن يكون السلك معزولًا).

الإجراءات الأخرى لزيادة ضبط النتيجة: قياس القطر من عدة أماكن على طول السلك وحساب المتوسط، واستخدام أدوات قياس حسّاسة.

٤. تتناسب المقاومة طرديًا مع الطول وتتناسب عكسيًا مع مساحة المقطع العرضي.

أ. يتضاعف الطول فتتضاعف المقاومة:

$R = 400\ \Omega$

ب. مضاعفة مساحة المقطع العرضي تخفض المقاومة إلى النصف:

$R = 100\ \Omega$

ج. الطول ومساحة المقطع العرضي كلاهما أكبر بخمس مرات، لذلك لا يوجد تأثير على المقاومة:

$R = 200\ \Omega$

٥. $R = \frac{\rho l}{A}$

$\rho = \frac{RA}{l} = \frac{60 \times 2.0 \times 10^{-8}}{20} = 6.0 \times 10^{-8}\ \Omega\text{ m}$

٦. $R = \frac{\rho l}{A}$

$l = \frac{RA}{\rho} = \frac{1000 \times 1.0 \times 10^{-8}}{1.0 \times 10^{-6}} = 10\text{ m}$

٧. أ. $R = \frac{\rho l}{A}$

$A = \frac{\rho l}{R} = \frac{5 \times 10^{-7} \times 2.0}{50} = 2 \times 10^{-8}\text{ m}^2$

ب. $A = \pi r^2$

$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{2 \times 10^{-8}}{\pi}}$

$= 8 \times 10^{-5}\text{ m}$

نشاط ٣-٥: المقاومة النوعية والمقاومة: مسائل متقدمة

١. أ. الطول = 0.15 m = 15 cm

القطر = 0.0020 m = 0.20 cm

مساحة المقطع العرضي:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 0.0020^2}{4} = 3.1 \times 10^{-6}\ \text{m}^2$$

$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{5.0 \times 10^{-3} \times 0.15}{3.1 \times 10^{-6}}$$

$$= 242\ \Omega \approx 240\ \Omega$$

ب. يعمل خط القلم الرصاص كمقاومة لأن الجرافيت يوصل الكهرباء. لحساب مساحة المقطع العرضي (A) قِس المقاومة (R) لخط القلم الرصاص باستخدام المعادلة $R = \frac{\rho l}{A}$ واستخدام المعادلة $t = \frac{A}{w}$ لحساب سُمك الخط. لذلك سيكون السُمك: $t = \frac{\rho l}{Rw}$.

٢. أ. الطول = 0.08 m = 8 cm

نصف القطر = 0.015 m = 1.5 cm

مساحة المقطع العرضي:

$$A = \pi d^2 = \pi \times 0.015^2 = 7.1 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$$

$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{4.0 \times 10^{-3} \times 0.08}{7.1 \times 10^{-4}} = 0.45\ \Omega$$

ب. تتناسب المقاومة طرديًا مع الطول وتتناسب عكسيًا مع مربع نصف القطر.

جعل نصف القطر نصف مقداره الأصلي؛ يعني أن المقاومة ستكون أكبر بـ 4 مرات.

جعل الطول 4 مرات قدر الطول الأصلي؛ يعني أن المقاومة ستكون أكبر بـ 4 مرات.

لذلك، ستكون المقاومة:

$4 \times 4 = 16$ مرة أكبر

$R = 16 \times 0.45 = 7.2\ \Omega$

٣. أ. الحد الأدنى لطول السلك:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{2.0}{3.0} = 0.67\ \Omega$$

لذلك: $R = \frac{\rho l}{A}$

$$l = \frac{RA}{\rho} = \frac{0.67 \times 7.8 \times 10^{-8}}{1.2 \times 10^{-7}} = 0.43\ \text{m}$$

ب.

الكميّة	الكمّية بالنسبة إلى السلك الأول:
مساحة المقطع العرضي	أصغر
المقاومة	أكبر
المقاومة النوعية	مماثلة
شدة التيار الكهربائي	أصغر
القدرة الناتجة	أصغر

٤. أ. الطول = 0.0080 m = 8.0 mm

مساحة المقطع العرضي:

$$A = 0.0030 \times 0.0000010 = 3.0 \times 10^{-9}\ \text{m}^2$$

$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{5.0 \times 10^{-6} \times 0.0080}{3.0 \times 10^{-9}} = 13\ \Omega$$

ب. الطول = 0.0000010 m = 0.0010 mm

مساحة المقطع العرضي:

$$A = 0.0030 \times 0.0080 = 2.4 \times 10^{-5}\ \text{m}^2$$

$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{5.0 \times 10^{-6} \times 0.0000010}{2.4 \times 10^{-5}}$$

$$= 2.1 \times 10^{-7}\ \Omega$$

٥. بما أن $R = \frac{\rho l}{A}$ ، لذلك فإن:

$$A = \frac{\rho l}{R} = \frac{1.45 \times 10^{-6} \times 0.015}{0.20}$$

$$= 1.1 \times 10^{-7}\ \text{m}^2$$

بما أن $A = \frac{\pi d^2}{4}$، لذلك فإن:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.1 \times 10^{-7}}{\pi}}$$

$$= 3.7 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

٦. نسبة جميع المتغيّرات (السلك B : السلك A)

أ. 0.25 أو 1:4

ب. 4 أو 4:1

ج. 0.25 أو 1:4

نشاط ٣-٦: قانونا كيرشوف

١. القانون الأول لكيرشوف: مجموع التيارات الكهربائية الداخلة إلى أي نقطة في دائرة ما تساوي مجموع التيارات الكهربائية الخارجة من تلك النقطة.

القانون الثاني لكيرشوف: مجموع القوى الدافعة الكهربائية في أي مسار مغلق في دائرة ما يساوي مجموع فروق الجهد الكهربائية في ذلك المسار.

٢. أ. الشحنة الكهربائية.

ب. الطاقة.

٣. أ. $Q = It = 6.0 \times 10 = 60\ \text{C}$

ب. بالانتقال حول الدائرة من A إلى B، لا توجد تفريعات، لذا يجب أن تتدفق كل الشحنة الكهربائية التي تتدفق عبر A أيضًا عبر B.

ج. $I_B = I_C + I_D$

$I_D = I_B - I_C = 6.0 - 1.0 = 5.0\ \text{A}$

د. $I_E = I_C + I_D = 5.0 + 1.0 = 6.0\ \text{A}$

هـ. المقاومتان الموجودتان على الفرعين لهما مقداران مختلفان (المقاومة الموجودة على الفرع C مقدارها أكبر بخمس مرات من مقدار المقاومة الموجود على الفرع D).

٤. أ. $Q = It = 0.20 \times 10 = 2.0\ \text{C}$

ب. $W = QV = 2.0 \times 10 = 20\ \text{J}$

ج. $V = V_1 + V_2$

$10 = (0.2 \times 40) + V_2$

$V_2 = 2V$

د. فرق الجهد الكهربائي هو مقدار الطاقة المنقولة لكل وحدة شحنة. نظرًا لأن مقدار الشحنة الكهربائية نفسه يتدفق عبر جميع النقاط في المسار المغلق في 10 s، فإذا كانت الطاقة محفوظة، فإن مجموع فروق الجهد حول المسار المغلق يجب أن يساوي مجموع القوى الدافعة الكهربائية حوله. ويظهر هذا بواسطة:

$10\ \text{V} = 8.0\ \text{V} + 2.0\ \text{V}$ و $10\ \text{J} = 8.0\ \text{J} + 2.0\ \text{J}$

٥. أ. مجموع شدة التيارات الكهربائية التي تدخل نقطة التفريع = مجموع شدة التيارات الكهربائية التي تخرج من نقطة التفريع.

افترض أن P إلى اليمين:

$4.0 + 3.0 = P + 8.0$

$P = 4.0 + 3.0 - 8.0 = -1.0\ \text{A}$

الافتراض الأولي غير صحيح؛ P إلى اليسار ولكن مقدار شدة التيار صحيح.

ب. يجب المحافظة على الشحنة الكهربائية الكلية التي تدخل وتخرج من نقطة التفريع في كل ثانية، لذلك يجب أن يكون P باتجاه نقطة التفريع (إلى اليسار) لتوفير شحنة إضافية بمقدار 1.0 C. فعندما تضاف هذه إلى 3.0 C و 4.0 C من الشحنة الكهربائية التي تدخل بالفعل في نقطة التفريع، نحصل على 8.0 C من الشحنة الكهربائية تخرج من نقطة التفريع نفسها.

٦. أ. 4.0 V

ب. باستخدام القانون الثاني لكيرشوف:

مجموع فروق الجهد = مجموع القوى الدافعة الكهربائية

$1.0 + V = 4.0$

$V = 3.0\ \text{V}$

ج. للبطارية اليسرى قوة دافعة كهربائية أكبر؛ فتسبب تيارًا عكس اتجاه عقارب الساعة في حين أن البطارية اليمنى تسبب تيارًا باتجاه عقارب الساعة، لذلك فإن التيار الكهربائي النهائي يكون بعكس اتجاه عقارب الساعة.

د. ١. $W = QV = 1.0 \times 6.0$

$W = 6.0$ J ، طاقة منقولة إلى الإلكترونات.

٢. $W = QV = 1.0 \times 2.0$

$W = 2.0$ J ، طاقة منقولة إلى الإلكترونات.

٣. $W = QV = 1.0 \times 1.0$

$W = 1.0$ J ، طاقة منقولة من الإلكترونات إلى المحيط.

نشاط ٣-٧: تطبيق قانون كيرشوف الثاني على دوائر كهربائية

١. أ. المسار المغلق ACDA والمسار المغلق ABCA

ب. المسار المغلق: ABCDA القوة الدافعة الكهربائية الكلية = 2.0 V

المسار المغلق: ACDA القوة الدافعة الكهربائية الكلية = 3.0 V

المسار المغلق: ABCA القوة الدافعة الكهربائية الكلية = −1.0 V

ج. المسار المغلق ACDA : $3.0 = 2.0I_2$

المسار المغلق ABCA:

$-1.0 = 4.0I_1 + -2.0I_2$

١.

$2.0 = 4.0I_1$

$I_1 = \frac{2.0}{4.0} = 0.50$ A

$3.0 = 2.0I_2$

$I_2 = \frac{3.0}{2.0} = 1.5$ A

٢. $I_3 = I_1 + I_2$

٢. أ. $I_2 = I_1 + I_3$

ب. $8.0 = 5I_2$

ج. $10 = 5I_2 + 5I_1$

د.

$8.0 = 5I_2$

$I_2 = \frac{8.0}{5} = 1.6$ A

عوّض في:

$10 = 5I_2 + 5I_1$

$(5 \times 1.6) + 5I_1$

$5I_1 = 10 - 8$

$I_1 = \frac{2}{5} = 0.4$ A

$1.6 = I_3 + 0.4$

$I_3 = 1.2$A

هـ. $10 - 8.0 = 5I_1$

٣. أ. الحد الأقصى لمجموع القوى الدافعة الكهربائية في الدائرة:

$= 8.0 + 4.0 = 12.0$ V

الحد الأدنى لمجموع القوى الدافعة الكهربائية في الدائرة:

$= 8.0 - 4.0 = 4.0$ V

ب. $I = \frac{V}{R}$

$I_{max} = \frac{12.0}{(3.0 + 1.0)} = 3.0$ A

$I_{min} = \frac{4.0}{(3.0 + 1.0)} = 1.0$ A

٤. أ. $I_1 = I_2 + I_3$

ب. يكون $I_4 = I_2 + I_3$، عند تطبيق القانون الأول لكيرشوف عند التفريع على الجانب الأيمن من الدائرة. I_1 تساوي أيضًا $I_2 + I_3$.

ج. $\varepsilon_1 = RI_1 + RI_2 + RI_4$

د. $\varepsilon_2 = RI_3 - RI_2$

هـ. $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = RI_1 + RI_3 + RI_4$

نشاط ٣-٨: القوة الدافعة الكهربائية والمقاومة الداخلية

١. أ.

ε	القوة الدافعة الكهربائية لخلية كهربائية ما – فرق الجهد عبر الخلية عندما لا يكون هناك تيار كهربائي.
V	فرق الجهد الكهربائي بين طرفي خلية عندما يسحب تيار منها أو فرق الجهد بين طرفَي المقاومة الخارجية.
Ir	فرق الجهد الكهربائي عبر المقاومة الداخلية للخلية أي: «فرق الجهد الكهربائي المفقود».

ب.

ε	الطاقة الكهربائية المكتسبة لكل وحدة شحنة كهربائية في الخلية.
V	الطاقة لكل وحدة شحنة التي تتحول أثناء تحركها من طاقة كهربائية إلى أشكال أخرى في المكوّن المتصل مع الخلية.
Ir	الطاقة لكل وحدة شحنة التي تتحول إلى حرارة في المقاومة الداخلية.

٢. أ. عندما لا يكون هناك تيار أو عندما تكون الخلية في «دائرة مفتوحة» أو البطارية مثالية.

ب. عندما تكون الخلية متصلة بمكوّن، فإن هناك تيارًا وفرق جهد كهربائي عبر المقاومة الداخلية. والقوة الدافعة الكهربائية للخلية تكون عبر المقاومة الداخلية وعبر المكوّن، وبالتالي تكون أكبر من أيّ منهما.

ج. عن طريق «قصر الدائرة» للخلية؛ أيّ توصيل سلك سميك ذي مقاومة منخفضة جدًا عبر طرفيها. وعندها تنفد الخلية بسرعة (لاحظ أنه لا ينصح بإجراء هذا الأمر عمليًا).

٣. أ. 6.0 V

ب. لا يوجد تيار (الدائرة مفتوحة).

ج. $Ir = \varepsilon - V = 6.0 - 4.0 = 2.0$ V

د. 4.0 V ؛ لأن هذا هو الجهد عبر المقاومة الخارجية 12 Ω

هـ. 2.0 V ؛ لأن هذا هو الجهد عبر المقاومة الداخلية (r).

٤. أ.

شدة التيار (A)	ε (V)	V (V)	فرق الجهد عبر المقاومة الداخلية $\varepsilon - V$ (V)
0	1.50	1.50	0
0.5	1.50	1.25	0.25
1.0	1.50	1.00	0.50
2.0	1.50	0.50	1.00
3.0	1.50	0	1.50

ب. الفرق بين القوة الدافعة الكهربائية والجهد المقاس هو 0.25 V، وهو «فرق الجهد الكهربائي المفقود» عبر المقاومة الداخلية للخلية.

ج. تقليل المقاومة الخارجية من مقاومة كبيرة جدًا (دائرة لا متناهية أو مفتوحة) إلى مقاومة صغيرة جدًا (دائرة قصر كهربائية أو يكون طرفاها متصلًا بسلك سميك).

٥. لأنه يوجد تيار كبير. حيث يلزم بعض فرق الجهد الكهربائي لدفع التيار الكهربائي من خلال المقاومة الداخلية للبطارية.

نشاط ٣-٩: باستخدام معادلات المقاومة الداخلية

١. أ.

$V = IR$

$R = \frac{V}{I} = \frac{8.0}{0.40} = 20\ \Omega$

ب. الجهد المفقود:

$= 9.0 - 8.0 = 1.0\ V$

$V = Ir$

$r = \frac{V}{I} = \frac{1.0}{0.40} = 2.5\ \Omega$

٢. أ. $I = \frac{\varepsilon}{(R + r)} = \frac{4.0}{(9.0 + 1.0)} = 0.40\ A$

ب. $V = IR = 0.40 \times 9.0 = 3.6\ V$

ج. $V = 3.6\ V$ (فرق الجهد بين طرفَي المقاومة الخارجية يساوي فرق جهد البطارية).

د. $V = 4.0\ V$ (وهي القوة الدافعة الكهربائية للخلية؛ لأنه لا يوجد تيار في الدائرة).

٣. أ. $V = IR$

$I = \frac{V}{R} = \frac{4.0}{1.0} = 0.40\ A$

ب. $r = \frac{(\varepsilon - V)}{I} = \frac{(6.0 - 4.0)}{0.40} = 5.0\ \Omega$

٤. أ. $\varepsilon = V + Ir$

$V = \varepsilon - Ir$

$V = -rI + \varepsilon$

بالمقارنة مع معادلة الخط المستقيم $y = mx + c$، يكون $y = V$ و $x = I$،

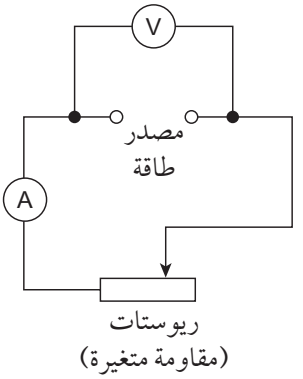
والميل $(m) = -r$ ، ونقطة التقاطع $(c) = \varepsilon$

ب. الميل $= \frac{(0.00 - 1.50)}{(3.0 - 0.0)} = -0.50\ \Omega$

الميل $= -r = -0.50$

$r = 0.50\ \Omega$

ج.



٥. أ. $\varepsilon = I(R + r) = 3.0 \times (1.2 + 0.30) = 4.5\ V$

ب. $V = IR = 3.0 \times 1.2 = 3.6\ V$

ج. $\varepsilon = I(R + r)$

$R = \frac{\varepsilon}{I - r} = \frac{4.5}{1.5 - 0.3} = 2.7\ \Omega$

٦. أ. للمقاومات على التوازي:

$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{120} + \frac{1}{80} = \frac{1}{48}$

$R_T = 48\ \Omega$

هذه المقاومة (R_T) على التوالي مع المقاومة الداخلية.

لذلك فإن مقاومة الدائرة:

$= 48 + 12 = 60\ \Omega$

ب. $V = IR$

$I = \frac{V}{R} = \frac{6.0}{60} = 0.10\ A$

ج. فرق الجهد الكهربائي المفقود:

$Ir = 0.10 \times 12 = 1.2\ V$

$V = 6.0 - 1.2 = 4.8\ V$

نشاط ٣-١٠: مجزئ الجهد الكهربائي

١. أ. $6 + 4 = 10$

$\frac{30}{10} = 3$

6 : 4 يكون

$6 \times 3 : 4 \times 3 = 18 : 12$

ب. $6 + 4 = 10$

$\frac{80}{10} = 8$

6 : 4 يكون

$6 \times 8 : 4 \times 8 = 48V : 32V$

ج. $12 + 3 = 15$

$\frac{60}{15} = 4$

12 : 3 يكون

$12 \times 4 : 3 \times 4 = 48V : 12V$

د. $I = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2}$

هـ. $I = \frac{V_{out}}{R_2}$

و. $\frac{V_{in}}{R_1 + R_2} = \frac{V_{out}}{R_2}$

$V_{out} = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)}$

ز.

R_2 (Ω)	R_1 (Ω)	V_{in} (V)	V_{out} (V)
250	50	6.0	5.0
25	100	10.0	2.0
200	1000	24.0	4.0
184	400	16.2	5.1

٢. يحدث الجهد الأقصى عندما يكون للمقاومة المتغيّرة مقاومة تساوي صفرًا.

$V_{out} = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)} = \frac{6.0 \times 2000}{(0 + 2000)} = 6.0$ V

يحدث الجهد الأدنى عندما تكون للمقاومة المتغيرة مقاومة تساوي 4000 Ω

$V_{out} = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)} = \frac{6.0 \times 2000}{(4000 + 2000)} = 2.0$ V

٣. أ. 6.0 V

ب. 0 V

ج. $V_{out} = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)} = \frac{6.0 \times 8.0}{(4.0 + 8.0)} = 4.0$ V

٤. أ. $V_{out} = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)} = \frac{6.0 \times 2000}{(500 + 2000)} = 4.8$ V

ب. ١. $V_{out} = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)} = \frac{6.0 \times 200}{(400 + 200)} = 2.0$ V

٢. $V_{out} = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)} = \frac{6.0 \times 400}{(400 + 400)} = 3.0$ V

٣. $V_{out} = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)} = \frac{6.0 \times 1600}{(400 + 1600)} = 4.8$ V

ج. ١. فرق الجهد الكهربائي:

$= 4.8 - 2.0 = 2.8$ V

٢. فرق الجهد الكهربائي:

$= 4.8 - 3.0 = 1.8$ V

٣. فرق الجهد الكهربائي:

$= 4.8 - 4.8 = 0.0$ V

نشاط ٣-١١: مقياس الجهد الكهربائي

١. أ. $V = \frac{10}{100} = 0.10$ V

ب. ١. $V = 20 \times 0.10 = 2.0$ V

٢. $V = 25 \times 0.10 = 2.5$ V

٣. $V = 40 \times 0.10 = 4.0$ V

ج. ١. $V = 2.0 - 2.0 = 0.0$ V

٢. $V = 2.0 - 2.5 = (-)0.5$ V

٣. $V = 2.0 - 4.0 = (-)2.0$ V

٢. أ.

l (m)	V_B (V)	ε_A (V)
0.30	0.60	2.0
0.22	0.44	2.0
0.40	0.60	1.5
0.80	4.8	6.0

ب. ١. $V_{out} = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)} = \frac{2.00 \times 10}{(90 + 10)} = 0.20$ V

٢. $V_B = \frac{0.245 \times 0.20}{1.000} = 0.049$ V

٣. لأن هناك جهدًا كهربائيًا صغيرًا خلال السلك.

ج. ١. $V_{out} = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)}$

$R_1 = \frac{V_{in} R_2}{V_{out}} - R_2 = \frac{6.00 \times 10}{0.0030} - 10$

$R_1 = 20000$ Ω

(يسمح للمقاومة 19990 Ω)

٢. صِل الدائرة كما هو معطى واضبط موضع M حتى يقيس المقياس الحسّاس (الأميتر أو الجلفانوميتر) صفرًا. قِس l. كرّر المحاولة وجِد المتوسط.

٣. يُحسب الجهد بضرب طول السلك (بالأمتار) في 3.0 mV

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. أ. تغيّرت كمية الطاقة من الأشكال الأخرى إلى طاقة كهربائية لكل وحدة شحنة تنتجها الخلية.

ب.
$$Q = It = 300 \times 1 = 300 \text{ C}$$
$$n = \frac{Q}{q} = \frac{300}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.9 \times 10^{21}$$

ج. ١.
$$I = nAvq$$
$$v = \frac{I}{nAe}$$
$$= \frac{300}{1.6 \times 10^{29} \times 9.0 \times 10^{-4} \times 1.6 \times 10^{-19}}$$
$$v = 1.3 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$$

٢. متوسط السرعة المتجهة الانجرافية هو متوسط المسافة التي يقطعها الإلكترون في ثانية واحدة باتجاه طول السلك، أما متوسط السرعة فهو كمية عددية وهي المسافة المقطوعة في الثانية ولأن الحركة ليست بخط مستقيم، فإن متوسط السرعة أكبر بكثير من متوسط السرعة المتجهة الانجرافية.

٣. في الجزء الأضيق من الكابل يجب أن تنتقل الإلكترونات بشكل أسرع وذلك للمحافظة على شدة التيار الكهربائي؛ حيث أن كثافة عدد الإلكترونات الحرّة ثابتة؛ لأنها خاصية للمادة.

٢. أ. إن التيار في الموصل يتناسب طرديًا مع فرق الجهد على طرفَي هذا الموصل، مؤمّنًا الشروط الفيزيائية كمثال فإن درجة الحرارة تبقى ثابتة.

ب. المقاومة ثابتة.

ج. ١.
$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times (1.2 \times 10^{-3})^2}{4}$$
$$A = 1.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

٢.
$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{1.7 \times 10^{-8} \times 10}{1.1 \times 10^{-6}}$$
$$R = 0.15 \ \Omega$$

٣.
$$\frac{1}{R_T} = \frac{12 \times 1}{R} = \frac{12}{R}$$
$$R_T = \frac{R}{12} = \frac{0.15}{12} = 0.013 \ \Omega$$

٣. أ.
$$I_1 = I_2 + I_3$$

ب. باستخدام المسار المغلق الخارجي:
$$\varepsilon = 8 I_2 + 4 I_2$$
$$12 = 12 I_2$$
$$I_2 = \frac{12}{12} = 1.0 \text{ A}$$

ج. باستخدام مسار مغلق داخلي مع الخلية:
$$\varepsilon = 20 I_3$$
$$12 = 20 I_3$$
$$I_3 = \frac{12}{20} = 0.6 \text{ A}$$

د. يجب أن يكون مجموع فروق الجهد حول هذا المسار المغلق صفرًا؛ نظرًا إلى عدم وجود قوى دافعة كهربائية، وتحقيق ذلك يتم (إذا تقدمنا باتجاه عقارب الساعة) فإن I_3 يكون سالبًا.
$$8 I_2 + 4 I_2 - 20 I_3 = 0$$
$$(8 \times 1.0) + (4 \times 1.0) - (20 \times 0.6) = 0$$
$$8 + 4 - 12 = 0$$

هـ. للحصول على المقاومة المكافئة باستخدام التيار الكهربائي عبر البطارية:
$$I_1 = I_2 + I_3 = 1.0 + 0.6 = 1.6 \text{ A}$$
$$R = \frac{V}{I} = \frac{12}{1.6} = 7.5 \ \Omega$$

٤. أ. القانون الأول لكيرشوف: مجموع التيارات الكهربائية الداخلة إلى أي نقطة في دائرة ما يساوي مجموع التيارات الكهربائية الخارجة من تلك النقطة.

ب. الشحنة الكهربائية.

ج. القوة الدافعة الكهربائية وفرق الجهد الكهربائي يعبّران عن الطاقة المنقولة لكل وحدة شحنة تعبر في الدائرة. تتبدّد الطاقة المنقولة بواسطة الخلية إلى الإلكترونات كحرارة عندما تمر الإلكترونات عبر المقاومتين على التوالي، بافتراض عدم وجود مقاومة للأسلاك الموصلة، وهذا يؤكد مبدأ حفظ الطاقة، وهو أساس القانون الثاني لكيرشوف.

د. ١. المقاومة المكافئة للدائرة:

$= 0.70 + 0.10 = 0.80\ \Omega$

٢. القوة الدافعة الكهربائية الفعّالة في الدائرة:

$= 16 - 8.0 = 8.0\ V$

(لأن شاحن البطارية وبطارية السيارة يحاولان دفع التيار الكهربائي باتجاهين متعاكسين).

$I = \frac{V}{R} = \frac{8.0}{0.80} = 10\ A$

٣. باستخدام $I = 2.0\ A$: المقاومة المكافئة الجديدة:

$R = \frac{V}{I} = \frac{8.0}{2.0} = 4.0\ \Omega$

المقاومة الإضافية:

$= 4.0 - 0.70 - 0.10 = 3.2\ \Omega$

٤. – سيعمل كل من شاحن البطارية وبطارية السيارة بعد ذلك على دفع التيار الكهربائي بالاتجاه نفسه، الأمر الذي ينتج عنه تيار كبير جدًا (وخطِر).

– لن يُعاد شحن بطارية السيارة عند توصيلها بهذه الطريقة، وسيكون في الواقع مزيد من التفريغ.

٥. أ. هي المقاومة داخل البطارية التي تقلّل من فرق الجهد الكهربائي بين طرفي البطارية عندما يكون هناك تيار، وهي تساوي الفرق بين القوة الدافعة الكهربائية للبطارية وفرق الجهد الكهربائي بين طرفيها مقسومًا على شدة التيار الكهربائي.

ب. القوة الدافعة الكهربائية للبطارية هي الطاقة بالجول لكل وحدة شحنة التي تتحوّل من طاقة كهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة. بعض هذه الطاقة يتبدّد في المقاومة الخارجية وبعضها الآخر يتبدّد في المقاومة الداخلية. ومن خلال مبدأ حفظ الطاقة يجب أن يكون هناك طاقة أقل لكل وحدة شحنة في المقاومة الخارجية ممّا هو متوفّر.

ج. شدة التيار الكهربائي الكلي:

$I = 0.5 + 0.5 + 1.0 + 1.0 + 4.0 + 4.0 = 11\ A$

$V = \varepsilon - Ir = 12.0 - (11 \times 0.150)$

$V = 10.35\ V \approx 10\ V$

(مع رقمَين معنويَّين)

د. $R = \frac{V}{I} = \frac{10.35}{4.0} = 2.6\ \Omega$

هـ. المقاومة المكافئة في الدائرة:

$= \frac{2.6}{2} + 0.150 = 1.45\ \Omega$

$I = \frac{V}{R} = \frac{12.0}{1.45} = 8.3\ A$

و. عند تشغيل جميع المصابيح تكون شدة التيار الكهربائي كبيرة وبالتالي يكون «فقد فرق الجهد الكهربائي» أكبر عبر المقاومة

الداخلية. وهذا يقلّل من فرق الجهد الكهربائي بين طرفَي البطارية، وشدة التيار الكهربائي في المصابيح الجانبية تكون أصغر.

٦. أ. دائرة يتم فيها تجزئة الجهد الكهربائي أو فرق الجهد الكهربائي إلى جزأين أو أكثر، ويكون عادةً بواسطة مقاومات متصلة على التوالي.

ب. المقاومات المتصلة على التوالي لها شدة التيار الكهربائي نفسها أو يتدفق فيها مقدار الشحنة الكهربائية نفسه لكل ثانية. وتتطلب المقاومة الأكبر فرق جهد كهربائي أكبر عند شدة التيار الكهربائي نفسه V، لأن $V = IR$.

ج. $V_{out} = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)} = \frac{6.0 \times 1600}{(1200 + 1600)} = 3.4\ V$

د. 2.0 V هي $\frac{1}{3}$ (ثلث) القوة الدافعة الكهربائية.

لذلك، المقاومة المكافئة للشبكة على التوازي الجديدة = $\frac{1}{3}$ (ثلث) مقاومة الدائرة المكافئة = 600 Ω (نظرًا لأن فرق الجهد الكهربائي عبر المقاومة الأخرى 1200 Ω، يجب أن يكون 4.0 V).

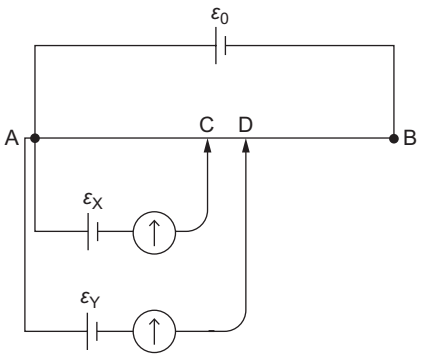
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{600} = \frac{1}{1600} + \frac{1}{R}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{10}{9600}$$

$$R = 960\ \Omega$$

هـ.



حرّك المنزلق حتى يقيس الأميتر صفرًا، ثم سجّل المسافة لطول السلك، مكرّرًا مع الخلية الأخرى. نسبة المسافتَين هي النسبة بين القوة الدافعة الكهربائية للخليتين.

الوحدة الرابعة

المكثفات

نظرة عامة

- تقدّم هذه الوحدة من المنهج أحد مكوّنات الدائرة الكهربائية المعروفة باسم المكثفات، وكذلك مفهوم السعة ووحدتها والعلاقة بين الشحنة والجهد والسعة، ثم ينتقل الحديث لاستكشاف تأثير توصيل المكثفات على التوازي وعلى التوالي.
- ثم تتابع الوحدة دراسة الطاقة المخزّنة في مكثف مشحون وإيجاد الصيغة الرياضية لحساب طاقة الوضع الكهربائية المخزّنة.
- تتم دراسة تفريغ المكثف في الجزء الأخير من هذه الوحدة، بما في ذلك الطبيعة الأُسّية للتفريغ.
- يتوقع من الطالب خلال هذه الوحدة أن:
  - يعرّف سعة المكثف، عند تطبيقها على المكثفات متوازية الألواح.
  - يستخدم المعادلة $C = \frac{Q}{V}$.
  - يستنتج معادلات السعة المكافئة للمكثفات الموصلة على التوالي والموصلة على التوازي مستخدمًا $C = \frac{Q}{V}$.
  - يحسب السعة المكافئة للمكثفات الموصلة على التوالي والموصلة على التوازي.
  - يستخدم معادلتَي السعة المكافئة للمكثفات الموصلة على التوالي والموصلة على التوازي.
  - يجد طاقة الوضع الكهربائية المخزّنة في مكثف من المساحة الواقعة تحت منحنى التمثيل البياني (الجهد الكهربائي – الشحنة الكهربائية).
  - يستخدم المعادلات $W = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$.
  - يحلّل التمثيلات البيانية لتغيّر كل من فرق الجهد الكهربائي والشحنة الكهربائية وشدة التيار الكهربائي مع الزمن لمكثف يُفرّغ عبر مقاومة ما.
  - يستخدم معادلة الثابت الزمني لمكثف يُفرّغ عبر مقاومة ما $\tau = RC$.
  - يستخدم معادلات بالصيغة $x = x_0\, e^{-(t/RC)}$، حيث يمكن أن تمثّل x شدة التيار الكهربائي أو الشحنة الكهربائية أو فرق الجهد الكهربائي لمكثف يُفرّغ عبر مقاومة ما.
- ثمّة فرص لتغطية جميع أهداف التقويم الثلاثة: AO1 (المعرفة والفهم)، AO2 (معالجة المعلومات وتطبيقها وتقييمها) و AO3 (المهارات والاستقصاءات التجريبية).

مخطط التدريس

أهداف الموضوع	الموضوع	عدد الحصص	المصادر في كتاب الطالب	المصادر في كتاب التجارب العملية والأنشطة
٤-١، ٤-٢، ٤-٥، ٤-٦	٤-١ التعرف على المكثفات ٤-٢ الطاقة المخزنة في مكثف	٣	الأسئلة من ١ إلى ١٠ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ٤-١ الشحنة الكهربائية وفرق الجهد الكهربائي والسعة نشاط ٤-٢ الطاقة المخزنة بواسطة مكثف مشحون أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٤-٣، ٤-٤	٤-٣ توصيل المكثفات على التوازي ٤-٤ توصيل المكثفات على التوالي ٤-٥ شبكات المكثفات	٤	الأسئلة من ١١ إلى ٢٠ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ٤-٣ توصيل المكثفات على التوالي وعلى التوازي أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٤-٧، ٤-٨، ٤-٩	٤-٦ شحن المكثفات وتفريغها	٥	الأسئلة من ٢١ إلى ٢٤ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ٤-٤ تفريغ المكثفات الاستقصاء العملي ٤-١: تحديد سعة مكثف في دائرة تيار كهربائي مستمر أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع

الموضوعان ٤-١: التعرف على المكثفات و ٤-٢: الطاقة المخزنة في مكثف

الأهداف التعليمية

٤-١ يعرّف سعة المكثف، عند تطبيقها على المكثفات المتوازية الألواح.

٤-٢ يستخدم المعادلة $C = \frac{Q}{V}$.

٤-٥ يجد طاقة الوضع الكهربائية المخزّنة في مكثف من المساحة الواقعة تحت منحنى التمثيل البياني (الجهد الكهربائي – الشحنة الكهربائية).

٤-٦ يستخدم المعادلات $W = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذَين الموضوعَين ٣ حصص دراسية (ساعتان).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٤-١ التعرف على المكثفات ٤-٢ الطاقة المخزنة في مكثف	• المثال ١ • الأسئلة من ١ إلى ١٠
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٤-١ الشحنة الكهربائية وفرق الجهد الكهربائي والسعة نشاط ٤-٢ الطاقة المخزنة بواسطة مكثف مشحون	• يساعد النشاط ٤-١ على فهم الأفكار الأساسية حول السعة الكهربائية. • يوفر النشاط ٤-٢ تدريبًا على حساب الشحنة الكهربائية وفرق الجهد الكهربائي والطاقة المخزنة بواسطة مكثف.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- سيجد بعض الطلبة صعوبة في استيعاب مفهوم أن المكثف يعمل بشكل مختلف عن العديد من مكوّنات الدائرة الكهربائية الأخرى؛ من حيث أن الشحنة لا تتدفق عبر المكثف عند الشحن أو عند التفريغ، ومع ذلك فإن المكثف يوفّر فرصة ممتازة لتعزيز فهم المجالات الكهربائية وتقويتها. استخدم هذه الفرصة لتعزيز فكرة أن الشحنة لا يمكن أن تنتقل بين لوحَي المكثف، وأن المجال الكهربائي هو الذي يسبب حركة الشحنة في السلكَين الموصلَين بلوحَي المكثف، وبذلك يسبب تيارًا كهربائيًا في الدائرة الكهربائية.

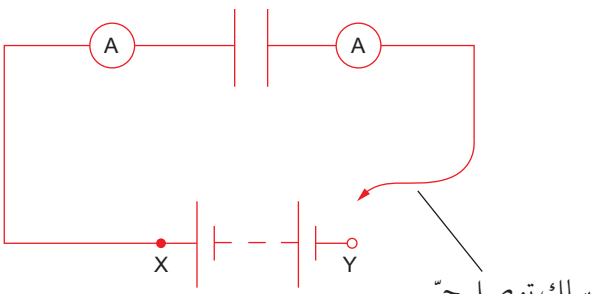
أنشطة تمهيدية

قد يكون معظم الطلبة لم يسبق لهم التعرّض لموضوع المكثفات من قبل، لذلك تحتاج إلى أن تقضي بعض الوقت في إعطاء فرص لاستقصاء خصائص المكثفات واستخداماتها.

نقترح عليك فكرتَين كتمهيد لهذَين الموضوعَين؛ وسيعتمد اختيارك على الموارد المتوفرة، وعلى الزمن المتاح، وعلى كيفية تقدم الطلبة في هذَين الموضوعَين.

فكرة أ (١٠–١٥ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: بطارية (6–9 V)، جهازَي أميتر (100 µA أو 1 mA)، مكثف (4700 µF~ أو سعة أكبر)، 4 أسلاك توصيل. انظر الشكل ٤–١.



الشكل ٤–١

ملاحظة: يجب أن تكون أجهزة الأميتر حسّاسة للاتجاه حتى يتمكّن الطلبة من التمييز بين تيارات الشحن وتيارات التفريغ.

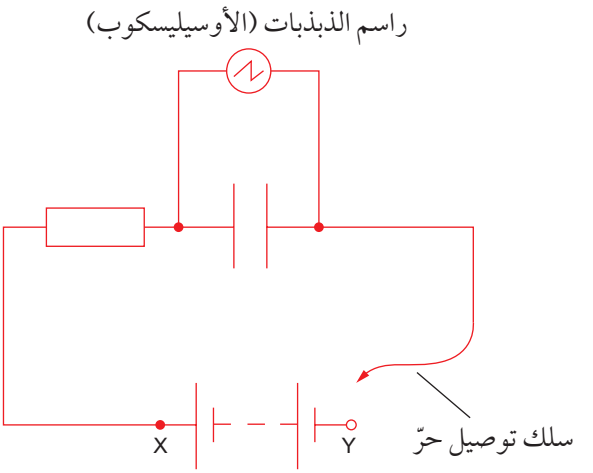
- جهّز دائرة مثل تلك المبيّنة في الشكل ٤–١، ثم صِل سلك التوصيل الحر بالنقطة X؛ حيث يضمن ذلك تفريغ المكثف تمامًا، ثم افصل سلك التوصيل الحر عن النقطة X ثم أعد توصيله بالنقطة Y مرة أخرى، واسأل الطلبة عمّا يلاحظونه. صِل السلك بالنقطة X مرة أخرى، ثم اسأل الطلبة: ماذا يحدث هذه المرة؟ كرّر ذلك عدة مرات حتى يتضح للطلبة ما حدث.

› **فكرة للتقويم:** اطلب إلى الطلبة كتابة ما يعتقدون أنه يحدث. اجعلهم يقرأون إجاباتهم، ثم ناقشها بهدف إنشاء مفهوم أن المكثفات تخزّن الشحنة.

فكرة ب (١٠–٢٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: بطارية (3 V)، مقاومة (5000 Ω)، مكثف (470 µF)، راسم ذبذبات (أوسيليسكوب)*، 6 أسلاك توصيل.

(*سيكون من الأفضل توفير راسم ذبذبات من النوع الذي يخزّن الإشارات. هناك تطبيقات يمكن تحميلها بحيث يمكن استخدام جهاز الحاسوب المحمول (laptop) أو الأي باد (iPad) «كأداة» لتخزين الإشارات).



الشكل ٤-٢

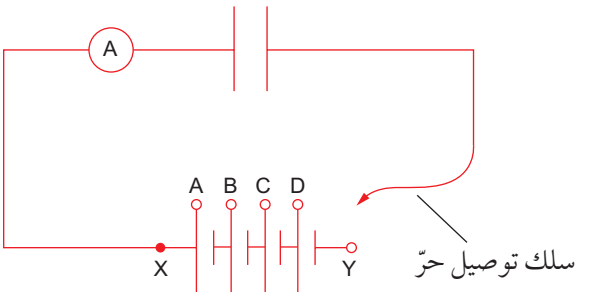
- وصّل راسم ذبذبات (أوسيليسكوب) بين لوحَي المكثف كما في الشكل ٤-٢، ثم اضبط مفتاح التحكم بالزمن بحيث تستغرق «البقعة المضيئة» نحو (5 s) لتقطع الشاشة، ثم صِل سلك التوصيل الحر بالنقطة X لضمان تفريغ المكثف، ثم صِله بالنقطة Y. وجّه الطلبة إلى ملاحظة راسم الذبذبات، وملاحظة كيف تتحرك البقعة المضيئة، والآن صِل سلك التوصيل الحر بالنقطة X. تأكّد من أن الطلبة يلاحظون شاشة راسم الذبذبات.

› **فكرة للتقويم:** اطلب إلى الطلبة كتابة ما يعتقدون أنه يحدث، ويجب أن تتضمن كتاباتهم وصفًا للطريقة التي تتحرك بها «البقعة المضيئة». اجعل الطلبة يقرأون إجاباتهم، ثم ناقشها. يجب أن يكون واضحًا للطلبة في نهاية النشاط أنه عندما يتصل سلك التوصيل الحر بالنقطة Y فإن المكثف يُشحن، وأن إعادة توصيل السلك بالنقطة X تؤدي إلى تفريغ المكثف، وكذلك يجب أن يُشار إلى أن التفريغ يشبه الانحلال الإشعاعي، وأن هذا الموضوع سيُدرس في الفصل الدراسي الثاني من الصف الثاني عشر.

الأنشطة الرئيسية

١ العلاقة بين الشحنة المخزّنة في مكثف وفرق الجهد بين طرفَيه (٤٠-٥٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات (لكل طالب أو مجموعة ثنائية): بطارية (مكوّنة من 4 خلايا كل منها 1.5 V)، أميتر (100 µA أو 1 mA)، مكثف (4700 µF~ أو سعة أكبر)، 4 أسلاك توصيل، مجموعة من المكثفات ذات مدى من السعات.



الشكل ٤-٣

سؤال مفصلي: صِف بإيجاز مبدأ عمل المكثف والعلاقة بين فرق الجهد بين لوحَيه والشحنة المخزّنة فيه.

أنت تبحث عن فهم جيد لطبيعة المكثف كمكوّن إلكتروني، فهو يعمل على تخزين الشحنة، إذ تعتمد كمية الشحنة المخزّنة فيه على سعة المكثف وفرق الجهد بين لوحَيه.

- أعطِ الطلبة مخطط الدائرة واطلب إليهم استقصاء العلاقة بين فرق الجهد بين طرفَي المكثف والشحنة المخزّنة فيه. يمكن أيضًا للطلبة الذين ينجزون أعمالهم بشكل سريع استكشاف العلاقة بين الشحنة المخزّنة لفرق جهد ثابت و«القيمة» المسجلة على المكثف (سعة المكثف).

› **فكرة للتقويم:** يمكنك الطلب إلى الطلبة، على سبيل المثال:

– رسم التمثيل البياني للعلاقة بين عدد الخلايا في الدائرة الكهربائية وأقصى تيار يُقرأ على الأميتر.

– إضافة مقدار الشحنة نفسها في كل مرة يتم فيها توصيل سلك التوصيل الحر من A إلى B إلى C وهكذا (الشكل ٤–٣)، ومن المثير للاهتمام التوصيل المباشر العكسي من D إلى A إذا اختار الطلبة هذا الخيار.

يوضح هذا أيضًا أن الحد الأقصى لقراءة التيار هو مقياس لمقدار الشحنة المتدفقة إلى (أو من) المكثف.

يمكن للمجموعة التي تنهي مبكرًا استقصاء الشحنة المخزّنة (لفرق جهد ثابت) مقابل سعة المكثف (المسجلة عليه)، أن تقدّم ملاحظات لبقية المجموعات من خلال عرض هذه التجربة.

٢ الطاقة المخزّنة في مكثف مشحون (٥٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات لكل طالب: مجموعة من 3 خلايا (1.5 V لكل منها)، 9 مصابيح (1.5 V لكل منها)، مكثف (1000 µF أو سعة أكبر)، 16 سلك توصيل.

- يمكنك إثبات أن الطاقة المخزّنة في مكثف تتناسب طرديًا مع مربع فرق الجهد بين لوحَي المكثف. زوّد الطلبة بالأدوات المفصلة في كتاب التجارب العملية والأنشطة.
  - اشحن المكثف باستخدام خلية واحدة وفرّغه من خلال مصباح واحد.
  - لاحظ سطوع المصباح وزمن توهّجه.
  - اشحن المكثف باستخدام خليتَين.
  - فرّغه خلال مصباحَين موصلَين على التوالي.
  - سيكون سطوع المصباحَين متماثلًا تقريبًا ولكن زمن إضاءتهما سيكون أطول.
  - كرّر باستخدام ثلاث خلايا وثلاثة مصابيح موصلة على التوالي، يجب أن يكون السطوع مرة أخرى متماثلًا ولكن يجب أن يكون الفرق الزمني ملحوظًا أكثر.
  - اسأل المجموعة عمّا إذا كان هذا العمل اختبارًا عادلًا فعلًا. وإذا لزم الأمر، اشرح لهم أنه لم يتغيّر الجهد فقط، بل تغيّرت المقاومة في الدائرة أيضًا.
  - كوّن مجموعة من مصباحَين موصلَين على التوالي.
  - صِلهما على التوازي بمجموعة أخرى مكوّنة أيضًا من مصباحَين موصلَين على التوالي.
  - اسأل طلبة الصف عن كيفية مقارنة مقاومة هذه الشبكة من المصابيح مع مصباح فردي.
  - اشحن المكثف باستخدام خليتَين.

- فرّغ المكثف خلال هذه الشبكة من المصابيح.
- اسأل الطلبة عمّا لاحظوه: ما مقدار الطاقة التي نُقلت إلى المكثف مقارنة بحالة شحن المكثف بخلية واحدة؟ لاحظ أن كل مصباح له السطوع نفسه ويضيء خلال الزمن نفسه كما لو كان المكثف المشحون يفرّغ باستخدام خلية واحدة خلال مصباح واحد.
- اطلب إلى الطلبة أن يتوقعوا ما سيحدث عندما يشحن المكثف باستخدام ثلاث خلايا ويفرّغ عبر شبكة من ثلاث مجموعات كل منها يتكوّن من ثلاثة مصابيح موصلة على التوالي، وكل مجموعة منها موصلة على التوازي مع المجموعات الأخرى.

- لاحظ النمط المتكوّن من خلال الملاحظات التي تم جمعها. والآن يمكن لطلبة الصف العمل خلال الإثبات النظري للمعادلة $W = \frac{1}{2} QV$ باستخدام التمثيل البياني لـ V مقابل Q. أخيرًا أعط الصيغ البديلة $W = \frac{1}{2} CV^2$، و $W = \frac{1}{2} Q^2V$.

› **فكرة للتقويم:** هل يُظهر الطلبة فهمًا بأنه إذا أُضيئت تسعة مصابيح لها السطوع نفسه فإن ذلك سيعادل تسعة أمثال الطاقة المستخدمة لإضاءة مصباح واحدٍ بذلك السطوع؟ وهل يربط الطلبة هذا بالنسبة 1 : 4 : 9؟ (الأرقام 1 ، 4 ، 9 تربط بين كمية الطاقة المخزنة على المكثف عندما يكون متصلًا بخلية واحدة أو بخليتين أو بثلاث خلايا، لأن الطاقة تتناسب طرديًا مع مربع فرق الجهد الكهربائي).

٣ أسئلة كتاب التجارب العملية والأنشطة (٤٠ دقيقة - ساعة)

- يوفر النشاطان ٤-١ و ٤-٢ من كتاب التجارب العملية والأنشطة للطلبة فرصة لتقوية تعلّمهم في هذا الموضوع. يجب حل أسئلة هذَين النشاطَين إما بعد دراسة عناصر هذا الموضوع أو في مراحل مناسبة خلال التدريس.

› **فكرة للتقويم:** يمكن للطلبة تقويم إجاباتهم بأنفسهم باستخدام الحلول الواردة في هذا الدليل، أو تقويم أعمال بعضهم البعض (تقويم الأقران)، أو قد يرغب المعلم أيضًا في العمل على تصحيح إجاباتهم. والتنوّع في هذه الأساليب الثلاثة هو الأكثر فاعلية.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

يمكن للطلبة الذين يعملون أسرع من غيرهم القيام بعمل إضافي يُقترح عليهم، ثم تقديم تقرير إلى طلبة الصف. سيدرك بعض الطلبة أن استنتاج الصيغة في النشاط الرئيسي ٢ هو مثال على التكامل، وسيستمتعون باستخدام مهاراتهم الرياضية.

الدعم

سيجد بعض الطلبة صعوبة - أكثر من غيرهم - في متابعة الإثبات باستخدام التمثيل البياني لـ Q مقابل V، فيمكنك مساعدتهم بالعودة إلى الشغل المبذول في استطالة سلك (إن تمثيلًا بيانيًا للقوة مقابل الاستطالة يسمح بتحديد الشغل المبذول في استطالة السلك من المساحة تحت منحنى التمثيل البياني).

الموضوعات ٤-٣: توصيل المكثفات على التوازي، و ٤-٤: توصيل المكثفات على التوالي، و ٤-٥: شبكة المكثفات

الأهداف التعليمية

٤-٣ يستنتج معادلات السعة المكافئة للمكثفات الموصلة على التوالي والموصلة على التوازي مستخدمًا المعادلة $C = \frac{Q}{V}$.

٤-٤ يحسب السعة المكافئة للمكثفات الموصلة على التوالي والموصلة على التوازي.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذه الموضوعات ٤ حصص دراسية (ساعتان و٤٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٤-٣ توصيل المكثفات على التوازي ٤-٤ توصيل المكثفات على التوالي ٤-٥ شبكات المكثفات	• المثالان ٢ و ٣ • الأسئلة من ١١ إلى ٢٠
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٤-٣ توصيل المكثفات على التوالي وعلى التوازي	• يوفر النشاط تدريبًا على حساب السعة المكافئة لمكثفين، وعلى توصيل مكثفات بطرائق مختلفة.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- سيجد العديد من الطلبة صعوبة في فهم سبب زيادة السعة المكافئة عند جمع سعات المكثفات الموصلة على التوازي. إحدى طرائق المساعدة تتمثّل في توضيح أنه عند وضع المكثفات على التوازي فإن مساحة الألواح تزداد؛ لذلك، يمكن تخزين مزيد من الشحنة لكل وحدة مساحة.
- وبالمثل، فإن السعة المكافئة للمكثفات الموصلة على التوالي تكون أصغر من سعة أصغر مكثف في المجموعة؛ لأن الجهد مشترك بين جميع المكثفات. فكّر في القانون الثاني لكيرشوف، إذ يعطي هذا لكل مكثف جهدًا أقل، وبالتالي فإن المكثف يخزّن شحنة أقل.

أنشطة تمهيدية

من المفيد إعادة ذكر القواعد المهمة حول الدوائر الكهربائية الموصلة على التوالي والدوائر الموصلة على التوازي قبل استخدام هذه القواعد لاشتقاق علاقات المكثفات الموصلة على التوالي وعلى التوازي.

فكرة (١٠ دقائق)

- اطلب إلى الطلبة أن يذكروا نصَّي قانوني كيرشوف الأول والثاني، ثم اطلب إليهم استخدامهما لاستنتاج معادلات دائرة كهربائية تحتوي على مقاومتَين موصلتَين على التوالي، ثم مقاومتَين موصلتَين على التوازي. لقد درس الطلبة هذا الموضوع في الوحدة السابقة، ولكن التدرّب على استخدام قوانين الدوائر الكهربائية هذه سيفيدهم أكثر.

أفكار للتقويم: يجب أن يعمل الطلبة على السبورات الفردية؛ بحيث يتمكّن المعلّم من متابعة عملهم بسهولة.

الأنشطة الرئيسية

١ مكثفات موصلة على التوالي وموصلة على التوازي (ساعة واحدة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات (لكل طالب أو مجموعة ثنائية): 8 أسلاك توصيل، بطارية (6 V)، أميتر (100 µA أو 1 mA)، مجموعة من المكثفات ذات سعات مختلفة (بما في ذلك مكثفات لها السعة نفسها).

- أعطِ الطلبة مجموعة من المكثفات بحيث يمكنهم استكشاف السعة المكافئة عندما تكون المكثفات موصلة على التوازي وموصلة على التوالي.
- برّر النتائج بعد التجريب العملي من خلال الإثبات النظري مع الطلبة.
- يمكن تقوية هذه العمل من خلال تنفيذ النشاط ٤-٣ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة.

› **فكرة للتقويم:** اسأل الطلبة عن النتائج التي توصلوا إليها، وعمّا إذا كانوا قد فوجئوا بالنتائج. إن الطريقة التي يتعامل بها الطلبة مع النشاط ٤-٣ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة ستعطي دليلًا على فهمهم للمادة.

٢ أسئلة كتاب الطالب (٣٠ - ٤٠ دقيقة)

- يجب أن يقوم الطلبة بحلّ الأسئلة ١١-٢٠ من كتاب الطالب.

› **فكرة للتقويم:** يمكن للطلبة تقويم إجاباتهم بأنفسهم باستخدام الحلول الواردة في هذا الدليل، أو تقويم أعمال بعضهم (تقويم الأقران)، أو قد يرغب المعلم أيضًا في العمل على تصحيح إجاباتهم؛ والتنوّع في هذه الأساليب الثلاثة هو الأكثر فاعلية.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدي

قد يُطلب إلى الطلبة الأكثر قدرة البحث عن كيفية تأثير العازل الكهربائي بين لوحَي المكثف على سعته، وقد يتحقق ذلك نظريًا أو من خلال استقصاء استخدام مواد مختلفة كعوازل كهربائية إذا كان يتوفر لديك مكثف نموذجي للاستخدام، كما يمكن صنع مكثف بسيط باستخدام شرائح من رقائق الألومنيوم كلوحَين للمكثف مع مواد عازلة مختلفة (بما في ذلك الهواء) بين اللوحَين.

الدعم

قد يخلط بعض الطلبة بين معادلات المكثفات الموصلة على التوالي والموصلة على التوازي مع معادلات المقاومات الموصلة على التوالي والموصلة على التوازي، وعلى الرغم من أن المعادلات متشابهة إلا أنه من المهم التأكيد على أنها العكس بالنسبة إلى المكثفات!

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- أعطِ الطلبة مجموعة من «ألغاز» الدوائر الكهربائية لحلها على السبورة محتوية على المكثفات الموصلة على التوالي والموصلة على التوازي، وتلك التي تجمع بين الاثنين، واطلب إليهم إيجاد كمّيات غير معروفة لتقويم مدى فهمهم لهذا الموضوع.

الموضوع ٤-٦: شحن المكثفات وتفريغها

الأهداف التعليمية

٤-٧ يحلّل التمثيلات البيانية لتغيّر كل من فرق الجهد الكهربائي والشحنة الكهربائية وشدة التيار الكهربائي مع الزمن لمكثف يُفرّغ عبر مقاومة ما.

٤-٨ يستخدم معادلة الثابت الزمني لمكثف يُفرّغ عبر مقاومة ما $\tau = RC$.

٤-٩ يستخدم معادلات بالصيغة $x = x_0e^{-(t/RC)}$ حيث يمكن أن تمثّل x شدة التيار الكهربائي أو الشحنة الكهربائية أو فرق الجهد الكهربائي لمكثف يُفرّغ عبر مقاومة ما.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذا الموضوع ٥ حصص دراسية (٣ ساعات و ٢٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٤-٦ شحن المكثفات وتفريغها	• المثال ٤ • الأسئلة من ٢٠ إلى ٢٤
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٤-٤ تفريغ المكثفات الاستقصاء العملي ٤-١: تحديد سعة مكثف في دائرة تيار كهربائي مستمر	• يوفر النشاط ٤-٤ تدريبًا على استخدام الدالة الأسّية في المعادلة التي توضح كيف تضمحل شدة التيار الكهربائي وفرق الجهد الكهربائي والشحنة الكهربائية بمرور الزمن، وكذلك تدرّب على دراسة التمثيلات البيانية الخاصة بتفريغ مكثف من خلال مقاومة.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- سيشعر العديد من الطلبة ذوي القدرات المختلفة بالحيرة حول كيف يمكن أن يكون حاصل ضرب السعة والمقاومة زمنًا. يمكنك تقريب الفكرة للطلبة من خلال توجيههم للتفكير في وحدتَيهما، فأثبت أنه عند تفكيك حاصل ضرب وحدتَيهما إلى وحدات أساسية، حاصل ضربها يساوي وحدة الثانية.

أنشطة تمهيدية

يقدم هذا الموضوع الاضمحلال الأُسّي، وقد تعرّف العديد من الطلبة عليه عند التعامل مع الاهتزازات المخمدة في الصف الحادي عشر، وهو يعطي فرصة ممتازة لتطوير فهم الطلبة لهذه الدالة الرياضية.

نقترح عليك فكرتَين كتمهيد لهذا الموضوع؛ وسيعتمد اختيارك على الموارد المتوفرة، وعلى الزمن المتاح، وعلى كيفية تقدم الطلبة في هذا الموضوع.

فكرة أ (١٥ – ٢٠ دقيقة)

إرشادات عملية: الأدوات: بطارية (9 V)، أميتر (100 μA أو 1 mA)، ما يقارب 7 أسلاك توصيل، مكثف (1000 μF)، مقاومة (10 kΩ)، فولتميتر (0–10 V)، مفتاح، 8 أسلاك توصيل.

يجب أن يكون للڤولتميتر مقاومة عالية (10 kΩ) وإلّا سيكون للدائرة ثابت زمني يكون معه الاضمحلال سريعًا جدًا وتصعب دراسته.

الثابت الزمني لقيم المكوّنات الموصى بها هو (10 s) على افتراض أن للڤولتميتر مقاومة أكبر بكثير من (10 kΩ)، وينخفض هذا الثابت إلى (5 s) إذا كان للڤولتميتر مقاومة تساوي (10 kΩ)، يصغر كلما انخفضت مقاومة الڤولتميتر.

- صِل مكثفًا ومفتاحًا ومقاومة على التوالي في دائرة كهربائية، ثم صِل الڤولتميتر عبر المقاومة. اشحن المكثف وأغلق المفتاح، واطلب إلى الطلبة مشاهدة الڤولتميتر بعناية. كرّر ذلك عدة مرات حتى يتمكن الطلبة من المشاركة بشكل كامل فيما يحدث.

› **أفكار للتقويم:** اطلب إلى الطلبة كتابة ملاحظاتهم، ثم اطلب إليهم قراءة النتائج التي توصلوا إليها ومناقشتها مع بقية طلبة الصف.

النقطة المهمة هي أن القراءة تبدأ الهبوط بسرعة، ثم تنخفض بسرعة أقل مع مرور الزمن، فاطلب إلى الطلبة شرح سبب انخفاض القراءة، إذ يحتاجون إلى إدراك أن فرق الجهد بين لوحَي المكثف يدفع التيار (تدفق الشحنة) عبر المقاومة، ولكن مع تدفق مزيد من الشحنات من المكثف، يتناقص فرق الجهد، وبالتالي تنخفض شدة التيار الكهربائي أيضًا، كما يقل معدّل انخفاض شدة التيار.

فكرة ب (١٥ – ٢٠ دقيقة)

- هناك العديد من برامج المحاكاة الجيدة لشحن المكثفات وتفريغها على شبكة الإنترنت، مثل تلك التي يقدمها موقع (PhET). فاختر محاكاة مناسبة تبيّن بوضوح أن الشحنة على المكثف وتيار التفريغ ينخفضان بسرعة في البداية، ويصبح انخفاضهما بعد ذلك أبطأ ثم أبطأ تدريجيًا. اسمح للطلبة بتجربة المحاكاة لبضع دقائق، واطلب إليهم كتابة أي استنتاجات يمكن أن يتوصلوا إليها من المحاكاة.

› **أفكار للتقويم:** اطلب إلى الطلبة أن يقرأوا ما كتبوه ويناقشوه مع بقية طلبة الصف، وتأكّد من أن الجميع لديه فكرة واضحة عما يحدث في التفريغ.

الأنشطة الرئيسية

١ استقصاء تفريغ مكثف (٣٠–٤٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** الأدوات: بطارية (9 V)، أميتر (100 μA أو 1 mA)، مكثف (1000 μF)، مقاومة (10 kΩ)، ڤولتميتر (0–10 V)، مفتاح، 10 أسلاك توصيل تقريبًا.

تحتاج لاستقصاء الثابت الزمني إلى مجموعة من المقاومات من (5 kΩ) إلى (20 kΩ) ومجموعة من المكثفات من (100 μF) إلى (5000 μF).

- هذا تكرار للنشاط التمهيدي ١، ولكن هذه المرة تؤخذ قياسات كمية. اشحن مكثفًا، وعندما يتم تفريغه سجّل أقصى قراءة للڤولتميتر، ثم حاول أخذ قراءة كل 3 ثوانٍ حتى تقترب القراءة من الصفر.
- يمكن للطلبة رسم تمثيل بياني لقراءة الڤولتميتر مع الزمن، وعند تحليلهم للتمثيل البياني، فإنه يجب عليهم إيجاد أن النسبة بين القياسات المتتالية لفرق الجهد الكهربائي تعطي قيمة ثابتة، وهذا مشترك لجميع الاضمحلالات الأُسّية، وربما لا يكون هذا واضحًا بنسبة 100% بسبب عدم الدقة في القياس.
- يمكنك تقديم المعادلة الأُسّية العامة $x = x_0 e^{-\frac{t}{RC}}$ ، حيث $\tau = RC$ وهو ثابت يعرف باسم الثابت الزمني.

- يمكن الآن استقصاء ما يحدّده τ بواسطة التعويض بـ:
  - سعات مكثفات مختلفة.
  - مقاومات مختلفة*.
- قياس الزمن اللازم لكي تصبح قيمة فرق الجهد الكهربائي نصف قيمتها الابتدائية لكل تجميع من المكثفات والمقاومات وبالتالي الحصول على الثابت الزمني $\tau = RC$. تأكد من توضيح أن الثابت الزمني هو مفهوم مشابه «لفترة عمر النصف» لكنه عبارة عن الزمن اللازم لكي تصبح قيمة فرق الجهد الكهربائي 37% من قيمتها الابتدائية.

(*ملاحظة: المقاومة الكلية تساوي $\left(\frac{1}{R_r} + \frac{1}{R_v}\right)^{-1}$، حيث ($R_r$) مقدار المقاومة و ($R_v$) مقاومة الڤولتميتر).

› **فكرة للتقويم:** يجب على الطلبة استخدام التمثيلات البيانية الخاصة بهم لتحديد الثوابت الزمنية للدوائر الكهربائية (من خلال قراءة زمن وصول فرق الجهد الكهربائي إلى 37% من قيمته الابتدائية). يمكن بعد ذلك استخدام القيم الثابتة للزمن مع مقاومة معيّنة أو قيمة سعة لحساب قيمة غير معروفة (إما مقاومة المقاوم في الدائرة أو سعة المكثف). ويمكن للطلبة بعد ذلك التحقق من القيم التي حسبوها مع القيم الموجودة لدى المعلم.

٢ تحديد طبيعة تفريغ المكثفات (٤٠–٥٠ دقيقة)

- جهّز بعض التمثيلات البيانية لتيار التفريغ للمكثفات مقابل الزمن، ثم دوّن قيمة سعة المكثف (C) وقيمة المقاومة (R) على كل تمثيل بياني.
- في البداية أعطِ الطلبة تمثيلًا بيانيًا واحدًا فقط، واطلب إليهم كتابة أي أنماط يمكنهم رؤيتها. ناقش التعليقات المختلفة التي كتبها كل طالب، ثم قدّم المعادلة الأُسّية العامة $x = x_0 e^{-\frac{t}{RC}}$ التي يمكن أن تقود إلى فكرة عمر النصف. ستعمل المناقشة على تأكيد أهمية الثابت الزمني.
- الآن أعطِ الطلبة مجموعة مختارة من التمثيلات البيانية بتجميعات مختلفة من قيم C و R، واطلب إليهم اكتشاف أي أنماط يلاحظونها. قد تقود الأسئلة المخطط لها بعناية إلى فكرة أن الثابت الزمني يعتمد على حاصل ضرب C و R.

› **فكرة للتقويم:** اطلب إلى الطلبة أن يشرحوا بإيجاز: لماذا يكون الاضمحلال أبطأ عندما تكون المقاومة أكبر؟ ولماذا يكون أبطأ عندما تكون السعة أكبر أيضًا؟ ستبيّن الإجابات عن هذه الأسئلة مدى فهم الطلبة للعمليات التي تحدث.

يمكن للطلبة حلّ الأسئلة من ٢١ إلى ٢٤ الواردة في كتاب الطالب لتقوية الأفكار والتحقّق من فهمهم للموضوع.

٣ الاستقصاء العملي ٤–١: تحديد سعة مكثف في دائرة تيار كهربائي مستمر (ساعة واحدة)

سيستغرق الاستقصاء العملي وحل أسئلة التحليل والتقييم ٦٠ دقيقة.

التحضير للاستقصاء

- انظر التفاصيل الواردة في كتاب التجارب العملية والأنشطة.
- أكّد للطلبة على أهمية معالجة المهارات العملية المذكورة لهذا الاستقصاء في كتاب التجارب العملية والأنشطة حتى يعرفوا المهارات التي يطورونها.

- وجّه الطلبة للعودة إلى الملحق الموجود في آخر كتاب التجارب العملية والأنشطة، والذي يذكر العمل النظري المتعلق برسم وتحليل التمثيلات البيانية اللوغاريتمية. قد ترغب في شرح الدرس الوارد في الملحق قبل البدء بإجراء هذا الاستقصاء.

توجيهات حول الاستقصاء

- قد تضطر إلى مساعدة الطلبة في حساب عدم اليقين في اللوغاريتمات الطبيعية ورسم الخط الأسوأ ملاءمة.
- قد يجد الطلبة أيضًا صعوبة في تحديد (I_0) من نقطة التقاطع مع المحور (y).
- قد تضطر إلى مساعدة الطلبة في التحليل الرياضي، وقد تكون هناك صعوبات في التعامل مع الوحدات عند تحديد كل من (C) و (I_0).
- يمكن للطلبة الذين أنهوا الاستقصاء تكرار التجربة إما بمكثف ذي قيمة مختلفة (سعة مختلفة) أو بمقاومة ذات قيمة مختلفة.
- يمكن للطلبة أيضًا تحديد عدم اليقين في قيمة السعة بافتراض أن النسبة المئوية لعدم اليقين في المقاومة تساوي (±5%).
- وجّه الطلبة للعودة إلى ملحق كتاب التجارب العملية والأنشطة للاستعانه به في حلّ بعض الأسئلة.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- قد يستخدم بعض الطلبة اللوغاريتمات في جدول النتائج للأساس 10 بدلًا من اللوغاريتم الطبيعي.
- ستحتاج إلى مساعدة الطلبة في تسجيل ln I بالأرقام المعنوية الصحيحة.

أنموذج نتائج

R = 100 kΩ

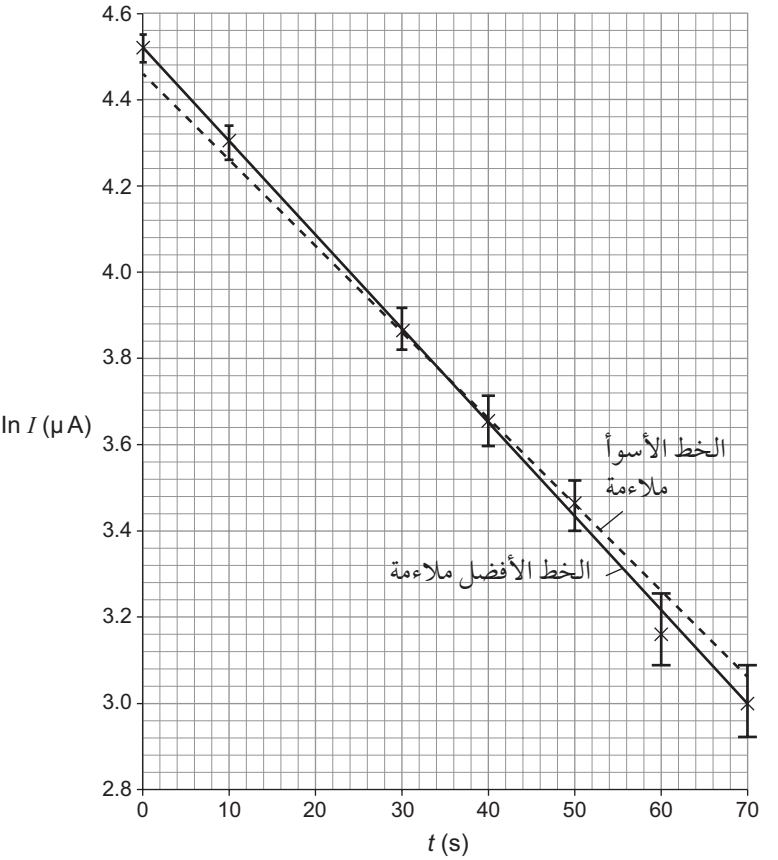
ln I (μA)	I (μA)	t (s)
4.50 ± 0.02	90 ± 2	0
4.30 ± 0.03	74 ± 2	10
4.06 ± 0.03	58 ± 2	20
3.87 ± 0.04	48 ± 2	30
3.64 ± 0.05	38 ± 2	40
3.47 ± 0.06	32 ± 2	50
3.18 ± 0.08	24 ± 2	60
3.00 ± 0.10	20 ± 2	70

الجدول ٤-١: أنموذج نتائج للاستقصاء العملي ٤-١.

إجابات أسئلة الاستقصاء العملي ٤-١ في كتاب التجارب العملية والأنشطة (باستخدام أنموذج النتائج)

أ. انظر الجدول ٤-١.

ب، هـ. انظر الشكل ٤-٤.



الشكل ٤-٤

ج. $\ln I = -\frac{t}{RC} + \ln I_0$

د. الميل $= -\frac{1}{RC}$

نقطة التقاطع $= \ln I_0$

و. ميل الخط الأفضل ملاءمة:

$$= \frac{3.00 - 4.52}{70 - 0} = -0.0217$$

ميل الخط الأسوأ ملاءمة:

$$= \frac{3.06 - 4.48}{70 - 0} = -0.0203$$

قيمة عدم اليقين في الميل:

$-0.0203 - (-0.0217) = \pm 0.001$ (برقم معنوي واحد)

ز. نقطة تقاطع الخط الأفضل ملاءمة مع المحور $(y) = 4.52$

نقطة تقاطع الخط الأسوأ ملاءمة مع المحور $(y) = 4.48$

قيمة عدم اليقين في نقطة التقاطع مع المحور (y):

$4.52 - 4.48 = \pm 0.04$ (برقم معنوي واحد)

ح. $C = 461\ \mu F$ ، $I_0 = 91.8\ \mu A$

ط. النسبة المئوية لعدم اليقين في C يمكن إيجادها من خلال النسبة المئوية لعدم اليقين في الميل:

$$\frac{0.001}{0.0217} \times 100\% = \pm 5\% \text{ (برقم معنوي واحد)} =$$

النسبة المئوية لعدم اليقين في I_0:

$$\frac{e^{4.52} - e^{4.48}}{91.8} \times 100\% = \pm 4\% \text{ (برقم معنوي واحد)} =$$

ي. يصعب قراءة التيار في الزمن الصحيح بالضبط، وهناك أيضًا عدم يقين في قيمة R التي يمكن قياسها مباشرة.

ك. إذا تمّت قراءة شدة التيار الكهربائي بعد انقضاء الزمن المحدد للقراءة، فستكون جميع قراءات شدة التيار أقل قليلًا. وهذا يعني أن الميل سيكون أقل، فإذا كان مقدار الميل أصغر، فستكون قيمة C أكبر.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

سيكون للطلبة الذين درسوا الدالة الأُسّية فعلًا في الرياضيات بداية جيدة، وسيكونون قادرين على التعامل بشكل جيد مع الجانب الرياضي في هذا الموضوع، وكذلك يمكنهم مساعدة أولئك الذين لديهم صعوبة في فهمها.

الدعم

يحتاج الطلبة الذين يجدون صعوبة في الرياضيات إلى وقت ومساعدة في فهم الدوال الأُسّية. ويمكن الاستعانة بالتمثيلات البيانية لكل من النمو الأُسّي (مثل كيفية حدوث التضخم المفرط أو النمو السكاني)، وكذلك الاضمحلال الأُسّي (مثل الانحلال الإشعاعي).

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها
• اطلب إلى الطلبة كتابة أي تغيّرات أُسّية أخرى وجدوها في الفيزياء وفي أي مجال آخر. • اطلب إليهم اقتراح العوامل التي تحدّد معدل الاضمحلال (أو معدل النمو) في كل حالة.

إجابات كتاب الطالب

العلوم ضمن سياقها

- إيجاد طريقة لتخزين الطاقة من توربينات الرياح والخلايا الشمسية، لاستخدامها لاحقًا عندما يكون الطلب على الطاقة أعلى، سيكون لها شأنٌ في تحسين كفاءة التخزين بشكل كبير وتقليل التكلفة، ومع هذا فإن البطاريات عالية الجودة توفر حاليًا حلًا أفضل من المكثفات.
- على الرغم من أن للبطاريات والمكثفات العديد من أوجه التشابه وتوفر وظيفة متشابهة، إلا أن هناك بعض الاختلافات الرئيسية بين البطاريات والمكثفات، فالبطاريات هي مخزن للطاقة الكيميائية، في حين أن المكثفات تخزّن طاقتها في المجال الكهربائي، وكذلك البطاريات يمكنها فعلًا تخزين كمية من الطاقة لكل وحدة كتلة أكبر من المكثفات. من ناحية أخرى تُفرّغ البطاريات طاقتها ببطء (اعتمادًا على التفاعلات الكيميائية التي تحدث)، في حين أن المكثفات تُشحن وتفرّغ شحنتها بسرعة.
- إن الشحن/التفريغ السريع قصير المدى للمكثفات يجعلها مناسبة تمامًا لنبضات الطاقة القصيرة المطلوبة في مسرعات الجسيمات، ولكنها ليست مفيدة بشكل خاص لتخزين الطاقة المتولّدة من مصادر الطاقة المتجدّدة.

إجابات أسئلة موضوعات الوحدة

١. بإعادة ترتيب معادلة السعة $C = \frac{Q}{V}$ للحصول على الشحنة المخزّنة:

$$Q = CV = 220 \times 10^{-6} \times 15$$

$$= 3300\ \mu C\ (3.3 \times 10^{-3}\ C)$$

٢. السعة:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{1.0 \times 10^{-3}}{500} = 2.0 \times 10^{-6}\ F$$

$$= 2.0\ \mu F = 2.0 \times 10^{6}\ pF$$

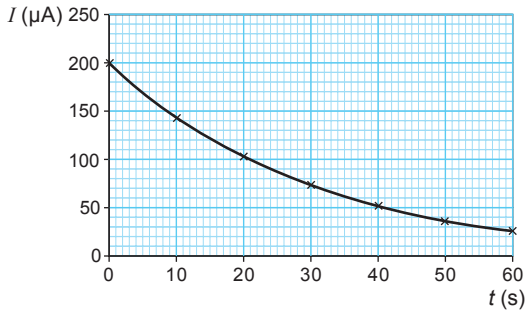
٣. شدة التيار $I = \frac{Q}{t}$ ، لذلك الشحنة $Q = It$،

عوّض في $C = \frac{Q}{V}$ للحصول على $C = \frac{It}{V}$

وبإعادة الترتيب ينتج:

$$I = \frac{CV}{t} = \frac{50 \times 10^{-6} \times 10}{0.01} = 0.05\ A = 50\ mA$$

٤.



الشحنة = المساحة الواقعة تحت المنحنى.

باستخدام طريقة تقدير حساب المربعات،

المساحة = 11 مربعًا، وأبعاد كل مربع يساوي

(50 μA × 10 s)

المساحة الكلية:

$$Q = 11 \times 50 \times 10^{-6} \times 10 = 5.5 \times 10^{-3}\ C$$

$$= 5.5\ mC$$

(اقبل 5.0 – 6.0 mC)

السعة:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{5.5 \times 10^{-3}}{8.5} \approx 6.5 \times 10^{-4}\ F\ (650\ \mu F)$$

(اقبل $5.9 \times 10^{-4} – 7.1 \times 10^{-4}$ F)

٥. الميل يمثل مقلوب السعة:

$$= \frac{\Delta V}{\Delta Q} = \frac{1}{C}$$

٦. أ. السعة:

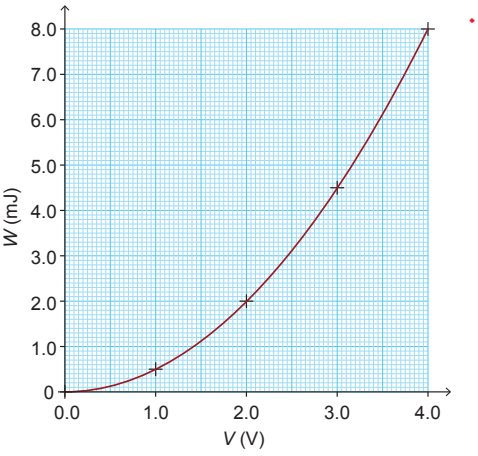
$$C = \frac{Q}{V} = \frac{1}{\text{الميل}}$$

$$= \frac{4.0 \times 10^{-3}}{4.0} = 1.0 \times 10^{-3}\ F = 1.0\ mF$$

ب.

Q (mC)	V (V)	مساحة العمود ΔW (mJ)	مجموع المساحات W (mJ)
1.0	1.0	0.5	0.5
2.0	2.0	1.5	2.0
3.0	3.0	2.5	4.5
4.0	4.0	3.5	8.0

ج.



الشكل: قطع مكافئ.

٧. أ. الطاقة المخزنة:

$$W = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-3} \times (5.0)^2$$

$$= 6.25 \times 10^{-2}\ \text{J} \approx 6.3 \times 10^{-2}\ \text{J}$$

ب. $W = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-9} \times (5.0)^2 \approx 6.3 \times 10^{-8}\ \text{J}$

ج. $W = \frac{1}{2} \times 0.2 \times 10^{-3} \times (230)^2 = 5.29\ \text{J} \approx 5.3\ \text{J}$

٨. الشحنة متماثلة على كلا المكثفَين،

$$Q = CV = 0.02\ \text{C}$$

الطاقة المخزّنة، $W = \frac{1}{2}CV^2$

للمكثف 100 μF:

$$W = \frac{1}{2} \times 100 \times 10^{-6} \times (200)^2 = 2\ \text{J}$$

للمكثف 200 μF:

$$W = \frac{1}{2} \times 200 \times 10^{-6} \times (100)^2 = 1\ \text{J}$$

المكثف الذي سعته 100 μF يخزن طاقة أكبر.

٩. الطاقة المخزنة:

$$W = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times 0.01 \times 12^2 = 0.72\ \text{J}$$

١٠. أ. الشحنة:

$$Q = CV = 0.20 \times 9.0 = 1.8\ \text{C}$$

الطاقة المخزنة:

$$W = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times 0.20 \times (9.0)^2 = 8.1\ \text{J}$$

ب. شدة التيار $= \frac{\text{الشحنة}}{\text{الزمن}}$

$$= \frac{1.8}{0.01} = 180\ \text{A}$$

١١. أ. $C_T = C_1 + C_2 = 100 + 100 = 200\ \mu\text{F}$

ب. الشحنة المخزّنة:

$$Q = CV = 200 \times 10^{-6} \times 20$$

$$= 4 \times 10^{-3}\ \text{C}\ (4000\ \mu\text{C})$$

١٢. مكثفان 20 μF ومكثف 10 μF توصل جميعها على التوازي، أو توصيل 5 مكثفات كل منها 10 μF على التوازي.

إجابة أخرى: توصيل 3 مكثفات سعاتها 10 μF ومكثف سعته 20 μF وتوصل جميعها على التوازي.

١٣. تُعطى السعة الكلية للمكثفات الموصلة على التوالي بالعلاقة:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{200} + \frac{1}{300} + \frac{1}{600}$$

$$= \frac{6}{600} = \frac{1}{100}$$

أي أن: $C_T = 100\ \mu\text{F}$

١٤. أ. $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{2}{C}$

أي أن: $C_T = 0.5\ \text{C}$

ب. $\frac{1}{C_T} = \frac{n}{C}$

أي أن: $C_T = \frac{C}{n}$

ج. $C_T = 2C$

د. $C_T = nC$

١٥. أ. موصلة على التوالي:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{1}{100}$$

$$C_T = \frac{100}{3} = 33\ \mu F$$

ب. موصلة على التوازي:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 100 + 100 + 100$$

$$= 300\ \mu F$$

ج. سعة المكثفَين الموصلَين على التوازي

$$= 200\ \mu F$$

لذلك،

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{100} + \frac{1}{200} = \frac{3}{200}$$

$$C_T = \frac{200}{3} \approx 67\ \mu F$$

د. سعة المكثفَين الموصلَين على التوالي تعطى بـ:

$$\frac{1}{C_{\text{توالي}}} = \frac{1}{100} + \frac{1}{100} = \frac{2}{100} = \frac{1}{50}$$

$$C_{\text{توالي}} = 50\ \mu F$$

لذلك،

$$C_T = C_{\text{توالي}} + 100 = 50 + 100 = 150\ \mu F$$

١٦. أ. الأربعة توصل على التوازي.

ب. الأربعة توصل على التوالي.

ج. يوصل اثنان على التوازي ويوصلان مع اثنين آخرَين بعد وصلهما على التوالي.

١٧. القيمة العظمى: توصل المكثفات الثلاثة على التوازي، $C_T = 900\ pF$

القيمة الصغرى: توصل المكثفات الثلاثة على التوالي، حيث:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{100} + \frac{1}{200} + \frac{1}{600} = \frac{1}{60}$$

$$C_T = 60\ pF$$

١٨. السعة الكلية للمكثفَين الموصلَين على التوازي:

$$C_T = 10 + 10 = 20\ \mu F$$

أي أن سعة الشبكة الكلية تُعطى بـ:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{10} = \frac{5}{20} = \frac{1}{4}$$

$$C_T = \frac{20}{5} = 4\ \mu F$$

١٩. أ.

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{120} + \frac{1}{120} + \frac{1}{120}$$

$$= \frac{3}{120} = \frac{1}{40}$$

$$C_T = 40\ \mu F$$

ب. الشحنة الكهربائية المخزّنة:

$$Q = CV = 40 \times 10^{-6} \times 10000 = 0.4\ C$$

ج. الطاقة الكلية المخزّنة:

$$W = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 40 \times 10^{-6} \times (10000)^2$$

$$= 2000\ J$$

٢٠. أ. السعة الكلية للمكثفَين الموصلَين على التوازي:

$$C_T = 20 + 5.0 = 25\ \mu F$$

ب. الشحنة المخزّنة في المكثف الأول عندما وصل بمصدر الطاقة:

$$Q = CV = 20 \times 10^{-6} \times 200$$

$$= 4 \times 10^{-3}\ C = 4000\ \mu C$$

ج. يعطى فرق الجهد عبر تجميع المكثفين بواسطة الشحنة المخزّنة (والتي أتت من المكثف الأول) والسعة الكلية للتجميع.

لذلك:

$$V_{\text{تجميع}} = \frac{Q}{C} = \frac{4 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-6}} = 160\ V$$

د. الطاقة المخزّنة بواسطة المكثف الأول:

$$W = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 20 \times 10^{-6} \times (200)^2 = 0.4\ J$$

الطاقة المخزّنة بواسطة التجميع:

$$W = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 25 \times 10^{-6} \times (160)^2 = 0.32\ J$$

الطاقة المبدّدة عند توصيل المكثفين:

$$= 0.4 - 0.32 = 0.08\ J\ (80\ mJ)$$

٢١. أ. ١. فرق الجهد الكهربائي = 12 V (وهو يساوي القوة الدافعة الكهربائية للبطارية).

٢. $Q = CV = 1000 \times 10^{-6} \times 12 = 12 \times 10^{-3}$ C

٣. $I = \frac{V}{R} = \frac{12}{2000} = 6 \times 10^{-3}$ A

ب. ينخفض مقدار الشحنة؛ لأنها تتدفق عبر المقاومة.

ج. ١. ينخفض فرق الجهد عبر المكثف، إذ يؤدي نقص الشحنة على المكثف إلى نقص فرق الجهد عبر المكثف.

٢. تنخفض شدة التيار في المقاومة، إذ يؤدي نقص فرق الجهد عبر المكثف إلى نقص شدة التيار.

٢٢. شدة التيار الكهربائي: $I = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$

عندما يكون الزمن الذي يستغرقه تفريغ المكثف $t = \tau$ وبالتعويض:

$$I = I_0 e^{-\frac{\tau}{RC}}$$

$$= I_0 e^{-1}$$

$$= \frac{I_0}{e} = I_0 \frac{1}{e}$$

٢٣. وحدة قياس المقاومة R هي الأوم $= \frac{\text{فولت}}{\text{أمبير}}$

وحدة سعة المكثف C هي الفاراد $= \frac{\text{كولوم}}{\text{فولت}}$

$$= \frac{(\text{أمبير} \times \text{ثانية})}{\text{فولت}}$$

تُشطب وحدة الأمبير وكذلك تُشطب وحدة الفولت فتبقى وحدة RC هي وحدة الثانية.

٢٤. أ. $Q = CV = 400 \times 10^{-6} \times 20 = 8 \times 10^{-3}$ C

ب. $\tau = RC = 600 \times 400 \times 10^{-6}$

$$= 24 \times 10^{-2} = 0.24 = 0.2 \text{ s}$$

ج. بالتعويض في $Q = Q_0 e^{\left(-\frac{t}{RC}\right)}$ لتعطي:

$$2.0 \times 10^{-3} = 8 \times 10^{-3} e^{\left(\frac{-t}{0.24}\right)}$$

بأخذ اللوغاريتم الطبيعي لكل من الجانبين:

$$\left(\ln \frac{2}{8}\right) = \left(\frac{-t}{0.24}\right)$$

$$\ln 0.25 = -1.39$$

لذلك فإن،

$$-t = -1.39 \times 0.24$$

$$t = 0.33 \text{ s}$$

د. فرق الجهد الابتدائي = 20 V

والشحنة المخزّنة = 8.0 mC

$$\frac{1}{4} \text{ الـ } 8.0 = 2.0 \text{ mC}$$

لذلك فإن، فرق الجهد عبر اللوحين:

$$= 20 \times \frac{1}{4} = 5 \text{ V}$$

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. أ (ب: حساب خاطئ للشحنة (باستخدام V^2)؛ ج و د: حساب خاطئ للسعة (باستخدام V وليس V^2).

٢. ب (كل من 1 و 4 يزيدان الثابت الزمني ($\tau = CR$)، يقود الثابت الزمني الأكبر إلى تطويل زمن الاضمحلال).

٣. $Q = CV = 470 \times 10^{-6} \times 9.0 = 4.2 \times 10^{-3}$ C

٤. $C = \frac{Q}{V} = \frac{0.033}{2200 \times 10^{-6}} = 15$ V

٥. $C = \frac{Q}{V} = \frac{2.0}{5000} = 4.0 \times 10^{-4} = 400$ μF

٦. $W = \frac{1}{2} CV^2 = 0.5 \times 470 \times 10^{-6} \times 12^2 = 0.034$ J

٧. $W = \frac{1}{2} QV = 0.5 \times 1.5 \times 10^{-3} \times 50 = 0.0375$ J

٨. أ. $W = \frac{1}{2} CV^2 = 0.5 \times 5000 \times 10^{-6} \times 24^2$

$= 1.44$ J

ب. عندما تنخفض شحنة المكثف إلى النصف؛ فإن فرق الجهد بين لوحيه ينخفض إلى النصف أيضًا.

لذلك فإن الطاقة المخزّنة:

$$= 0.5 \times 5000 \times 10^{-6} \times 12^2 = 0.36 \text{ J}$$

الطاقة المبدّدة في المصباح:

= 1.44 J − 0.36 J = 1.08 J

٩. أ. $W = \frac{1}{2} CV^2 = 0.5 \times 4700 \times 10^{-6} \times 12^2$

= 0.34 J

ب. $Q = CV = 4700 \times 10^{-6} \times 12 = 0.056$ C

ج. متوسط شدة التيار:

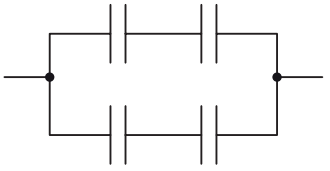
$I = \frac{Q}{t} = \frac{0.056}{2.5} = 0.023$ A

د. متوسط فرق الجهد = 6.0 V

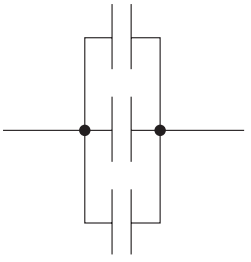
$R = \frac{V}{I} = \frac{6.0}{0.023} = 260\ \Omega$

هـ. لأن شدة التيار الكهربائي تعتمد على فرق الجهد وفرق الجهد بدوره ينخفض بمعدل غير منتظم.

١٠.

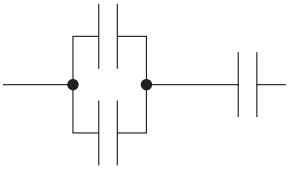


١١. المكثفات الثلاثة موصلة على التوازي، 300 μF

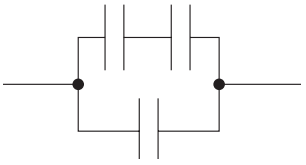


المكثفات الثلاثة موصلة على التوالي، 33 μF

مكثفان موصلان على التوازي والثالث موصل معهما على التوالي، 67 μF



مكثفان موصلان على التوالي والثالث موصل معهما على التوازي، 150 μF



١٢. أ. $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{100} + \frac{1}{200} + \frac{1}{600} = \frac{10}{600}$

لذلك، السعة المكافئة (الكلية):

$C_T = \frac{600}{10} = 60$ mF

الشحنة المخزّنة:

$= 1.5 \times 60 \times 10^{-3} = 90$ mC

$Q_1 = +90$ mC ، $Q_2 = -90$ mC

$Q_3 = +90$ mC ، $Q_4 = -90$ mC

$Q_5 = +90$ mC ، $Q_6 = -90$ mC

(لاحظ أن قيم الشحنة متساوية بين المكثفات لأنها موصلة على التوالي وطريقة شحن المكثف توضح نوع الشحنة على كل لوح).

ب. باستخدام $V = \frac{Q}{C}$ =

فرق الجهد = 0.90 V عبر المكثف 100 mF

وفرق الجهد 0.45 V عبر المكثف 200 mF

وفرق الجهد 0.15 V عبر المكثف 600 mF

(لاحظ أن قيم فرق الجهد مختلفة وهذا يدل على أن قيمة فرق الجهد في المكثفات الموصلة على التوالي تعتمد على سعة المكثف).

١٣. أ. تخزين الطاقة، تأخير الزمن، يقاوم زيادة شدة التيار الكهربائي، يقاوم حدوث الشرر، إلى غير ذلك.

ب. ١. $R = \frac{V}{I} = \frac{9.0}{15 \times 10^{-3}} = 600\ \Omega$

٢. ينخفض فرق الجهد عبر المكثف عندما تتدفق الشحنة منه، لذلك يقل فرق الجهد الذي يدفع التيار عبر المقاومة.

٣. يتم تقدير شحنة المكثف باستخدام المساحة الواقعة تحت المنحنى

$Q = 45 \pm 5$ mC

(±5 تمثل المدى المسموح به من إجابات الطلبة)

٤. $C = \frac{Q}{V} = \frac{45 \times 10^{-3}}{9.0} = 5.0 \times 10^{-3}$ μF

١٤. أ. سعة المكثف هي الشحنة المخزّنة لكل وحدة فرق جهد بين لوحَي المكثف.

ب. ١. $Q = CV = 67 \times 10^{-6} \times 12$

$= 804 \times 10^{-6} \approx 800$ μC

٢. تنخفض السعة إلى النصف.

تنخفض الشحنة المخزّنة إلى النصف.

تنخفض شدة التيار الكهربائي إلى النصف، في حين لا يتغيّر متوسط فرق الجهد.

١٥. أ. الثابت الزمني هو الزمن الذي تستغرقه الشحنة على المكثف لتهبط إلى $\frac{1}{e}$ من قيمتها الابتدائية.

ب. ١. $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{500} + \frac{1}{2000} = \frac{5}{2000}$

لذلك، السعة المكافئة (الكلية):

$= \frac{2000}{5} = 400$ μF

٢. $Q = CV = 400 \times 10^{-6} \times 50$

$= 20000$ μC $= 0.020$ C

٣. $Q = Q_0 e^{\left(-\frac{t}{RC}\right)}$ والتي تقود إلى:

$\frac{5}{100} = e^{\left(-\frac{t}{RC}\right)}$

و

$\ln 0.05 = (-3.0)$

$= \frac{t}{(400 \times 10^{-6} \times 250 \times 10^{3})} = \frac{t}{1.0}$

$t = 3.0$ s

إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة

إجابات أسئلة الأنشطة

نشاط ٤-١: الشحنة الكهربائية وفرق الجهد الكهربائي والسعة

١. أ. C : سعة المكثف (الوحدة فاراد، F).

Q : الشحنة الكهربائية (الوحدة كولوم، C).

V : فرق الجهد الكهربائي (الوحدة فولت، V).

ب. $1\ \text{F} = 1\ \text{C V}^{-1}$

ج. ١. 0.01 F

٢. $C = \frac{Q}{V}$

$Q = CV = 00.01 \times 1 = 0.01\ \text{C}$

٣. $C = \frac{Q}{V}$

$Q = CV = 0.01 \times 50 = 0.5\ \text{C}$

٢. أ. البادئة p ترمز إلى بيكو: $\text{pico} = 10^{-12}$

ب. ١. 2×10^{-5} F

٢. 1×10^{-2} F

٣. 2×10^{-11} F

٤. 5×10^{-9} F

٣. أ. تصبح شدة التيار صفرًا.

ب. $V_C = V$

$V_R = 0$

ج. $-Q$

د. Q

هـ. مجال كهربائي منتظم.

و. ١. 0

٢. V

ز. $I = \frac{V}{R}$

٤. أ. 6 V

ب. $C = \frac{Q}{V}$

$Q = CV = 10 \times 10^{-3} \times 6 = 0.06\ \text{C}$

ج. ١. 6 V

٢. $I = \frac{V}{R} = \frac{6}{1000} = 0.006\ \text{A}$

٣. متوسط الشحنة: $Q = It$

$= 0.006\ \text{C}$

الشحنة الكهربائية الجديدة المخزّنة:

$= 0.06 - 0.006 = 0.054\ \text{C}$

٤. $C = \frac{Q}{V}$

$V = \frac{Q}{C} = \frac{6}{10 \times 10^{-3}} = 600\ \text{V}$

٥. $I = \frac{V}{R} = \frac{5.4}{1000} = 0.0054\ \text{A}$

د. لأن فرق الجهد عبر المقاومة قد انخفض.

٥. أ. التمثيل البياني (ب)؛ لأن فرق الجهد يبدأ بالانخفاض بمجرد أن تترك الشحنة المكثف.

ب. سيفرغ بشكل أبطأ لأن شدة التيار ستكون أصغر، وبالتالي فإن الشحنة ستترك المكثف بشكل أبطأ.

نشاط ٤-٢: الطاقة المخزنة بواسطة مكثف مشحون

١. أ. الميل هو مقلوب السعة ويساوي $\frac{1}{\text{السعة}}$ أي $\frac{1}{C}$

ب. مساحة المثلث $= \frac{1}{2} \times$ القاعدة $\times$ الارتفاع

$= \frac{1}{2} \times 1.0 \times 2.0 = 1.0\ \text{mJ}$

ج. مساحة شبه منحرف $= \frac{1}{2} \times$ القاعدة $\times (h_1 + h_2)$

المساحة:

$= \frac{1}{2} \times 1.0 \times (2.0 + 4.0) = 3.0\ \text{mJ}$

(ثلاث مرات أكبر)

د. الشغل المبذول في إضافة الشحنة الثانية 1 mC (أو الشغل المبذول في زيادة فرق الجهد من 2 V إلى 4 V).

هـ. من الضروري بذل مزيد من الشغل لدفع الشحنة الثانية ضد تنافرها مع الشحنة الموجودة فعلًا على لوح المكثف.

و. الشغل المبذول = مساحة المثلث إلى 8.0 V

$= \frac{1}{2} \times$ القاعدة $\times$ الارتفاع

$= \frac{1}{2} \times 4.0 \times 8.0 = 16$ mJ

٢. أ. $C = \frac{Q}{V} = \frac{300 \times 10^{-6}}{6.0} = 5.0 \times 10^{-5}$ F

$W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} \times 300 \times 10^{-6} \times 6.0$

$= 9.0 \times 10^{-4}$ J

ب. $C = \frac{Q}{V}$، بالتالي: $Q = CV$

عوّض في المعادلة:

$W = \frac{1}{2} QV$ إلى $Q = CV$ للحصول على:

$W = \frac{1}{2} QV \times CV \times V = \frac{1}{2} CV^2$

ج. $W = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 20 \times 10^{-6} \times 240^2 = 0.58$ J

د. $W = \frac{1}{2} CV^2$

$C = \frac{2W}{V^2} = \frac{2 \times 200 \times 10^{-3}}{120^2} = 2.8 \times 10^{-5}$

أو 28 μF

نشاط ٤-٣: توصيل المكثفات على التوالي وعلى التوازي

١. أ. $C_T = C_1 + C_2 = 10 + 10 = 20$ pF

ب. $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{1}{5}$

$C_T = 5$ pF

ج. $C_T = C_1 + C_2 = nC$

$50 = n \times 10$

$n = \frac{50}{10} = 5$

د. $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5}$

$= \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{1}{2}$

$C_T = 2$ pF

هـ. $C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 10 + 50 + 200$

$= 260$ pF

و. $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{10} + \frac{1}{50} + \frac{1}{200} = \frac{1}{8}$

$C_T = 8$ pF

٢. أ. ١. السعة الكلية للمكثفين X و Y (الموصلين على التوازي):

$= 20 + 40 = 60$ μF

٢. المكثفان X و Y موصلان على التوالي مع المكثف Z:

$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{60} + \frac{1}{120} = \frac{1}{40}$

$C_T = 40$ μF

ب. السعة الكلية للمكثفين Y و Z (الموصلين على التوالي):

$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{40} + \frac{1}{120} = \frac{1}{30}$

$C_T = 30$ μF

المكثفان Y و Z موصلان على التوازي مع المكثف X:

$C_T = C_1 + C_2 = 30 + 20 = 50$ μF

٣. أ. فرق الجهد الكهربائي V؛ لأن كلًا منهما موصول مباشرة عبر مصدر فرق الجهد V.

ب. $Q = CV$

$Q_T = Q_1 + Q_2$

$= C_1 V_1 + C_2 V_2 = (C_1 + C_2)V$

(لأن $V_1 = V_2 = V$)

ج. $C_T = \frac{Q_T}{V} = \frac{(C_1 + C_2)V}{V} = C_1 + C_2$

د. الشحنة الكهربائية Q، لأن $-Q$ على C_1 يجب أن تكون مساوية بالمقدار لـ $+Q$ على C_2.

هـ. $V_1 + V_2 = V$

و. $V = \frac{Q}{C}$

$V = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} = \frac{Q}{C_T}$

$\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{C_T}$

($Q_1 = Q_2 = Q$ لأن)

٤. أ. على التوالي

ب. على التوازي

ج. على التوالي

د. على التوالي

هـ. على التوازي

نشاط ٤-٤: تفريغ المكثفات

١. أ. في البداية:

$I = \frac{V}{R} = \frac{6.0}{10000} = 6.0 \times 10^{-4}$ A

عند الزمن $t = 5.0$ ms:

$I = \frac{V}{R} = \frac{5.2}{10000} = 5.2 \times 10^{-4}$ A

متوسط شدة التيار:

$I = \frac{6.0 \times 10^{-4} + 5.2 \times 10^{-4}}{2} = 5.6 \times 10^{-4}$ A

ب. $Q = It$

$Q = 5.6 \times 10^{-4} \times 5.0 \times 10^{-3} = 2.8 \times 10^{-6}$ C

ج. $C = \frac{Q}{V} = \frac{2.8 \times 10^{-6}}{0.8} = 3.5 \times 10^{-6}$ F

د. $0.37 \times 6.0 = 2.2$ V

$\tau = 32$ ms (قراءة من التمثيل البياني)

هـ. بترتيب المعادلة $\tau = RC$ للحصول على C:

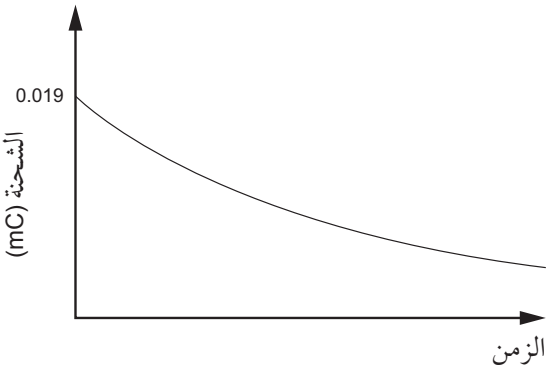
$C = \frac{\tau}{R} = \frac{32 \times 10^{-3}}{10000} = 3.2 \times 10^{-6}$ F

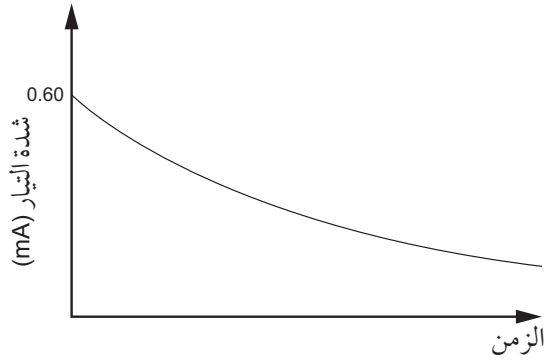
و. كِلا التمثيلَين البيانيَّين لهما الشكل نفسه كالتمثيل البياني المبيّن في الشكل ٤-٧ من كتاب التجارب العملية والأنشطة ولكن لهما تيار ابتدائي مقداره 6.0×10^{-4} A، وشحنة كهربائية ابتدائية مقدارها:

$Q_T = 6 \times 3.2 \times 10^{-6} = 1.92 \times 10^{-5}$ C

$= 0.0192$ mC

مثال:





٢. أ. $Q = CV = 2000 \times 10^{-6} \times 9.0 = 0.018$ C

ب. $I = \frac{V}{R} = \frac{9.0}{100 \times 10^3} = 9.0 \times 10^{-5}$ A

ج. $\tau = RC = 2000 \times 10^{-6} \times 100 \times 10^3 = 200$ s

د. $V = 37\% \times 9.0 = 3.3$ V

هـ. $I = \frac{V}{R} = \frac{3.3}{100 \times 10^3} = 3.3 \times 10^{-5}$ A

و. $Q = CV = 2000 \times 10^{-6} \times 3.3 = 0.0066$ C

٣. أ. $V = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} = 10 \times e^{-\frac{20}{100 \times 10^3 \times 400 \times 10^{-6}}}$

$= 6.1$ V

ب. $I = \frac{V}{R} = \frac{6.1}{100 \times 10^3} = 6.1 \times 10^{-5}$ A

ج. $V = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} = 10 \times e^{-\frac{60}{100 \times 10^3 \times 400 \times 10^{-6}}}$

$= 2.2$ V

د. $Q = CV = 400 \times 10^{-6} \times 2.2 = 8.9 \times 10^{-4}$ C

هـ. $V = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$

بأخذ لوغاريتمَي الطرفَين:

$$\ln V = \ln\left(V_0 e^{-\frac{t}{RC}}\right) = \ln V_0 + \ln e^{-\frac{t}{RC}}$$
$$= \ln V_0 - \frac{t}{RC}$$

لذلك:

$$t = \left(\ln \frac{V}{V_0}\right) \times RC$$
$$= \left(\ln \frac{10}{5.0}\right) \times 100 \times 10^3 \times 400 \times 10^{-6} = 28 \text{ s}$$

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

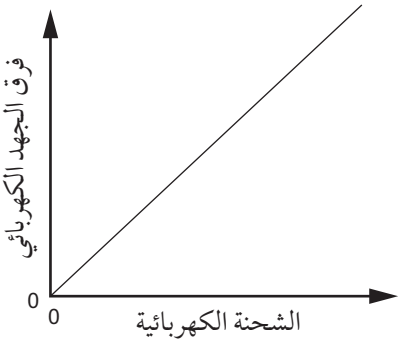
١. أ. سعة المكثف: الشحنة المخزّنة على لوحَي المكثف لكل وحدة فرق جهد بين اللوحين.

ب. ١. $I = \frac{V}{R} = \frac{240}{4000} = 0.06$ A

٢. $Q = CV = 200 \times 10^{-6} \times 240 = 0.048$ C

٣. $W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} \times 0.048 \times 240 = 5.8$ J

٤.



٢. أ. $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{500} + \frac{1}{800} = \frac{13}{4000}$

$C_T = 308 \times 10^{-6} = 310 \text{ μF} = 3.1 \times 10^2 \text{ μF}$

(برقمَين معنويَّين)

ب. كِلا المكثفَين لهما الشحنة نفسها.

$Q = CV = 310 \times 10^{-6} \times 200 = 0.062$ C

٣. أ. الطاقة المخزّنة الابتدائية:

$$E_1 = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 470 \times 10^{-6} \times 30^2$$
$$= 0.2115 \text{ J}$$

الطاقة المخزّنة النهائية:

$$E_2 = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 470 \times 10^{-6} \times 2.0^2$$
$$= 0.00094 \text{ J}$$

الطاقة المحرّرة:

$$E_1 - E_2 = 0.2115 - 0.00094 = 0.21 \text{ J}$$

(برقمَين معنويَّين)

ب. $V = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$

بأخذ لوغاريتمَي الطرفَين:

$$\ln V = \ln\left(V_0 e^{-\frac{t}{RC}}\right) = \ln V_0 + \ln e^{-\frac{t}{RC}}$$
$$= \ln V_0 - \frac{t}{RC}$$

لذلك:

$$t = \left(\ln \frac{V}{V_0}\right) \times RC$$
$$= \left(\ln \frac{30}{2.0}\right) \times 1.4 \times 470 \times 10^{-6} = 1.8 \times 10^{-3} \text{ s}$$

٤. أ. ١. الزمن المستغرق للشحنة الكهربائية الابتدائية على لوحَي المكثف (أو التيار الابتدائي أو فرق الجهد الابتدائي بين اللوحَين) لكي ينخفض إلى $\frac{1}{e}$ من قيمته الابتدائية.

٢. $\tau = RC = 2.7 \times 10^{-6} \times 820$

$= 2.2 \times 10^{-3}$ s

ب. تتدفق الشحنة الكهربائية من أحد لوحَي المكثف إلى الآخر عبر الكرة واللوح الفلزي، لذلك فإن انخفاض الشحنة يعني أن فرق الجهد عبر لوحَي المكثف قد انخفض. فلا تتدفق كل الشحنات في الزمن المتوفر؛ لأن التيار ليس كبيرًا بدرجة كافية أو أن الثابت الزمني صغير لدرجة كافية؛ وبالتالي تُترك بعض الشحنات على اللوحَين.

ج.

$$V = V_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

بأخذ لوغاريتمَي الطرفَين:

$$\ln V = \ln\left(V_0 e^{-\frac{t}{RC}}\right) = \ln V_0 + \ln e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$= \ln V_0 - \frac{t}{RC}$$

لذلك:

$$t = \left(\ln \frac{V}{V_0}\right) \times RC$$

$$= \left(\ln \frac{10}{5.0}\right) \times 820 \times 2.7 \times 10^{-6} = 1.5 \times 10^{-3}\ \text{s}$$

د. ١. المكثفان موصلان على التوالي:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{2.2} + \frac{1}{2.7} = 0.8249$$

$$C_T = 1.2\ \mu\text{F}$$

المكثفان موصلان على التوازي:

$$C_T = C_1 + C_2 = 2.2 + 2.7 = 4.9\ \mu\text{F}$$

٢. التوصيل على التوازي له ثابت زمني أطول؛ لذلك يستغرق زمن تلامس أطول خلال الاضمحلال.

الوحدة الخامسة

المغناطيسية والحث الكهرومغناطيسي

نظرة عامة

- تتناول هذه الوحدة مفهوم المجال المغناطيسي وأنماط المجال المغناطيسي الناتجة عن التيارات الكهربائية في الأسلاك المستقيمة والملفات الدائرية المسطحة والملفات الزنبركية (الحلزونية) الطويلة، والقوة المؤثرة على الموصل الحامل للتيار الكهربائي والمعادلة $F = BIL \sin\theta$ والقوة بين الأسلاك الحاملة للتيار الكهربائي.
- ثم تتابع الوحدة دراسة كيفية توليد قوة دافعة كهربائية مستحثة (emf) في الدائرة الكهربائية والعوامل التي تؤثر على مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة واتجاهها.
- يتم من خلال هذه الوحدة استنتاج فكرة الفيض المغناطيسي، وتناقش كذلك قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي وقانون لنز بالتفصيل.
- توفّر معادلات الفيض المغناطيسي الكلي وقانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي فرصًا للطلبة لممارسة المهارات الرياضية الجبرية وتقوية استيعاب مفهوم القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في الدائرة الكهربائية.
- تساعد مبادئ الحث الكهرومغناطيسي الطلبة على تطوير فهم التيار الكهربائي المتردد.
- يتوقع من الطالب خلال هذه الوحدة أن:

– يطبق مفهوم أن المجال المغناطيسي مثال على مجال القوة الناتج من: الشحنات الكهربائية المتحركة أو من المغناطيس الدائم.

– يمثّل المجالات المغناطيسية المتولّدة حول سلك مستقيم وملف دائري وملف حلزوني (ملف لولبي) بخطوط المجال المغناطيسي.

– يستخدم المعادلة $F = BIL \sin\theta$، ويحدد الاتجاهات باستخدام قاعدة فليمنج لليد اليسرى.

– يعرّف كثافة الفيض المغناطيسي على أنها القوة المؤثرة لكل وحدة تيار كهربائي لكل وحدة طول من سلك موضوع بزاوية قائمة مع المجال المغناطيسي.

– يصف ملاحظات التجارب الآتية ويشرحها:

- الفيض المغناطيسي المتغيّر يمكن أن يولّد قوة دافعة كهربائية مستحثة في دائرة كهربائية.
- القوة الدافعة الكهربائية المستحثة تكون في الاتجاه المعاكس للتغيّر الذي أنتجها.
- العوامل التي تؤثر على مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة (التأثيرية).

– يعرّف الفيض المغناطيسي على أنه حاصل ضرب كثافة الفيض المغناطيسي في مساحة المقطع العرضي العمودية على اتجاه كثافة الفيض المغناطيسي.

– يستخدم المعادلة $\Phi = \vec{B}\vec{A}$ ويحلّل $\vec{B}$ إلى مركّبتها العمودية باستخدام $\Phi = BA\cos\theta$.

- يصف مفهوم الفيض المغناطيسي الكلي ويستخدمه، بما في ذلك استخدام معادلة الفيض المغناطيسي الكليّ: $BAN\cos\theta$.
- يحلّل التيار الكهربائي المستحث باستخدام قاعدة فليمنج لليد اليمنى.
- يذكر نص قانون فاراداي ونص قانون لنز للحث الكهرومغناطيسي ويستخدم المعادلة $\varepsilon = -\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t}$.

• ثمّة فرص لتغطية جميع أهداف التقويم الثلاثة: AO1 (المعرفة والفهم)، AO2 (معالجة المعلومات وتطبيقها وتقييمها) و AO3 (المهارات والاستقصاءات التجريبية).

مخطط التدريس

أهداف الموضوع	الموضوع	عدد الحصص	المصادر في كتاب الطالب	المصادر في كتاب التجارب العملية والأنشطة
٥-١، ٥-٢	٥-١ توليد المجالات المغناطيسية وتمثيلها ٥-٢ القوة المغناطيسية	٣	الأسئلة من ١ إلى ٣ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ٥-١ خطوط المجال المغناطيسي أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٥-٣، ٥-٤	٥-٣ كثافة الفيض المغناطيسي ٥-٤ المزيد عن القوى على الموصلات الحاملة لتيار كهربائي	٥	الأسئلة من ٤ إلى ١٢ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ٥-٢ القوة المؤثرة على سلك يسري فيه تيار كهربائي الاستقصاء العملي ٥-١: قياس كثافة الفيض المغناطيسي أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٥-٥، ٥-٦، ٥-٧، ٥-٨	٥-٥ الحث الكهرومغناطيسي	٤	الأسئلة من ١٣ إلى ٢١ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ٥-٣ الفيض المغناطيسي وكثافة الفيض المغناطيسي والفيض المغناطيسي الكلي أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٥-٩، ٥-١٠	٥-٦ قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي ٥-٧ قانون لنز ٥-٨ تطبيقات الحث الكهرومغناطيسي	٦	الأسئلة من ٢٢ إلى ٣٢ أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع	نشاط ٥-٤ قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي وقانون لنز نشاط ٥-٥ المزيد حول قانون فاراداي الاستقصاء العملي ٥-٢: التخطيط لرفع حلقة فلزية فوق ملف حامل لتيار كهربائي أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع

الموضوعان ٥-١: توليد المجالات المغناطيسية وتمثيلها و ٥-٢: القوة المغناطيسية

الأهداف التعليمية

٥-١ يطبق مفهوم أن المجال المغناطيسي مثال على مجال القوة الناتج من: الشحنات الكهربائية المتحركة أو من المغناطيس الدائم.

٥-٢ يمثل المجالات المغناطيسية المتولدة حول سلك مستقيم وملف دائري وملف حلزوني (ملف لولبي) بخطوط المجال المغناطيسي.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذَين الموضوعَين ٣ حصص دراسية (ساعتان).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٥-١ توليد المجالات المغناطيسية وتمثيلها ٥-٢ القوة المغناطيسية	• الأسئلة من ١ إلى ٣
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٥-١ خطوط المجال المغناطيسي	• يتيح هذه النشاط التدرب على رسم خطوط المجال المغناطيسي وتفسيرها.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- ربما يكون الطلبة قد تعلّموا طرائق مختلفة لتطبيق قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه المجال المنغاطيسي حول ملف حلزوني أو حول سلك مستقيم. يصف كتاب الطالب هاتَين القاعدتَين، ولكن قد يستخدم الطلبة واحدة منهما فقط. كما أن الطلبة قد يستخدمون اليد الخطأ أيضًا عند إيجاد اتجاه القوة المؤثرة على سلك يحمل تيارًا كهربائيًا.

أنشطة تمهيدية

سيشاهد الطلبة مجموعة من العروض العملية التوضيحية أو مقاطع الڤيديو أو نماذج محاكاة لأنماط المجال المغناطيسي وقاعدة اليد اليسرى لفليمنج.

نقترح عليك ثلاث أفكار كتمهيد لهذَين الموضوعَين؛ وسيعتمد اختيارك على الموارد المتوفرة، وعلى الزمن المتاح، وعلى كيفية تقدم الطلبة في هذَين الموضوعَين.

فكرة أ (٢٠ دقيقة)

- قدّم عددًا من العروض التوضيحية البسيطة، والتي يمكن للطلبة أن يؤدوها بأنفسهم أو يمكنك عرضها لهم. على سبيل المثال:
  - استخدم مغانط دائمة ومغانط كهربائية لجذب الأجسام الفرّومغناطيسية (الحديدية)، ثم بيّن أن شدة المغناطيس الكهربائي تعتمد على شدة التيار الكهربائي الذي يمر عبره.
  - بيّن كيف يمكن استخدام «بوصلات التخطيط» الصغيرة وبرادة الحديد لإظهار شكل واتجاه خطوط المجال المغناطيسي.
  - بيّن أن الموصل الحامل لتيار كهربائي ينشئ مجالًا مغناطيسيًا حوله.
  - بيّن أن القوة المؤثرة على الموصل الحامل لتيار كهربائي تُعرَف بـ «تأثير المحرّك».
- يمكن الحصول على مقاطع ڤيديو أو محاكاة لهذه العروض التوضيحية عبر الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) إذا لم تكن الأدوات متوفرة.

› **فكرة للتقويم:** اطلب إلى الطلبة قبل العروض التوضيحية رسم المجالات المغناطيسية لسلك طويل مستقيم وملف دائري مسطح وملف حلزوني طويل. يمكنهم بعد ذلك تصحيح ما رسموه بعد العروض التوضيحية. ستكون قادرًا على معرفة ما يتذكرونه من معلومات درسوها في السنوات السابقة، فاطلب إليهم تضمين اتجاه المجال المغناطيسي في خطوط المجال المغناطيسي التي يرسمونها.

فكرة ب (١٥ دقيقة)

- اعرض للطلبة محاكاة عن المجال المغناطيسي للأرض والمغناطيس الكهربائي. ابحث في الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) عن عبارة البحث 'simulation of magnets and electromagnets'، ثم اطلب إلى الطلبة في مجموعات أن يصفوا كل ما يتذكرونه عن المجالات المغناطيسية، بحيث يمكنهم رسم مخططاتها ذات العلاقة، كما يمكنك تحديهم لاستنتاج قاعدة تحدّد كيف يرتبط اتجاه المجال المغناطيسي في الملف باتجاه التيار الكهربائي في الدائرة الكهربائية.

› **فكرة للتقويم:** ستتمكن من خلال تعليقات الطلبة معرفة أهمية المراجعة المطلوبة للأفكار البسيطة، مثل أشكال المجالات المغناطيسية والقواعد المختلفة لإيجاد اتجاهات المجالات والقوى.

فكرة ج (٥ دقائق)

- ضع سلكًا بين مغناطيسَين، ومرّر تيارًا كهربائيًا عبر السلك، ثم اطلب إلى الطلبة أن يصفوا التأثير الذي يحدث، خصوصًا عندما يتغيّر مقدار شدة التيار الكهربائي والزاوية بين السلك والمجال المغناطيسي. يمكن الحصول على مقاطع فيديو عن قاعدة اليد اليسرى لفليمنج عبر الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت).

› **فكرة للتقويم:** يمكنك معرفة ما إذا كان الطلبة قد تذكروا هذه القاعدة من دراستهم السابقة في الصف العاشر، كما يمكنك التحقّق من أنه يمكنهم تطبيق القاعدة من خلال الطلب إليهم أن يرسموا بعض أنماط المجالات ليطبّقوا فيها القاعدة.

الأنشطة الرئيسية

الهدف الرئيسي هو أن يختبر الطلبة بأنفسهم تأثيرات المجال المغناطيسي ورسم أنماط مجالات مغناطيسية أكثر تعقيدًا.

١ تجربة المجال المغناطيسي البسيط (٤٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** يمكن للطلبة استخدام ملف صغير ملفوف حول جسم حديدي، مثل مسمار حديدي لالتقاط مشابك ورق، كما يمكنهم استخدام عدد مشابك الورق الملتقطة (أو كتلتها) كمقياس لشدة المجال المغناطيسي.

- يخطط الطلبة لاستقصاء سلوك الملف الحامل لتيار كهربائي، ويختبرون شدة المجال المغناطيسي مع قلب حديدي أو بدونه لمقادير مختلفة من التيارات الكهربائية.

› **فكرة للتقويم:** يمكن للطلبة اقتراح المتغيّرات التابعة والمستقلة والضابطة، فهُم يتمكنون من المهارات العملية المناسبة عن طريق التكرار وإيجاد قيمة عدم اليقين واستخدام أشرطة الخطأ في التمثيلات البيانية الخاصة بهم. يمكنك أيضًا تقويمهم بناءً على قدرتهم على التخطيط ووضع طرائق منطقية وذكر احتياطات الأمان والسلامة، وقد يتوسّع هذا النشاط إلى استقصاء بسيط للعوامل التي تؤثر على شدة المغناطيس الكهربائي.

٢ القوة بين الأسلاك الحاملة لتيار كهربائي (٣٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** قد يكون من الممكن توضيح شكل المجال المغناطيسي بين سلكَين يحمل كل منهما تيارًا كهربائيًا مع وجود برادة حديد أو بوصلة، ويمكن عوضًا عن ذلك عرض مقطع فيديو أو محاكاة.

- اطلب إلى الطلبة رسم نمط المجال المغناطيسي المشترك لمجال مغناطيسي منتظم يعمل زاوية قائمة مع المجال المغناطيسي لسلك يحمل تيارًا كهربائيًا، واستخدم النمط المشترك وفكرة تأثير المنجنيق (الفكرة أن خطوط

المجال تكون أكثر كثافة على جهة من السلك من الجهة الأخرى وبالتالي ينتج عن ذلك قوة محصلة) لشرح قاعدة اليد اليسرى.

- يقترح الطلبة كيف يبدو نمط المجال المغناطيسي في مستوى يشكّل زاوية قائمة مع سلكَين كل منهما يحمل تيارًا كهربائيًا في:

١. الاتجاه نفسه.

٢. اتجاهَين متعاكسَين.

- يمكن للطلبة استخدام قاعدة اليد اليسرى لشرح القوة بين السلكَين.

› **فكرة للتقويم:** يجب أن تكون قادرًا في هذه المرحلة على معرفة ما إذا كان بإمكان الطلبة تطبيق قاعدة اليد اليسرى بشكل صحيح. هل يمكنهم استخدام القاعدة أيضًا لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم؟

٣ أسئلة كتاب الطالب وأسئلة كتاب التجارب العملية والأنشطة (٤٠ دقيقة)

- توفر الأسئلة من ١ إلى ٣ في الموضوعَين ٥-١ و ٥-٢ الواردَين في كتاب الطالب فرصة ممتازة لترسيخ المعرفة السابقة وتحديد أي ثغرات أو سوء فهم في معرفة الطلبة، ويقدم النشاط ٥-١ من كتاب التجارب العملية والأنشطة ممارسة عملية لاستخدام قاعدة اليد اليمنى وتحديد خصائص المجالات المغناطيسية الأكثر تعقيدًا.

› **فكرة للتقويم:** يمكن للطلبة تقويم إجاباتهم باستخدام الحلول الواردة في هذا الدليل أو تقويم أعمال بعضهم البعض. قد يرغب المعلم أيضًا في العمل على تصحيح إجاباتهم؛ لكن التنوّع في هذه الأساليب الثلاثة يبقى الأكثر فاعلية.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

يمكن للطلبة الذين يحتاجون إلى مزيد من التحدي أن يبحثوا في أوجه التشابه والاختلاف الأخرى بين المجالات المغناطيسية والمجالات الكهربائية ومجالات الجاذبية. على سبيل المثال، مجال الجاذبية دائمًا يوفر قوى تجاذب، في حين يمكن أن توفر المجالات المغناطيسية قوى تنافر بين التيارات الكهربائية. يمكن لمثل هؤلاء الطلبة استقصاء استخدامات المجالات المغناطيسية في أجهزة مثل جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي أو قطارات الرفع المغناطيسي.

الدعم

قد يحتاج الطلبة الذين يجدون صعوبة في تنفيذ التجربة إلى تذكيرهم بالمهارات العملية والتجريبية الموجودة في الوحدة الأولى من الصف الحادي عشر في كتاب الطالب.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- وجّه الطلبة إلى استخدام رموز وعبارات مختصرة لتذكر قاعدة اليد اليمنى وقاعدة اليد اليسرى عند التعامل مع المجالات المغناطيسية. هل يمكنهم التفكير في طريقة بسيطة لتذكر ذلك بشكل صحيح؟
- وجّه الطلبة إلى استخدام طرائق مختصرة لتحديد شكل نمط المجال المغناطيسي المعقّد، على سبيل المثال المجال المغناطيسي بين سلكَين يحمل كل منهما تيارًا كهربائيًا بالاتجاه نفسه. ما الحقائق البسيطة التي يجب أن يتذكروها؟ قل لهم أن يلخصوا أفكارهم، ثم قارن ما أنجزوه مع طلبة آخرين.

الموضوعان ٥-٣: كثافة الفيض المغناطيسي و ٥-٤: تقاطع التيارات الكهربائية مع المجالات المغناطيسية

الأهداف التعليمية

٥-٣ يستخدم المعادلة $F = BIL \sin \theta$، ويحدد الاتجاهات باستخدام قاعدة فليمنج لليد اليسرى.

٥-٤ يعرّف كثافة الفيض المغناطيسي على أنها القوة المؤثرة لكل وحدة تيار كهربائي لكل وحدة طول من سلك موضوع بزاوية قائمة على المجال المغناطيسي.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذين الموضوعَين ٥ حصص دراسية (٣ ساعات و٢٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٥-٣ كثافة الفيض المغناطيسي ٥-٤ المزيد عن القوى على الموصلات الحاملة لتيار كهربائي	• المثال ١ • الأسئلة من ٤ إلى ١٢
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٥-٢ القوة المؤثرة على سلك يسري فيه تيار كهربائي الاستقصاء العملي ٥-١: قياس كثافة الفيض المغناطيسي	• يدرّب هذا النشاط على حساب القوى المغناطيسية التي يؤثر بها مجال مغناطيسي على سلك يمر به تيار كهربائي وتحديد اتجاهاتها.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- قد يأخذ الطلبة الزاوية θ في $F = BIL \sin\theta$ كزاوية بين العمودي على السلك والمجال المغناطيسي أو يستخدمون $\cos\theta$ بدلًا من ذلك.

أنشطة تمهيدية

سيأخذ الطلبة بالاعتبار كيفية قياس شدة المجال المغناطيسي مقارنة بأنواع المجالات الأخرى، وسينفّذون تجارب أو يخططون لها.

نقترح عليك فكرتَين كتمهيد لهذين الموضوعَين؛ وسيعتمد اختيارك على الموارد المتوفرة، وعلى الزمن المتاح، وعلى كيفية تقدم الطلبة في هذَين الموضوعَين.

فكرة أ (٥ دقائق)

- بيّن أن سلكَين يحمل كل منهما تيارًا كهربائيًا بالاتجاه نفسه يتجاذبان، وأن سلكَين يحمل كل منهما تيارًا كهربائيًا باتجاهَين متعاكسَين يتنافران. يمكن تنفيذ ذلك باستخدام قطع من رقائق ألمنيوم طويلة كأسلاك تحمل تيارًا، فاطلب إلى الطلبة اقتراح سبب حدوث ذلك.

› **أفكار للتقويم:** قد تقود المناقشة إلى رسم الطلبة للمجال المغناطيسي حول سلك ما، وسيرون أن رقاقتين (سلكين) حاملَين لتيار كهربائي يتأثران بقوة. ستكون قادرًا على معرفة ما إذا كان الطلبة قد تذكّروا أشكال المجالات وقاعدة اليد اليسرى.

فكرة ب (١٠–٢٠ دقيقة)

- ذكّر الطلبة بتعريفات المجالات الكهربائية $E = \frac{F}{Q}$ ومجالات الجاذبية $g = \frac{F}{m}$، حيث يُعرّف المجال بدلالة القوة المؤثرة على كتلة أو على شحنة ثابتة، واطلب إليهم اقتراح العوامل التي تؤثر على القوة المؤثرة على سلك يحمل تيارًا كهربائيًا، ثم وضّح أنه كلما كان السلك أطول، أو التيار الكهربائي أشدّ، أو المغناطيس أقوى؛ كانت القوة أكبر. يمكن للطلبة اقتراح تعريف مناسب «للشدة» المغناطيسية والتي تسمى كثافة الفيض المغناطيسي (B).

› **فكرة للتقويم:** يمكنك تحديد ما إذا كان الطلبة قد تذكروا تعريف شدة المجال الكهربائي وشدة مجال الجاذبية.

الأنشطة الرئيسية

الهدف الرئيسي هو أن يفهم الطلبة تعريف كثافة الفيض المغناطيسي واستخدام المعادلة التي تعبّر عنه، فهناك عدة تجارب ممكنة توفر ممارسة في قياس شدة المجالات المغناطيسية وتطبيقها.

١ حسابات باستخدام المعادلة $F = BIL\sin\theta$ (٤٠ دقيقة – ساعة)

- يمكن للطلبة الإجابة عن الأسئلة ذات الطبيعة الكمية باستخدام المعادلة $F = BIL\sin\theta$ لحساب القوى المؤثرة على الموصلات الحاملة لتيار كهربائي أو على كثافة الفيض المغناطيسي، فاستخدم المعادلة لتثبت أن وحدة (B) يجب أن تكون $\frac{N}{A\,m}$، كما يمكن للطلبة تحديد الوحدات الأساسية لوحدة التسلا (T).
- يجب حل الأسئلة ٥–١٢ من كتاب الطالب أو النشاط ٥–٢ في كتاب التجارب العملية والأنشطة.

› **فكرة للتقويم:** يجب أن تلاحظ من خلال إجابات الطلبة ما إذا كانوا قد فهموا المعادلة، ثم وظّف الأسئلة التي يكون فيها السلك موضوعًا بزاوية غير قائمة مع المجال المغناطيسي.

سؤال مفصلي: يمر تيار كهربائي عبر سلك كتلته لكل وحدة طول ($10\ g\ m^{-1}$) موضوع بزاوية $45°$ مع مجال مغناطيسي شدته (0.40 T)، فما هي أصغر قيمة مطلوبة لشدة التيار الكهربائي لرفع السلك؟

(أ) 0.035 A

(ب) 0.25 A

(ج) 0.35 A

(د) 350 A

(ج) هي الإجابة الصحيحة باستخدام: $F = BIL\sin\theta = mg$. (أ) نسي أن يستخدم g. (ب) إذا لم يستخدم $\sin 45°$. (د) إذا أخذ الكتلة على أنها (10 kg) وليس (0.01 kg).

٢ تسلاميتر (مسبار هول) واستخدامه (٤٠ دقيقة)

- اعرض للطلبة مثالًا على جهاز تسلاميتر أو صورة له كما هو في كتاب الطالب، واصفًا لهم كيفية استخدامه، على سبيل المثال: المهارة العملية الموضحة في كتاب الطالب.

- اطلب إلى الطلبة التخطيط لإجراء استقصاء لكيفية اعتماد شدة المجال المغناطيسي على المسافة من مركز الموصل الحامل لتيار كهربائي أو الملف الحلزوني باستخدام التسلاميتر.

فكرة للتقويم: يمكن مناقشة المهارات المختلفة المطلوبة في التخطيط لتجربة ما (على سبيل المثال تحديد المتغيرات، والسلامة، وخطوات التجربة، إلخ)، ومن ثم يمكن تقويمها.

٣ الاستقصاء العملي ٥-١: قياس كثافة الفيض المغناطيسي (ساعة واحدة)

يمكن للطلبة في مجموعات استخدام ميزان الكفة العلوية لميزان إلكتروني لإثبات أن القوة المؤثرة على السلك الحامل لتيار كهربائي تتناسب طرديًا مع شدة التيار الكهربائي وطول السلك الذي يصنع زاوية قائمة مع المجال المغناطيسي، كما يمكنك تقديم الصيغة $F = BIL \sin\theta$ في هذه المرحلة.

مثل هذه التجربة مفيدة في هذه المرحلة، إذ يجب أن يقوم بها الطلبة إن أمكن، لأنها تمكّنهم من بناء تصوّر للصيغة.

المدّة

سيستغرق الاستقصاء العملي وحل أسئلة التحليل والتقييم ٦٠ دقيقة.

ستحتاج إلى

الموادّ والأدوات	
• سلك نحاسي طويل. • مغناطيسان متشابهان وحامل على شكل U من الحديد المطاوع. • حامل ومشابك تثبيت عدد 2.	• أسلاك توصيل. • أميتر. • ميزان. • مصدر جهد كهربائي شدة تياره عالية.

التحضير للاستقصاء

- انظر التفاصيل الواردة في كتاب التجارب العملية والأنشطة.

توجيهات حول الاستقصاء

- قد تحتاج إلى مساعدة الطلبة في حساب عدم اليقين في $(m - m_0)$ ورسم الخط الأسوأ ملاءمة.
- قد تحتاج إلى مساعدة الطلبة أيضًا في تحديد قيم عدم اليقين المطلقة.
- قد تكون هناك أخطاء في الوحدات عند حساب (B)؛ ذكّر الطلبة للتأكّد من أنهم يستخدمون النظام الدولي للوحدات (SI). وقد تحتاج إلى مساعدة الطلبة أيضًا في تذكّر تحويل وحدة للطول (L) المقاسة بالسنتيمتر والكتلة المقاسة بالغرام بحيث لا يرتكبون أخطاءً عند كتابة الأسس العشرية.
- يمكن للطلبة أيضًا حساب النسبة المئوية لعدم اليقين في قيمة (B) بطريقة مختلفة، على سبيل المثال، طريقة الحد الأقصى/الحد الأدنى، وتحقّق من أن الإجابات متشابهة.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- قد تحتاج إلى مساعدة الطلبة على فهم اتجاه القوة.

أنموذج نتائج

$L = 5.1 \pm 0.1$ cm

$m_0 = 62.2 \pm 0.1$ g

$N = 5$

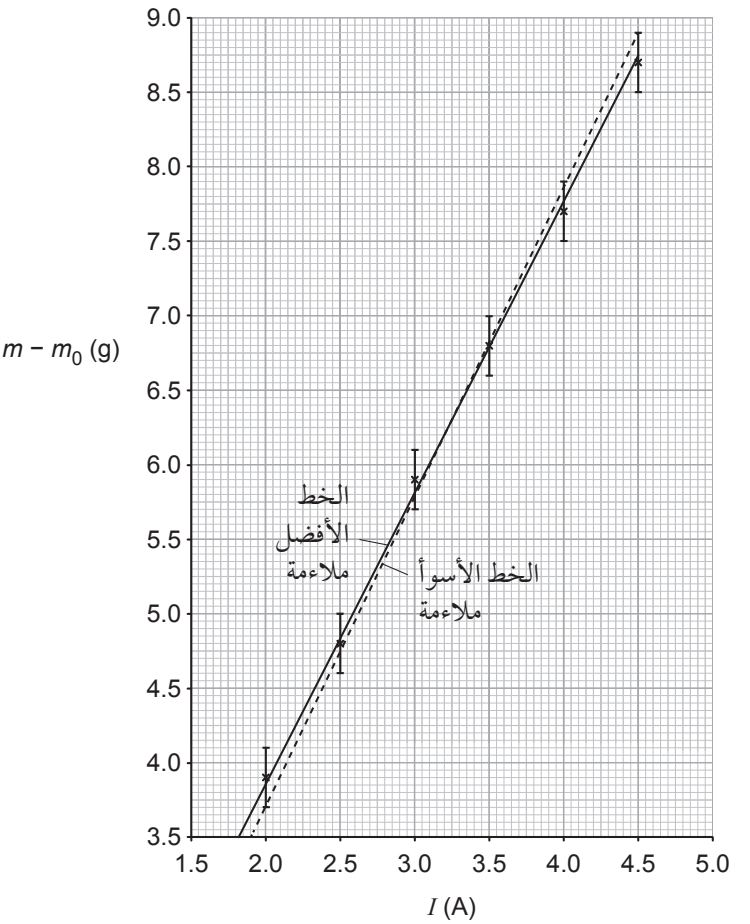
$m - m_0$ (g)	m (g)	I (A)
3.9 ± 0.2	66.1 ± 0.1	2.0
4.8 ± 0.2	67.0 ± 0.1	2.5
5.9 ± 0.2	68.1 ± 0.1	3.0
6.8 ± 0.2	69.0 ± 0.1	3.5
7.7 ± 0.2	69.9 ± 0.1	4.0
8.7 ± 0.2	70.9 ± 0.1	4.5

الجدول ٥-١ : أنموذج نتائج للاستقصاء العملي ٥-١.

إجابات أسئلة الاستقصاء العملي ٥-١ في كتاب التجارب العملية والأنشطة (باستخدام أنموذج النتائج)

أ. انظر الجدول ٥-١.

ب، د. انظر الشكل ٥-١.



الشكل ٥-١

ج. الميل $= \frac{NBL}{g}$

هـ. ميل الخط الأفضل ملاءمة:

$= \frac{8.50 - 3.50}{4.40 - 1.85} = 1.96$

ميل الخط الأسوأ ملاءمة:

$= \frac{8.50 - 3.50}{4.30 - 1.90} = 2.08$

قيمة عدم اليقين في الميل:

$2.08 - 1.96 = \pm 0.1$ (برقم معنوي واحد)

و. $B = \frac{\text{الميل} \times g}{NL}$

$B = \frac{\text{الميل} \times g}{NL} = \frac{1.96 \times 10^{-3} \times 9.81}{5 \times 0.051} = 0.075\ \text{T}$

ز. النسبة المئوية لقيمة عدم اليقين في (B) = النسبة المئوية لقيمة عدم اليقين للميل + النسبة المئوية لقيمة عدم اليقين للطول (L).

$= \left(\frac{0.1}{1.96} + \frac{0.1}{5.1}\right) \times 100\% = \pm 7\%$ (برقم معنوي واحد)

ح. يجب أن يصنع السلك النحاسي زاوية قائمة مع اتجاه المجال المغناطيسي، حيث يمكن استخدام مثلث قائم الزاوية (من علبة الهندسة) أو منقلة أو يمكن التحقّق من المسافة عن السلك من كلا نهايتَي المغناطيس.

ط. يمكن زيادة شدة التيار الكهربائي و/أو زيادة عدد اللفات من السلك و/أو استخدام مغانط أقوى.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدي

يمكن للطلبة الذين يحتاجون إلى مزيد من التحدي استقصاء كيف يعمل مسبار هول، أو يمكنهم استكشاف استخدامات الموصلات الفائقة في تكوين مجالات مغناطيسية قوية، ويمكنهم أيضًا إعداد عرض تقديمي لبعض الاستخدامات المهمة للمجالات المغناطيسية في الحياة اليومية.

الدعم

قد يحتاج بعض الطلبة ذوي التحصيل الدراسي المنخفض أن تبيّن لهم كيف تخطّط للتجربة خطوة خطوة.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- وجّه الطلبة إلى تلخيص ما اكتسبوه من فهم في موضوع المجالات المغناطيسية من الصف العاشر. ما الذي وجدوه صعبًا؟ وما الذي نسوه مما درسوه سابقًا؟
- اسأل أحد الطلبة: ما الذي تعلمته عن التخطيط لتجربة ما؟ هل كانت هناك بعض الميزات التي فاتتك في إجابتك؟ على سبيل المثال، تحديد المسألة (أنواع المتغيرات)، والطريقة المستخدمة، والتحليل باستخدام تمثيل بياني، وتفاصيل إضافية، وذكر احتياطات الأمان والسلامة.

الموضوع ٥-٥: الحث الكهرومغناطيسي

الأهداف التعليمية

٥-٥ يصف الملاحظات الآتية للتجارب ويشرحها:

- الفيض المغناطيسي المتغيّر يمكن أن يولّد قوة دافعة كهربائية مستحثة في دائرة كهربائية.
- القوة الدافعة الكهربائية المستحثة تكون في الاتجاه المعاكس للتغيّر الذي أنتجها.
- العوامل التي تؤثر على مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة (التأثيرية).

٥-٦ يعرّف الفيض المغناطيسي على أنه حاصل ضرب كثافة الفيض المغناطيسي في مساحة المقطع العرضي العمودية على اتجاه كثافة الفيض المغناطيسي.

٥-٧ يستخدم المعادلة $\Phi = \vec{B}\vec{A}$ ويحلّل $\vec{B}$ إلى مركّبتها العمودية باستخدام $\Phi = BA\cos\theta$.

٥-٨ يصف مفهوم الفيض المغناطيسي الكليّ ويستخدمه، بما في ذلك استخدام معادلة الفيض المغناطيسي الكليّ: $BAN\cos\theta$.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذا الموضوع ٤ حصص دراسية (ساعتان و٤٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٥-٥ الحث الكهرومغناطيسي	• المثال ٢ • الأسئلة من ١٣ إلى ٢١
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٥-٣ الفيض المغناطيسي وكثافة الفيض المغناطيسي والفيض المغناطيسي الكلي	• يدرّب هذا النشاط على استنتاج الفيض المغناطيسي والفيض المغناطيسي الكلي وبعض تطبيقاتهما حيث من المهم تحديد الزاوية بين ملف ما ومجال مغناطيسي محدّد.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- يشعر بعض الطلبة بالحيرة حول استخدام قاعدة اليد اليسرى (قاعدة المحرك) لفليمنج أو استخدام قاعدة اليد اليمنى (قاعدة المولّد) للتنبؤ باتجاه التيار الكهربائي الناتج عن القوة الدافعة الكهربائية المستحثة. يجدر بك تذكير الطلبة أن الحث الكهرومغناطيسي يمكن اعتباره صورة طبق الأصل لتأثير المحرّك، فبدلًا من أن ينتج التيار الكهربائي قوة مغناطيسية تؤثر على موصل، يتم هنا تطبيق قوة خارجية على الموصل عن طريق تحريكه في مجال مغناطيسي. وهذه القوة تستحث تيارًا كهربائيًا في الموصل. يجب أن يكون واضحًا للطلبة أن قاعدة اليد اليمنى تُستخدم للتنبؤ باتجاه التيار الكهربائي الناتج عن القوة الدافعة الكهربائية المستحثة.
- غالبًا ما يستخدم الطلبة مصطلح «فرق الجهد الحثّي» لوصف التجارب التي يتولد فيها حث كهرومغناطيسي، وهذا غير صحيح؛ ففي حالة تحريك موصل في مجال مغناطيسي يكون قد بُذل شغلٌ في تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية في هذه العملية، ويجب على الطلبة دائمًا استخدام مصطلح «القوة الدافعة الكهربائية المستحثة» عند وصف مثل هذه الحالات.

أنشطة تمهيدية

من المفترض أن يكون الطلبة قد درسوا سابقًا كيفية توليد الكهرباء بواسطة الحث الكهرومغناطيسي، ولذلك يوسّعون معرفتهم السابقة من خلال إجراء بعض التجارب البسيطة لاستقصاء بعض خصائص الحث الكهرومغناطيسي، كما يمكنك مواءمة معرفة الطلبة السابقة لكثافة الفيض المغناطيسي بهدف مناقشة مفاهيم الفيض المغناطيسي والفيض المغناطيسي الكلي، وسيحتاجون إلى استخدام معرفتهم بمركبات المتجهات لإدراك صيغة كثافة الفيض المغناطيسي.

نقترح عليك فكرتَين كتمهيد لهذا الموضوع؛ وسيعتمد اختيارك على الموارد المتوفرة، وعلى الزمن المتاح، وعلى كيفية تقدم الطلبة في هذا الموضوع.

فكرة أ (١٥ دقيقة)

- اطلب إلى الطلبة العمل في مجموعات صغيرة لمناقشة كيفية توليد الكهرباء بواسطة الحث الكهرومغناطيسي، ويمكنهم البحث في الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) عن تصميمات مختلفة للمولدات في مولّدات الدراجات (الدينامو) وتوربينات الرياح ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وغير ذلك، والاختيار يكون متروكًا لهم، ثم بعد ذلك تشارك كل مجموعة أفكارها مع المجموعات الأخرى أمام طلبة الصف، كما يمكن للطلبة أيضًا إعداد تقارير على شكل عروض تقديمية قصيرة.

› **أفكار للتقويم:** تجوّل في غرفة الصف لتكوين فهم عن قدرة الطلبة على تبادل الأفكار التي تشرح الحركة النسبية بين الموصل والمجال المغناطيسي لتوليد تيار كهربائي أو قوة دافعة كهربائية.

فكرة ب (١٥ دقيقة)

- يعبّر الطلبة في مجموعات صغيرة عن أفكارهم حول مبدأ حفظ الطاقة، كما يمكنهم رسم مخططات بسيطة لنقل الطاقة لتوضيح كيفية نقل الطاقة في الحالات الشائعة، لذلك شجّع الطلبة على إنتاج خريطة ذهنية لعرض معرفتهم السابقة وفهمهم.

› **أفكار للتقويم:** يجب أن يكون جميع الطلبة قادرين على ذكر نص مبدأ حفظ الطاقة بشكل صحيح، وإذا لزم الأمر خصّص بضع دقائق لتوضيح أي مفاهيم خاطئة.

الأنشطة الرئيسية

١ العوامل التي تؤثر على مقدار شدة التيار الكهربائي الناتج عن قوة دافعة كهربائية مستحثة (٤٠ دقيقة)

- ينفذ الطلبة في مجموعات ثلاثية تجارب أساسية لاستقصاء بعض خصائص الحث الكهرومغناطيسي، ويمكن أن تتضمن التجارب المناسبة تحريك سلك داخل ملف وخارجه، أو تحريك سلك بين قطبَي مغناطيس على شكل حذوة حصان، أو وصل محرك كهربائي صغير إلى فولتميتر ذي مؤشر وملاحظة انحراف إبرته... فإذا لم تكن الأدوات متوفرة، فابحث في الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) عن محاكاة أو مقاطع فيديو، حيث من السهل الحصول عليها وجعل فهم هذا الموضوع سهلًا.
- وجّه الطلبة إلى مناقشة العوامل المختلفة التي تؤثر على مقدار شدة التيار الكهربائي الناتج عن القوى الدافعة الكهربائية المستحثة من التجارب، ثم يشارك الطلبة بعد ذلك في مناقشة جماعية للأفكار الرئيسية حول الحث الكهرومغناطيسي، ويتضمن ذلك معدل قطع خطوط المجال المغناطيسي، والتنبؤ باتجاه التيار الكهربائي باستخدام قاعدة اليد اليمنى (قاعدة المولّد) والقوة الدافعة الكهربائية المستحثة.

يجب على الطلبة طرح الأسئلة مع التقدم في شرح الموضوع. يوفّر حل الأسئلة من ١٣ إلى ١٥ الواردة في كتاب الطالب مزيدًا من التدريب للطلبة لتعزيز فهمهم للقوة الدافعة الكهربائية المستحثة.

› **فكرة للتقويم:** تأكّد من أن الطلبة يفهمون أن الفيض المغناطيسي المتغيّر يمكن أن يستحث قوة دافعة كهربائية في دائرة ما، وتأكّد من أنهم قادرون على ذكر العوامل التي تؤثر على مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في الحالات المختلفة.

سؤال مفصلي: اذكر العوامل التي تؤثر على شدة التيار الكهربائي الناتج عن القوة الدافعة الكهربائية المستحثة أو القوة الدافعة الكهربائية لملف ما.

(الإجابة: مقدار كثافة الفيض المغناطيسي، ومساحة المقطع العرضي للملف، وعدد لفات السلك، ومعدل دوران الملف في المجال المغناطيسي والزاوية بين العمودي على مستوى الملف واتجاه المجال المغناطيسي).

٢ الفيض المغناطيسي والفيض المغناطيسي الكلي (٥٠ دقيقة)

- ابدأ الدرس بالطلب إلى الطلبة أن يناقشوا فيما بينهم مفهوم كثافة الفيض المغناطيسي، حيث يمكنهم رسم نمط المجال المغناطيسي حول قضيب مغناطيسي، ويوضّح الشكل ٥- ٢٩ (أ) الوارد في كتاب الطالب على سبيل المثال عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تمرّ عبر سطح لكل وحدة مساحة، فشجّع جميع طلبة الصف على المشاركة في المناقشة، واشرح أنت مصطلح «الفيض المغناطيسي» واشتق معادلة الفيض المغناطيسي الكلي $N\Phi = BAN\cos\theta$. يمكن للطلبة نسخ الشكل ٥-٢٩ (ب) الوارد في كتاب الطالب لفهم أن الزاوية θ هي بين المجال المغناطيسي والعمودي على مستوى الملف، وسيحتاجون إلى ممارسة حلّ العديد من الأسئلة مستعينين بالعمليات الحسابية التي تتضمن الفيض المغناطيسي الكلي، ويوفّر حل الأسئلة من ١٦ إلى ٢١ الواردة في كتاب الطالب والنشاط ٥-٣ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة أمثلة للطلبة لتقوية استيعابهم المفاهيمي ومهاراتهم الرياضية الأساسية، لذلك ذكّرهم بأن الإعداد للحل يجب أن يتضمن الخطوات المبيّنة في المثال ٢ الوارد في كتاب الطالب.

› **فكرة للتقويم:** يجب أن يكون الطلبة قادرين على تصوّر الفيض المغناطيسي باعتباره العدد الكلي لخطوط المجال المغناطيسي التي تمر عبر سطح ما، فتحقّق ممّا إذا كانوا يفهمون أن الفيض المغناطيسي $\Phi = 0$ عندما تكون $\theta = 90°$ و $\Phi = BA$ عندما $\theta = 0°$، ويمكنك لهم تصحيح أعمال بعضهم البعض أيضًا، مقدّمين تفسيرات واضحة عن أي أخطاء في إجاباتهم، ومُعطين تفاصيل لأي نقص في التفسير، بعد ذلك يمكنك تقديم الإجابات الصحيحة للتأكّد من صحة أعمالهم.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

إذا كانت هناك حاجة إلى مزيد من التحدي، يمكن للطلبة ذوي المهارات الرياضية الجيدة إعادة كتابة معادلة الفيض المغناطيسي على شكل حاصل ضرب نقطي ($\Phi = \vec{B}\cdot\vec{A}$ أي $\Phi = BA\cos\theta$). تُعامل مساحة المقطع العرضي (A) في هذه الحالة على أنها كمية متجهة من خلال تخصيص متجه وحدة عمودي على المستوى، وهذا يساعد الطلبة على تنمية إدراكهم لاستخدام رموز المتجهات وعمليات المتجهات مثل حاصل الضرب النقطي لكميّات متجهة فيزيائية. يمكن للطلبة رسم تمثيل

بياني مناسب لجيب التمام لمعرفة تغيّر الفيض المغناطيسي (Φ) مع الزاوية θ، ويمكن لهم أيضًا تنفيذ تجارب لاستقصاء كيف تستحث القوة الدافعة الكهربائية بحالات مختلفة.

الدعم

قد يحتاج الطلبة إلى مزيد من الدعم لفهم مبادئ الحث الكهرومغناطيسي، لذلك ذكّرهم أن الحث الكهرومغناطيسي هو العملية التي يتحرك فيها موصل ومجال مغناطيسي أحدهما باتجاه الآخر لتوليد تيار كهربائي مستحث أو قوة دافعة كهربائية مستحثة، ثم وضّح لهم أن تيارًا كهربائيًا يُستحث إذا اكتملت الدائرة، ويجب أن يفهموا الفرق بين المصطلحَين «قوة دافعة كهربائية مطبّقة» و «قوة دافعة كهربائية مستحثة».

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- وجّه الطلبة إلى ذكر بعض العوامل التي تؤثر على مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة دون النظر إلى ملاحظاتهم.
- اطلب إلى الطلبة شرح الفرق بين الفيض المغناطيسي وكثافة الفيض المغناطيسي.

الموضوعات ٥-٦: قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي، و ٥-٧: قانون لنز، و ٥-٨: تطبيقات الحث الكهرومغناطيسي

الأهداف التعليمية

٥-٩ يحلّل التيار الكهربائي المستحث باستخدام قاعدة فليمنج لليد اليمنى.

٥-١٠ يذكر نص قانون فاراداي ونص قانون لنز للحث الكهرومغناطيسي ويستخدم المعادلة $\varepsilon = -\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t}$.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذه الموضوعات ٦ حصص دراسية (٤ ساعات).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٥-٦ قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي ٥-٧ قانون لنز ٥-٨ تطبيقات الحث الكهرومغناطيسي	• المثالان ٣ و ٤ • الأسئلة من ٢٢ إلى ٣٢
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٥-٤ قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي وقانون لنز نشاط ٥-٥ المزيد حول قانون فاراداي الاستقصاء العملي ٥-٢: التخطيط لرفع حلقة فلزية فوق ملف حامل لتيار كهربائي	• يمنح النشاط ٥-٤ تدريبًا على تذكّر قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي وقانون لنز واستخدامهما في حل المسائل. • كما يمنح النشاط ٥-٥ مزيدًا من التدريب في إجراء العمليات الحسابية باستخدام قانون فاراداي.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- يعرف الطلبة أن قاعدة اليد اليمنى (قاعدة المولد) لفليمنج تعطي اتجاه التيار الكهربائي المستحث في الدائرة، ومع ذلك يجب أن يفهموا أن قاعدة اليد اليمنى لفليمنج هي حالة خاصة من قانون لنز، ويجب أن يدركوا أن قانون لنز يلخص المبدأ العام لحفظ الطاقة، فهو قاعدة عامة لتحديد اتجاه التيار الكهربائي المستحث في أي حلقة، ومن المهم تذكيرهم أن قانون لنز يصلح لأي حالة تجريبية.

يجب على الطلبة عدم خلط هذه القاعدة مع قاعدة اليد اليسرى (قاعدة المحرّك) لفليمنج في الكهرومغناطيسية، كما يجب عليهم أن يدركوا أن الحث الكهرومغناطيسي هو ببساطة نتيجة لتأثير المحرّك.

- غالبًا ما يحتار بعض الطلبة بإشارة السالب في المعادلة $\varepsilon = -\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t}$. لذلك ذكّرهم بأن إشارة السالب تشير إلى قانون لنز، وتحتاج أيضًا إلى التأكيد على مبدأ حفظ الطاقة، فبدون إشارة السالب فإن الصيغة لا تمثل سوى صيغة رياضية لقانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي، والذي يعطي مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في دائرة ما.

أنشطة تمهيدية

سيكون معظم الطلبة قد درسوا مبادئ الحث الكهرومغناطيسي؛ يمكنك المواءمة مع المعرفة السابقة للطلبة من خلال مناقشة قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي من الناحيتَين الكيفية (الوصفية) والكميّة (الحسابية). يحتاج الطلبة إلى استخدام معرفتهم بكثافة الفيض المغناطيسي ومفهوم معدل التغيّر لفهم صيغة قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي. استخدم معرفة الطلبة السابقة لمبدأ حفظ الطاقة لشرح قانون لنز، وأكّد على معنى إشارة السالب في الصيغة العامة التي تلخص كِلا القانونَين؛ لأن الطلبة يحتاجون إلى تعزيز استيعابهم المفاهيمي للقانونَين جنبًا إلى جنب مع المهارات الرياضية من خلال اختبار الكثير من الأمثلة.

نقترح عليك فكرتَين كتمهيد لهذه الموضوعات؛ وسيعتمد اختيارك على الموارد المتوفرة، وعلى الزمن المتاح، وعلى كيفية تقدم الطلبة في هذه الموضوعات.

فكرة أ (١٥ دقيقة)

- اجعل الطلبة يعملون في مجموعات صغيرة بدون النظر إلى ملاحظاتهم أو كتاب الطالب لكتابة ملاحظات حول الفيض المغناطيسي في جلسة عصف ذهني. يمكن لكل مجموعة أن تعطي حقيقة واحدة مختلفة عن الفيض المغناطيسي، كما يمكن أن تتضمن هذه الحقيقة عناصر مثل تعريف الفيض المغناطيسي، وكيفية حسابه، ووحداته، والعلاقة بين الفيض المغناطيسي الكلي والفيض المغناطيسي، وغير ذلك. وفي النهاية يمكن للطلبة الرجوع إلى ملاحظاتهم أو كتاب الطالب للتحقّق من فهمهم.

› **أفكار للتقويم:** يمكنك تقويم الفهم السابق من خلال الحقائق أو التعليقات الخاصة بكل مجموعة. ويجب أن يكون الطلبة قادرين على التمييز بشكل واضح بين الفيض المغناطيسي والفيض المغناطيسي الكلي، إذ يساعد هذا الأمر في تطوير فهم الطلبة لقانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي وقانون لنز في الأنشطة الرئيسية.

فكرة ب (١٥ دقيقة)

- يمكن إعطاء الطلبة اختبارًا سريعًا يتعيّن عليهم فيه:

– ذكر ثلاث طرائق يمكن من خلالها استحثاث القوة الدافعة الكهربائية في دائرة عندما يكون هناك تغيّر في الفيض المغناطيسي الذي يربط الدائرة.

- إعطاء معادلة الفيض المغناطيسي الكلي ($N\Phi = BAN\cos\theta$).
- ذكر ما تمثله B و A و N و θ.
- ذكر الوحدة في النظام الدولي للوحدات (SI) للفيض المغناطيسي أو الفيض المغناطيسي الكلي.

› **فكرة للتقويم:** يجب أن يكون جميع الطلبة قادرين على ذكر صيغة الفيض المغناطيسي الكلي، وقد يكون مفيدًا أخذ بضع دقائق لمراجعة مفهوم الفيض المغناطيسي والفيض المغناطيسي الكلي وتوضيح أي مفاهيم خاطئة.

الأنشطة الرئيسية

١ قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي (٤٠ دقيقة)

- اطلب إلى الطلبة قراءة الموضوع ٥-٦ قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي الوارد في كتاب الطالب، واطلب إليهم كتابة التعريف الرئيسي لـ «قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي» في دفاتر ملاحظاتهم، ثم ذكّرهم أن «معدل التغيّر» يعني «لكل ثانية»، وشجّع الجميع على المشاركة في المناقشة، معزّزًا فكرة أن قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي يحدّد مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في الدائرة. اكتب الصيغة $\varepsilon = \frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t}$ على السبورة. واسأل الطلبة عمّا يمثله كل رمز. يمكنك بعد ذلك مناقشة المثالَين ٣ و ٤ الواردَين في كتاب الطالب، ويجب على الطلبة حلّ بعض الأسئلة أو المسائل لترسيخ فهمهم لقانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي. يوفر حلّ الأسئلة من ٢٢ إلى ٢٤ الواردة في كتاب الطالب أمثلة مختلفة.

› **فكرة للتقويم:** يجب أن يفهم الطلبة أن قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي يعطي مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة فقط في دائرة ما، ولا يعطي الاتجاه، ويجب أن يكونوا قادرين على ذكر نص قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي، كما يجب أن يكونوا قادرين على استخدام التعبيرات الرياضية بشكل صحيح في عدة سيناريوهات.

سؤال مفصلي: يتغيّر المجال المغناطيسي خلال حلقة واحدة مساحتها ($0.15\ m^2$) بمعدل ($3.0\ T\ s^{-1}$)، فاحسب القوة الدافعة الكهربائية المستحثة.

(الإجابة: $N = 1$ و $\Phi = BA$. لكن $\varepsilon = \frac{\Delta(BA)}{\Delta t}$ ، بما أن A ثابت، يمكننا إعادة كتابة الصيغة على الشكل $\varepsilon = \frac{A\Delta(B)}{\Delta t}$، لذلك، $\varepsilon = 0.15 \times 3.0 = 0.45\ V$).

٢ قانون لنز - قانون عام للقوة الدافعة الكهربائية المستحثة (٥٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** انظر الشكل ٥-٤١ الوارد في كتاب الطالب.

- ابدأ الدرس بعرض أساسي لقضيب مغناطيسي يتحرك عبر ملف متصل بفولتميتر حسّاس ذي مؤشر، حيث يلاحظ الطلبة اتجاه القوة الدافعة الكهربائية المستحثة على الفولتميتر كلما قمت بعكس اتجاه حركة المغناطيس. ادفع المغناطيس نحو الملف، ثم اسحبه بعيدًا عن الملف، واطلب إلى الطلبة جميعهم المشاركة في مناقشة ملاحظاتهم. اشرح فكرة أن القوة الدافعة الكهربائية المستحثة تقاوم التغيّر الذي تنتجه من خلال تجاذب الأقطاب وتنافرها، والقوة المغناطيسية تنتج تسارعًا وكذلك مبدأ حفظ الطاقة. وضّح للطلبة أن قانون لينز يتنبأ باتجاه التيار الكهربائي الناتج عن القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في دائرة ما، واطلب إليهم العمل في مجموعات ثلاثية من دون النظر إلى كتاب الطالب بهدف كتابة نص قانون لنز. يمكنك بعد ذلك بناء معادلة الصيغة العامة $\varepsilon = -\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t}$، والتي تلخص قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي وقانون لنز.

- يمكن للطلبة حل الأسئلة ٢٥–٢٨ الواردة في كتاب الطالب لتعزيز استيعابهم المفاهيمي لقانون لنز.

› **فكرة للتقويم:** يجب على الطلبة أن يدركوا أن قانون لنز هو قانون عام لإيجاد اتجاه التيار الكهربائي الناتج عن القوة الدافعة الكهربائية المستحثة أو القوة الدافعة الكهربائية في دائرة ما، فتأكّد من فهمهم أن قانون لنز يلخص المبدأ العام لحفظ الطاقة، وتأكّد مجددًا من أن الطلبة يمكنهم ربط هذا القانون بالإشارة السالبة في الصيغة العامة أيضًا.

٣ التدريب على حلّ أسئلة باستخدام قانون فاراداي وقانون لنز (ساعة واحدة)

- يحتاج الطلبة إلى التدريب على حلّ مجموعة متنوعة من الأسئلة باستخدام قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي وقانون لنز، فوفّر لهم سلسلة من الأسئلة ذات بنية متعدّدة المراحل، وقوّم كلًا من الفهم النظري لمبادئ الحث الكهرومغناطيسي والمهارات الرياضية. يقدم النشاطان ٥–٤ و ٥–٥ الواردان في كتاب التجارب العملية والأنشطة أمثلة على ذلك.

› **فكرة للتقويم:** استخدم نتائج حسابات الطلبة لتقويم ما إذا كانوا قد فهموا كيفية تطبيق الصيغة العامة لقانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي وقانون لنز. قد يعمد بعض الطلبة إلى تصحيح أعمالهم بعضهم الآخر، مقدّمين تفسيرات واضحة عن أي أخطاء ارتكبوها، ومُعطين تفاصيل لأي نقص في التفسير؛ ويمكنك تقديم الإجابات الصحيحة للتأكّد من صحة العمل، لذلك أكّد على أهمية كل خطوة في الحسابات كما هي موضحّة في أمثلة كتاب الطالب.

٤ أمثلة من الحياة الواقعية للحث الكهرومغناطيسي (٤٠ دقيقة)

- يعمل الطلبة في مجموعات صغيرة للبحث في مختلف تطبيقات الحث الكهرومغناطيسي في الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت). قد تتضمن عناصر البحث مولدات التيار الكهربائي المتردد، والمحولات، وبطاقات الائتمان، والميكروفونات، والمرور عبر أجهزة الكشف عن الفلزات في المطارات، والمصابيح اليدوية المستحثة، إلخ... والاختيار متروك للطلبة، ولذلك يجب أن يشرحوا بوضوح ما يحدث في الأمثلة التي اختاروها؛ فادعُ كل مجموعة إلى عرض نتائجها أمام بقية طلبة الصف، مع إمكانية إعداد تقاريرهم عبر ملصقات أو عروض تقديمية مستعينين ببرنامج «باوربوينت» (PowerPoint).
- يمكن للطلبة أيضًا حل الأسئلة من ٢٩ إلى ٣٢ الواردة في كتاب الطالب لترسيخ استيعابهم المفاهيمي للحث الكهرومغناطيسي.

› **فكرة للتقويم:** يمكّن هذا النشاط الطلبة من تطوير مهارات التفكير العليا لديهم، ومن خلاله يطبّقون معرفتهم بالحث الكهرومغناطيسي في حالات مختلفة، لذلك تجوّل في غرفة الصف لتقويم مناقشة الطلبة طارحًا أسئلة تحفزهم على التوسّع عند الضرورة.

٥ الاستقصاء العملي ٥-٢: التخطيط لرفع حلقة فلزية فوق ملف حامل لتيار كهربائي (٤٠ دقيقة)

سيستغرق هذا الاستقصاء العملي ٤٠ دقيقة.

ستحتاج إلى

الموادّ والأدوات	
• ملف.	• مقاومة متغيّرة (ريوستات) أو مصدر طاقة كهربائية متغيّرة (لتغيير شدة التيار الكهربائي).
• حامل فولاذي.	• مسطرة.
• مصدر تيار كهربائي متردد أو مولّد إشارة.	• أسلاك توصيل.
• أميتر.	

⚠ احتياطات الأمان والسلامة

- يجب الحذر من تأثير التسخين للتيار الكهربائي (ذي الشدة العالية).

التحضير للاستقصاء

يحتاج الطلبة إلى فهم الحاجة إلى مجال مغناطيسي متغيّر حيث يكون التيار الكهربائي المتردد مطلوبًا للحث الكهرومغناطيسي.

يحتاج الطلبة إلى:

- التعرّف إلى أنواع المتغيّرات المختلفة والتحكّم في الكمّيات.
- القدرة على رسم التمثيلات البيانية وحساب الميل.
- التمكّن من استخدام اللوغاريتمات.

المتغيّرات

يجب على الطلبة تحديد:

- المتغيّر التابع وهو (h)، ارتفاع حلقة الألمنيوم.
- المتغيّر المستقل وهو (I)، شدة التيار الكهربائي في الملف.
- المتغيّر الضابط، وهو عدد لفات الملف التي يجب أن تبقى ثابتة.

قد يقترح الطلبة أيضًا إبقاء تردد مصدر التيار الكهربائي المتردد ثابتًا.

الطريقة

تتضمن الطريقة المقترحة ما يأتي:

- رسم مخطط عليه أسماء الأجزاء يبيّن ملفًا متصلًا بمصدر تيار كهربائي متردّد، أو مولّد إشارة.
- قد يُظهر المخطط مسطرة مثبتة رأسيًا على الحامل أيضًا.

- يجب أن تذكر الطريقة أن أقصى ارتفاع يقاس لشدة تيارات كهربائية مختلفة.

تفاصيل إضافية، على سبيل المثال:

- سبب استخدام الحامل الفولاذي / الحديدي.
- استخدام شدة تيار كهربائي عالية لإحداث تغيّر كبير في كثافة الفيض المغناطيسي.
- استخدام تيار كهربائي عالي التردد لزيادة معدل تغير كثافة الفيض المغناطيسي.
- تكرار قياسات الارتفاع عند مواضع مختلفة وإيجاد متوسط الارتفاع.
- ضبط مقدار المقاومة المتغيّرة مع أميتر في الدائرة للتأكّد من بقاء شدة التيار الكهربائي ثابتة.

توجيهات حول الاستقصاء

- قد تحتاج إلى مساعدة الطلبة لتحديد العلاقة اللوغاريتمية.
- قد تحتاج إلى مساعدة بعض الطلبة لاختيار تمثيل بياني مناسب لرسمه.
- يمكن للطلبة الذين أنهوا الاستقصاء تجربة خطتهم وتحليل نتائجهم.

إجابات أسئلة الاستقصاء العملي ٥-٢ في كتاب التجارب العملية والأنشطة

(التحليل والاستنتاج والتقييم)

أ. ارسم تمثيلًا بيانيًا لـ $\log h$ مقابل $\log I$. لاحظ أن أي دالة لوغاريتمية يمكن استخدامها على سبيل المثال log أو ln.

تكون العلاقة صحيحة إذا كانت النتيجة خطًا مستقيمًا ميله q.

الميل = q.

نقطة التقاطع مع المحور الصادي (y): $p = 10^{\text{(نقطة التقاطع مع المحور الصادي)}}$

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدي

إذا كانت هناك حاجة إلى مزيد من التحدي، يمكن للطلبة ذوي المهارات الرياضية العالية إعادة كتابة معادلة قانون فاراداي في الحث الكهرومغناطيسي مثل $\varepsilon = \frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t}$، حيث $\Phi = BA\cos\theta$، ويمكنهم بعد ذلك استخدام قاعدة الضرب في التفاضل الرياضي لتوسيع هذه المعادلة، كما يمكنهم استقصاء كيف يمكن أن يتغيّر الفيض المغناطيسي من خلال إما تغيّر كثافة الفيض المغناطيسي أو تغيّر الموضع (بدلالة الزاوية θ) أو كليهما معًا، شرط أن تعامل N و A كثوابت.

الدعم

من المحتمل أن يجد بعض الطلبة صعوبة في استخدام قانون لنز للتنبؤ باتجاه التيار الكهربائي الناتج عن القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في دائرة ما، لذا يجب أن يفهموا أن التيار الكهربائي الناتج عن القوة الدافعة الكهربائية المستحثة سينشأ باتجاه بحيث يقاوم المجال المغناطيسي الناتج عن التغيّر في الفيض المغناطيسي الذي استحث التيار الكهربائي، ويجب أن يكونوا قادرين على التمييز بين المجالَين المغناطيسيَّين: المجال المغناطيسي المتغيّر أو الفيض المغناطيسي الذي

استحث التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي الناتج عن القوة الدافعة الكهربائية المستحثة. فذكّر الطلبة أن المجال المغناطيسي الثاني يعاكس التغيّر في المجال المغناطيسي الأول، فهُم يحتاجون إلى الكثير من الممارسة والتشجيع ليتمكنوا من تطبيق قانون لنز بشكل صحيح في سيناريوهات مختلفة.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

اسأل الطلبة:

- هل يمكنهم ذكر نص كل من قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي وقانون لنز؟
- ما التحديات التي واجهتهم في التعامل مع الصيغة العامة التي تلخص قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي وقانون لنز؟ ولماذا؟

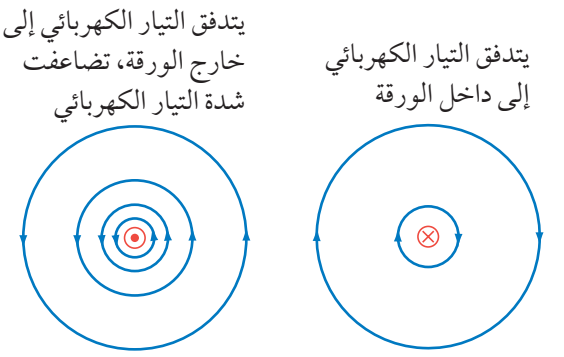
إجابات كتاب الطالب

العلوم ضمن سياقها

- يُنشئ الملف الحلزوني في جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي مجالًا مغناطيسيًا بشكل مذهل، فأي مادة مغناطيسية (على سبيل المثال حديد/أجسام فولاذية) يمكن أن تُجذب نحو جهاز التصوير. ويمكنك أن تتخيل المشكلة التي قد يسببها هذا الأمر!
- تسمح المواد فائقة التوصيل لشدة تيار كهربائي كبير جدًا بالتدفق خلالها ما دامت لها مقاومة منخفضة جدًا. تتناسب شدة المجال المغناطيسي طرديًا مع شدة التيار الكهربائي، لذلك يمكن استخدام تيارات كبيرة الشدة لإنشاء المجالات المغناطيسية القوية جدًا والمطلوبة لجهاز التصوير بالرنين المغناطيسي.

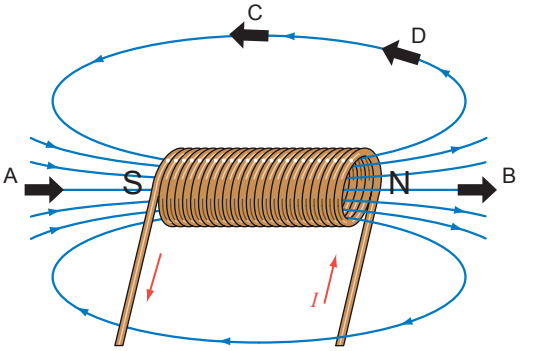
إجابات أسئلة موضوعات الوحدة

١.



تكون خطوط المجال المغناطيسي أقرب بعضها إلى بعض لتبيّن أن المجال المغناطيسي أقوى.

٢.



٣. الزوج (أ) سيتنافران، والزوج (ب) سيتجاذبان.

٤. **أ.** القوة صفر.

ب. القوة متجهة إلى داخل مستوى الصفحة.

ج. القوة متجهة إلى أسفل الصفحة.

٥. القوة:

$$F = BIL = 0.06 \times 0.20 \times 2.50 = 0.030 \text{ N}$$

٦. بإعادة ترتيب معادلة القوة $F = BIL$ للحصول على كثافة الفيض المغناطيسي:

$$B = \frac{F}{IL} = \frac{0.015}{1.5 \times 0.20} = 0.050 \text{ T}$$

٧. **أ.** شدة التيار الكهربائي:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{ne}{t} = 10^{18} \times \frac{1.60 \times 10^{-19}}{1} = 0.16 \text{ A}$$

ب. القوة:

$$F = BIL = 0.005 \times 0.16 \times 0.50$$

$$= 4.0 \times 10^{-4} \text{ N } (0.40 \text{ mN})$$

٨. **أ.** سيميل جانب السلك في المجال المغناطيسي إلى الأعلى.

ب. سيميل إلى الأسفل.

ج. سيحاول أن يتحرك أفقيًا إلى داخل مغناطيس حذوة الحصان.

د. لا يتحرك.

٩. هناك قوة تؤثر على الميزان إلى الأسفل وقوة تؤثر على السلك إلى الأعلى يسببها وجود التيار الكهربائي في المجال المغناطيسي (قاعدة اليد اليسرى لفليمنج).

مقدار القوة المؤثرة على السلك:

$$F = 2.0 \times 10^{-3} \times 9.81 = 2.0 \times 10^{-2} \text{ N}$$

لإنتاج قوة إلى الأسفل يجب أن يكون اتجاه التيار الكهربائي في السلك من اليسار إلى اليمين.

١٠. القوة:

$F = BIL = 0.005 \times 2.4 \times 0.50$

$= 6.0 \times 10^{-3}$ N (6.0 mN)

١١. أ. تذكّر أن هناك 200 لفة:

القوة على كل ضلع:

$F = BIL = 0.05 \times 1.0 \times 200 \times 0.20 = 2.0$ N

ب. يكون بوضعية بحيث يدور على طول خط موازٍ لضلع واحد مع المجال المغناطيسي في المستوى نفسه للملف.

١٢. a. القوة:

$F = BIL \sin\theta = 0.25 \times 3.0 \times 0.50 \times \sin 90°$

$= 0.375$ N ≈ 0.38 N

b. القوة:

$F = BIL \sin\theta = 0.25 \times 3.0 \times 0.50 \times \sin 45°$

$= 0.265$ N ≈ 0.27 N

c. بما أن اتجاه التيار الكهربائي موازٍ للمجال المغناطيسي، لذلك القوة: $F = 0$ N

لكل من (a) و (b) يكون اتجاه القوة إلى داخل مستوى الورقة.

١٣. تقطع خطوط المجال المغناطيسي للمغناطيس الدوّار الأسلاك الثابتة للملف، وبالتالي تستحث قوة دافعة كهربائية، وسيضيء التيار الكهربائي المستحث في الملف المصباح المتصل بالمولّد.

١٤. يتدفق التيار الكهربائي المستحث من A إلى B ومن C إلى D، لذلك تكون Y موجبة؛ ولذلك يتدفق التيار الكهربائي من Y إلى X في الدائرة الخارجية لجعل التيار الكهربائي يتدفق من A إلى B في داخل الملف.

١٥. يكون الجناح الأيسر موجبًا في نصف الكرة الشمالي، ويكون سالبًا في نصف الكرة الجنوبي؛ لأن اتجاه خطوط المجال المغناطيسي تنعكس هناك.

١٦. الفيض المغناطيسي $= BA$، فالمغناطيس الأقوى يعني فيض مغناطيسي كلي عبر الملف أكبر وبالتالي قوة دافعة كهربائية مستحثة أكبر. أما الحركة الأسرع فتعني معدل تغيّر في الفيض المغناطيسي أكبر، وبالتالي قوة دافعة كهربائية مستحثة أكبر.

١٧. السلك يتحرّك باتجاه موازٍ لخطوط المجال المغناطيسي؛ فلا تُقطع خطوط المجال المغناطيسي. أو بدلًا من ذلك، لا يوجد تغيّر في الفيض المغناطيسي؛ لذلك لا توجد قوة دافعة كهربائية مستحثة.

١٨. أ. يحدَّد التردد بواسطة سرعة دوران المغناطيس الكهربائي.

ب. تتأثر القوة الدافعة الكهربائية المستحثة بكثافة الفيض المغناطيسي للمغناطيس الكهربائي وعدد اللفات في الملف، ومساحة المقطع العرضي للملف. وتتأثر القوة الدافعة الكهربائية المستحثة كذلك بسرعة الدوران، ولكن في هذه الحالة ثُبّتت عند (50 Hz).

١٩. الفيض المغناطيسي:

$\Phi = BA = 0.15 \times 0.01 \times 0.015$

$= 2.25 \times 10^{-5}$ Wb $\approx 2.3 \times 10^{-5}$ Wb

٢٠. أ. الفيض المغناطيسي الكلي:

$N\Phi = NBA$

$= \frac{NB\pi d^2}{4} = \frac{200 \times 2.0 \times 10^{-3} \times \pi \times (0.05)^2}{4}$

$= 7.9 \times 10^{-4}$ Wb

ب. النسبة المئوية لعدم اليقين في $N\Phi$ = النسبة المئوية لعدم اليقين في A

النسبة المئوية لعدم اليقين في نصف القطر:

$$= \frac{0.2}{5.0} \times 100\% = 4.0\%$$

النسبة المئوية لعدم اليقين في $N\Phi$:

$$= 2 \times 4.0\% = 8.0\%$$

قيمة عدم اليقين المطلق في الفيض المغناطيسي الكلي:

$$= 0.08 \times 7.9 \times 10^{-4} = 0.6 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

٢١. الفيض المغناطيسي الكلي:

$$N\Phi = NBA$$

$$= 120 \times 1.2 \times 0.05 \times 0.075 = 0.54 \text{ Wb}$$

٢٢. معدل التغيّر في المساحة $= Lv$:

معدل التغيّر في الفيض المغناطيسي:

$$\varepsilon = \frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = \frac{\Delta(NBA)}{\Delta t}$$

$$= B \times (Lv) = BLv \ (N = 1)$$

قانون فاراداي: مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة = معدل التغيّر في الفيض المغناطيسي الكلي. لذلك، $\varepsilon = BLv$

٢٣. التغيّر في الفيض المغناطيسي $= B \times$ التغيّر في المساحة

$$\Delta(N\Phi) = 1.5 \times (0.10 \times 0.02) = 3.0 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

استخدم قانون فاراداي لتحديد القوة الدافعة الكهربائية المستحثة:

$$\varepsilon = \frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = \frac{3.0 \times 10^{-3}}{0.50} = 6.0 \times 10^{-3} \text{ V}$$

بدلًا من ذلك يمكنك استخدام $\varepsilon = BLv$:

$$v = \frac{0.02}{0.50} = 0.040 \text{ m s}^{-1}$$

$$B = 1.5 \text{ T}$$

$$L = 0.10 \text{ m}$$

٢٤. يعطي قانون فاراداي القوة الدافعة الكهربائية المستحثة:

$$\varepsilon = \frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = \frac{BAN}{\Delta t}$$

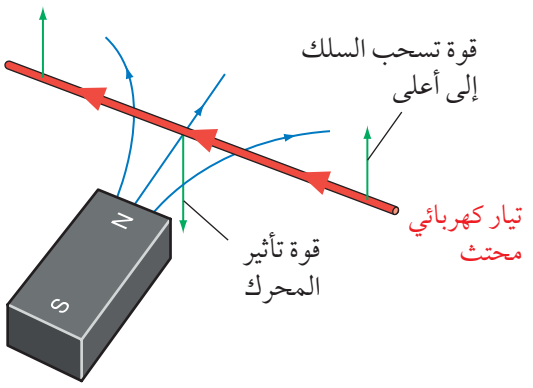
وبإعادة الترتيب نحصل على B:

$$B = \frac{\varepsilon \Delta t}{AN} = \frac{0.40 \times 0.20}{12 \times 10^{-4} \times 2000} = 0.33 \text{ T}$$

٢٥. **أ.** التوقف عن دفع المغناطيس يعني أنه لا يوجد تغيّر في الفيض المغناطيسي الكلي، لذلك لا يتولّد تيار كهربائي، وبالتالي لا تتشكّل أقطاب مغناطيسية ولا يُبذل شغل، لأنه لا يوجد حركة.

ب. سحب المغناطيس يعني أن الفيض المغناطيسي في الفيض المغناطيسي الكلي يتناقص، ويصبح قطب الملف الحلزوني القريب من المغناطيس جنوبيًا، لذلك يجذب كل من القطبَين الآخر، فيُبذل شغل عند سحب المغناطيس لإبعاده عن الملف.

٢٦.



٢٧. **أ.** لأنه يوجد زيادة مفاجئة في الفيض المغناطيسي الكلي في الملف، لذلك وبناء على قانون فاراداي فإنه ينتج قوة دافعة كهربائية مستحثة.

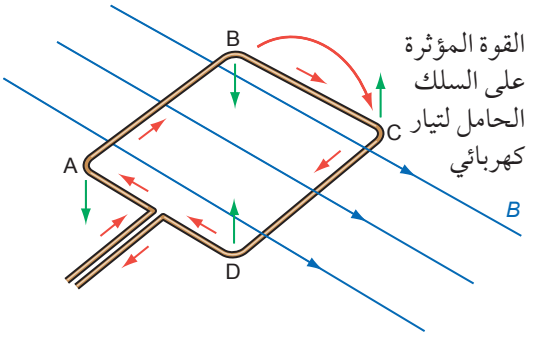
ب. لأنه لا يوجد تغيّر في الفيض المغناطيسي الكلي في الملف عندما يكون المغناطيس بكامله داخل الملف، لذلك لا توجد قوة دافعة كهربائية مستحثة (ملاحظة: سيُحدث القطب الأمامي للمغناطيس قوة دافعة كهربائية مستحثة في اللفات التي يمر بها، في حين سيحدث القطب الخلفي قوة دافعة كهربائية

مستحثة في اللفات التي يمر بها مساوية لها بالمقدار ومعاكسة لها بالاتجاه).

ج. عندما يترك المغناطيس الملف، فإن الفيض المغناطيسي الكلي في الملف ينخفض، لذلك تنعكس القوة الدافعة الكهربائية المستحثة (إشارة سالبة)، أي يكون اتجاه القوة الدافعة الكهربائية المستحثة معاكسًا (قانون لنز)؛ تكون ذروة القوة الدافعة الكهربائية أكبر، لأن المغناطيس يتحرك أسرع عندما يترك الملف (بسبب تسارع الجاذبية الأرضية)؛ ويكون معدل تغيّر الفيض المغناطيسي الكلي أكبر.

٢٨. عندما تكون المصابيح مضاءة، سوف تبذل شغلًا ضد قوة تأثير المحرك الناتجه عن التيار الكهربائي المستحث؛ في حين عندما تكون المصابيح مطفأة، فإنه لا يوجد تيار كهربائي مستحث (ومع ذلك توجد قوة دافعة كهربائية مستحثة) ولكن لا توجد قوة تأثير المحرك.

٢٩.



٣٠. يتولّد تيار كهربائي متردد، إذ يدور عادة قضيب مغناطيسي داخل ملف ثابت، فعندما يعبر القطب الشمالي أحد أضلاع الملف، يتدفق التيار الكهربائي باتجاه معيّن، وعندما يعبر القطب الجنوبي الضلع نفسه فإن التيار الكهربائي يعكس اتجاهه.

٣١. حسب قانون فاراداي فإن القوة الدافعة الكهربائية المستحثة تتغير بتغير هذه الكميات كالآتي:

B أكبر تعني أن الفيض المغناطيسي أكبر، لذلك تكون $\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t}$ أكبر، وبالتالي $\varepsilon \propto B$.

A أكبر تعني أن الفيض المغناطيسي أكبر، لذلك تكون $\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t}$ أكبر، وبالتالي $\varepsilon \propto A$.

N أكبر تعني أن الفيض المغناطيسي الكلي أكبر، لذلك تكون $\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t}$ أكبر، وبالتالي $\varepsilon \propto N$.

f أكبر تعني أن معدل تغيّر الفيض المغناطيسي الكلي أكبر، لذلك تكون $\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t}$ أكبر، وبالتالي $\varepsilon \propto f$.

٣٢. يكون الفيض المغناطيسي الكلي لمصدر التيار الكهربائي المستمر ثابتًا، أي لا يوجد تغيّر في الفيض المغناطيسي، وبالتالي لا توجد قوة دافعة كهربائية مستحثة وفقًا لقانون فاراداي.

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. ب

٢. ج

٣. أ. (تُعطى القوة F بـ $F = BIL \sin\theta$)

تكون القوة قصوى عندما تكون الزاوية θ بين السلك والمجال المغناطيسي $90°$ (أي عندما يكون السلك عموديًا على خطوط المجال المغناطيسي أي $\sin\theta = 1$).

ب. تكون القوة صفرًا عندما تكون الزاوية θ بين السلك والمجال المغناطيسي $0°$ (أي يكون السلك موازيًا للمجال المغناطيسي).

٤. أ. $F = BIL \propto I$ (شدة التيار الكهربائي $F \propto$)، لذلك، تزداد القوة بعامل 3.0 لتصل إلى القيمة 1.41×10^{-2} N

ب. $F = BIL \propto \Delta B$ (القوة $\propto$ التغيّر في كثافة الفيض المغناطيسي)، لذلك، تنخفض القوة إلى النصف أي إلى القيمة 2.35×10^{-3} N

ج. $F = BIL \propto \Delta L$ (القوة ∝ طول السلك في المجال المغناطيسي)، لذلك تنخفض القوة إلى 40% من قيمتها الابتدائية أي إلى القيمة 1.88×10^{-3} N

٥. أ. $F = BIL \sin\theta$

$$B = \frac{F}{IL \sin\theta} = \frac{3.8 \times 10^{-3}}{1.2 \times 0.03 \times \sin 50^\circ}$$

$= 0.138$ T ≈ 0.14 T

ب. يعطى الاتجاه بواسطة قاعد اليد اليسرى لفليمنج، ويواجه السلك قوة إلى داخل مستوى الورقة.

٦. أ. يكون اتجاه التيار الكهربائي من Y إلى X. وذلك لأنه في Q يكون اتجاه المجال المغناطيسي الناشئ عن التيار الكهربائي فوق السلك من الغرب إلى الشرق. وتبيّن قاعدة اليد اليمنى أن اتجاه التيار الكهربائي يكون نحو أعلى الصفحة.

ب. تشير البوصلة P إلى أن اتجاه المجال المغناطيسي يكون إلى الشمال الغربي.

ج. تشير البوصلة Q إلى أن اتجاه المجال المغناطيسي يكون إلى الشمال الغربي عندما نعكس اتجاه التيار الكهربائي.

٧. أ. $F = BIL = 4.5 \times 10^{-3} \times 2.5 \times 0.07$

$= 7.88 \times 10^{-4} \approx 7.9 \times 10^{-4}$ N

ب. لأن المجال المغناطيسي هو في اتجاه التيار الكهربائي (أو باتجاه السلك).

ج. وفقًا لقاعدة اليد اليسرى لفليمنج فإن الضلع PQ سوف يخضع لقوة تتجه عموديًا إلى خارج مستوى الصفحة، في حين سوف يخضع الضلع RS لقوة تتجه عموديًا إلى داخل مستوى الصفحة.

لذلك يدور الإطار مع اتجاه عقارب الساعة (عندما ينظر إليه من طرف الضلع PS).

٨. أ. يتجه المجال المغناطيسي من اليسار إلى اليمين.

ب. القوة = وزن الشريط الورقي

$F = mg = 60 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \times 9.81$

$= 5.89 \times 10^{-4}$ N $\approx 5.9 \times 10^{-4}$ N

ج. $B = \frac{F}{IL} = \frac{5.89 \times 10^{-4}}{8.5 \times 0.052}$

$= 1.33 \times 10^{-3}$ T ≈ 1.3 mT

د. سوف يتحرّك الإطار إلى الأعلى وإلى الأسفل ببطء.

٩. أ. يبيّن المخطط سلكًا ومجالًا مغناطيسيًا وطريقة لقياس القوة (مثل المخططات المشابهة إما للشكل ٥–١٠ أو ٥–١١ الوارد في كتاب الطالب).

قِس شدة التيار الكهربائي I ومقدار القوة F، ويمكن أن تكون طريقة قياس القوة على سبيل المثال، بأخذ الفرق في قراءة ميزان الكفة العلوية (للميزان الإلكتروني) (بوحدة kg) مضروبًا في 9.81

قِس طول السلك L الذي يحقق زاوية قائمة مع المجال المغناطيسي.

$B = \frac{F}{IL}$

ب. ١. باستخدام قاعدة اليد اليسرى، يكون المجال المغناطيسي أفقيًا نحو الشمال، وتكون القوة نحو الأعلى وبذلك يكون التيار الكهربائي من الغرب إلى الشرق.

٢. $I = \frac{F}{BL}$

$= \frac{0.02}{1.6 \times 10^{-5} \times 3.0} = 417 \approx 420$ A

١٠. أ. لأن السلك يحمل تيارًا كهربائيًا في مجال مغناطيسي، لذلك يواجه قوة؛ ويكون اتجاه

القوة على الميزان الإلكتروني إلى الأعلى؛ لذلك تقل قراءة الميزان.

ب. وفقًا للقانون الثالث لنيوتن، يكون اتجاه القوة على السلك إلى الأسفل؛ لتنتج قوة إلى الأعلى على الميزان الإلكتروني.

ويكون اتجاه التيار الكهربائي في السلك من اليسار إلى اليمين وفقًا لقاعدة اليد اليسرى.

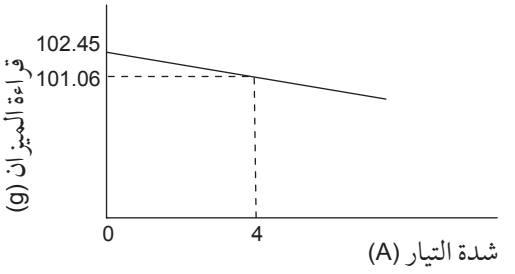
ج. القوة على السلك:

$$(102.45 - 101.06) \times 10^{-3} \times 9.81 = 0.0136 \text{ N}$$

$$B = \frac{F}{IL} = \frac{0.0136}{4.0 \times 5.0 \times 10^{-2}} = 0.068 \text{ T}$$

د. يُعنوَن المحوران في التمثيل البياني، وتوضع قراءتا الميزان عليه عندما تكون شدة التيار الكهربائي صفرًا و 4 A.

تنخفض قراءة الميزان خطيًا مع شدة التيار الكهربائي.



١١. ب

١٢. أفضل توضيح لذلك هو أن الملف الثانوي مصنوع من سلك معزول، لذلك لا يمكن أن يتدفق تيار من القلب الحديدي إلى الملف الثانوي (بدلًا من ذلك، فإذا صنعت قطعًا صغيرة في القلب، ووضعت فيه قطعة من الورق، فإن القوة الدافعة الكهربائية المستحثة تبقى موجودة في الملف على الرغم من أن الورق يعزله، ولكن ستقلّ القوة الدافعة الكهربائية المستحثة؛ لأن كمية الفيض في القلب سوف تقل إذا لم يشكّل القلب دائرة كاملة من الحديد).

يُستحث تيار كهربائي لأن هناك تغيّرًا في الفيض المغناطيسي الذي يربط الملف الثانوي، ويعود هذا التغيّر في الفيض إلى التغيّر في شدة التيار الكهربائي في الملف الابتدائي.

١٣. أ. الفيض في لفة واحدة:

$$\Phi = BA = 20 \times 10^{-3} \times (5.0 \times 10^{-2})^2$$

$$= 5.0 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

ب. القوة الدافعة الكهربائية المستحثة:

$$\varepsilon = \frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = \frac{100 \times 5.0 \times 10^{-5}}{0.1}$$

$$= 5.0 \times 10^{-2} \text{ V}$$

١٤. القوة الدافعة الكهربائية المستحثة:

$$\varepsilon = \frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = BLv$$

$$= 5.0 \times 10^{-5} \times 40 \times 300 = 0.60 \text{ V}$$

قيمة عدم اليقين المطلق:

$$\frac{10}{300} \times 0.60 = 0.02 \text{ V}$$

(لذلك فإن $V = 0.60 \pm 0.02$ V)

١٥. عندما لا يكون هناك فيض مغناطيسي كلي، فإن تغيّر الفيض المغناطيسي يكون بأقصى معدّل، وبالتالي تكون قيمة القوة الدافعة الكهربائية المستحثة قصوى.

وعندما تكون قيمة الفيض المغناطيسي الكلي قصوى، فإنه لحظيًا لا يتغيّر؛ وبالتالي لا توجد قوة دافعة كهربائية مستحثة.

١٦. أ. يكون الفيض المغناطيسي الكلي 1 Wb، عندما يعبر ملف يتكوّن من لفة واحدة ومساحة مقطعة العرضي 1 m^2 مجالًا مغناطيسيًا مقداره 1 T بزاوية قائمة مع مساحة مقطعه العرضي.

(ويمكن أن تكون لمساحات أخرى وأعداد لفات أخرى).

ب. ١. $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{0.6 \times 1.2 \times 10^{-4}}{0.2}$

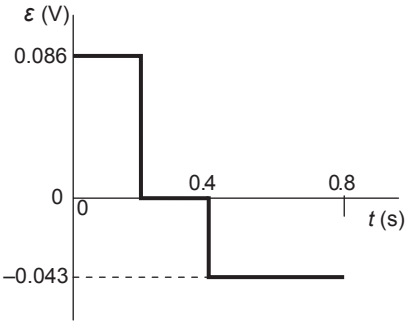
$= 3.6 \times 10^{-4}$ Wb s^{-1}

٢. $\varepsilon = \frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = 240 \times 3.6 \times 10^{-4}$

$= 0.0864 \approx 8.6 \times 10^{-2}$ V

٣. تكون القوة الدافعة الكهربائية المستحثة صحيحة وثابتة بين 0 s و 0.2 s، وتكون صفرًا بين 0.2 s و 0.4 s.

وتكون القوة الدافعة الكهربائية المستحثة سالبة ومقدارها يساوي نصف القيمة في إجابة الجزئية ٢ بين 0.4 s و 0.8 s



١٧. أ. ١. الزمن المستغرق = $\frac{\text{المسافة}}{\text{السرعة}}$

$t = \frac{0.02}{0.5} = 4.0 \times 10^{-2}$ s

٢. الفيض المغناطيسي الكلي:

$N\Phi = NBA$

$= 150 \times 0.30 \times (0.02 \times 0.02)$

$= 1.8 \times 10^{-2}$ Wb

ب. لأن معدل التغيّر في الفيض المغناطيسي ثابت.

ج. الفيض المغناطيسي الكلي الابتدائي = 0

والفيض المغناطيسي الكلي النهائي = 1.8×10^{-2} Wb

مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة = معدل تغير الفيض المغناطيسي الكلي

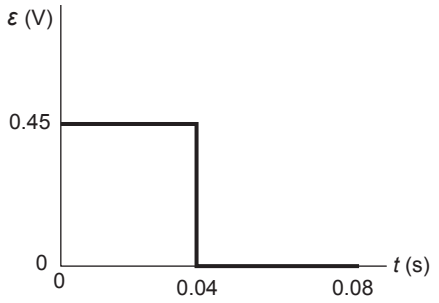
$\varepsilon = \frac{1.8 \times 10^{-2} - 0}{4.0 \times 10^{-2}} = 0.45$ V

(بالمقدار فقط)

د. عندما يكون الملف داخل المجال تمامًا، تكون القوة الدافعة الكهربائية المستحثة صفرًا.

والسبب في ذلك هو عدم وجود تغيير في الفيض المغناطيسي الكلي.

هـ.



محوران صحيحان ومعنوَنان، وقوة دافعة كهربائية مستحثة ثابتة بين 0 s و 0.04 s، وقوة دافعة كهربائية مستحثة صفرًا بين 0.04 s و 0.08 s

١٨. أ. تتناسب القوة الدافعة الكهربائية المستحثة طرديًا مع معدل التغيّر في الفيض المغناطيسي الكلي.

ب. ١. $\Phi = BA = 50 \times 10^{-3} \times \pi \times (0.1)^2$

$= 1.57 \times 10^{-3} \approx 1.6 \times 10^{-3}$ Wb

٢. التغير في الفيض المغناطيسي الكلي:

$\Delta(N\Phi) = 600 \times 1.57 \times 10^{-3} - 0$

$\Delta(N\Phi) = 0.942 \approx 0.94$ Wb

(مقدار فقط)

٣. القوة الدافعة الكهربائية المستحثة:

$\varepsilon = \frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = \frac{0.942}{0.12} = 7.85 \approx 7.9$ V

١٩. أ. ١. التغيّر في الفيض المغناطيسي يسبب قوة دافعة كهربائية مستحثة. لأن أشعة العجلة تقطع خطوط المجال المغناطيسي أو

تمسح الدائرة (المكوّنة من شعاع ونقطتَي التوصيل) الفيض المغناطيسي.

٢. بزيادة شدة المجال المغناطيسي (كثافة الفيض المغناطيسي)، الأمر الذي يتسبب في جعل الفيض المغناطيسي الذي يربط الدائرة أكبر، وبالتالي يكون معدل التغيّر في الفيض المغناطيسي أكبر.

بجعل الملف يدور بشكل أسرع، يصبح كل تغيّر في الفيض المغناطيسي يحدث بزمن أقصر، وبالتالي يحدث معدل تغيّر في الفيض المغناطيسي أكبر.

ب. ١. المساحة التي يمسحها شعاع عجلة في كل ثانية:

$= \pi R^2 f = \pi \times (0.15)^2 \times 5$

$= 0.353 \approx 0.35\ m^2\ s^{-1}$

٢. $\varepsilon = \frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = \frac{\Delta(BA)}{\Delta t}$

$= 0.353 \times 5 \times 10^{-3}$

$= 1.77 \times 10^{-3} \approx 1.8 \times 10^{-3}\ V$

إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة

إجابات أسئلة الأنشطة

نشاط ٥-١: خطوط المجال المغناطيسي

١. أ. دائرية تتمركز حول السلك.

ب. تدور عكس اتجاه عقارب الساعة.

ج. الأقرب إلى السلك؛ وتكون خطوط المجال المغناطيسي متقاربة بعضها من بعض.

د. ستكون خطوط المجال المغناطيسي دائرية مع اتجاه عقارب الساعة.

هـ. ستصبح خطوط المجال المغناطيسي متقاربة أكثر بعضها من بعض.

٢. أ. اليد اليمنى.

ب. إلى اتجاه التيار الكهربائي.

ج. إلى اتجاه خطوط المجال المغناطيسي.

٣. أ. اليد اليمنى.

ب. إلى اتجاه خطوط المجال المغناطيسي داخل الملف.

ج. إلى اتجاه التيار الكهربائي حول الملف.

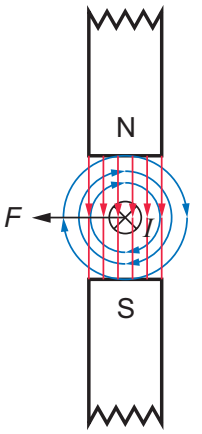
د. زيادة شدة التيار الكهربائي، زيادة عدد لفات الملف لوحدة الطول، إضافة قلب حديدي.

هـ. سوف يتجاذبان؛ سيكون للملف الثاني قطب جنوبي في نهايته اليمنى وسيجذب القطب الشمالي للملف الأول.

و. بعكس اتجاه التيار الكهربائي في أحد الملفَّين.

نشاط ٥-٢: القوة المؤثرة على سلك يسري فيه تيار كهربائي

١. أ-ج.



د. تلغي خطوط المجال المغناطيسي وخطوط المجال المغناطيسي المحيط بالتيار الكهربائي إلى اليسار بعضها بعضًا (لأنها متعاكسة بالاتجاه)؛ وتجمع (تضاف) خطوط المجال المغناطيسي وخطوط المجال المغناطيسي المحيط بالتيار الكهربائي إلى اليمين، لذلك تكون القوة إلى اليسار.

٢. أ. يمثل الإبهام اتجاه القوة.

يمثل الإصبع الأول (السبّابة) اتجاه المجال المغناطيسي.

يمثل الإصبع الثاني (الوسطى) اتجاه التيار الكهربائي.

ب. تكون القوة عمودية على الصفحة وباتجاه داخل الصفحة في الشكل ٥-٤ (ب)، ويكون اتجاه القوة إلى أعلى الصفحة في الشكل ٥-٤ (ج).

٣. أ. F : القوة (الوحدة نيوتن، N).

B : كثافة الفيض المغناطيسي (الوحدة تسلا، T).

I : شدة التيار الكهربائي (الوحدة أمبير، A).

L : طول الموصل (الوحدة متر، m).

ب. $B = \frac{F}{IL}$

وحدة B = $[N][A]^{-1}[m]^{-1}$

بما أن $F = ma$ ، وحدتها

$[N] = [kg][m][s]^{-2}$

وبالتعويض نحصل على:

وحدة B =

$[kg][m][s]^{-2}[A]^{-1}[m]^{-1} = [kg][A]^{-1}[s]^{-2}$

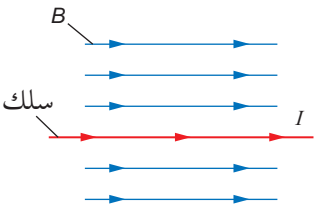
ج. $\vec{B}$ و $\vec{F}$ و I

د. $F = BIL \sin\theta$

هـ. $F = BIL \sin\theta$

$= 0.250 \times 0.30 \times 0.40 \times \sin 90° = 0.030$ N

و.



٤. أ. $F = BIL \sin\theta$

$B = \frac{F}{IL \sin\theta} = \frac{8.0 \times 10^{-3}}{200 \times 10^{-3} \times 0.1 \times \sin 90°}$

$= 0.40$ T

ب. $F = BIL \sin\theta$

$= 32 \times 10^{-6} \times 5.0 \times 1.0 \times \sin 90°$

$= 1.6 \times 10^{-4}$ N

ج. وزن السلك = 0.2 N تقريبًا؛ 1000 مرّة أكبر من مقدار القوة المغناطيسية.

٥. أ. إلى الأسفل من القطب الموجب إلى القطب السالب للبطارية.

ب. يكون اتجاه المجال المغناطيسي عموديًا إلى داخل الصفحة. يشير الإصبع الأوسط من اليد اليسرى إلى أسفل الصفحة، ويشير الإبهام إلى اليمين في اتجاه القوة، وتشير السبّابة إلى اتجاه المجال المغناطيسي.

نشاط ٥-٣: الفيض المغناطيسي وكثافة الفيض المغناطيسي والفيض المغناطيسي الكلي

١. الفيض المغناطيسي: كثافة الفيض المغناطيسي عموديًا على دائرة مضروبًا في مساحة المقطع العرضي.

الفيض المغناطيسي الكلي: الفيض المغناطيسي عبر ملف مضروبًا في عدد اللفات.

كثافة الفيض المغناطيسي: القوة المؤثرة لكل وحدة تيار كهربائي لكل وحدة طول على سلك موضوع بزاوية قائمة مع المجال المغناطيسي.

الويبر: الفيض المغناطيسي الذي يمر عبر مساحة 1 m^2 عندما تكون كثافة الفيض المغناطيسي 1 T

٢. أ. تعطي كثافة الفيض المغناطيسي شدة المجال المغناطيسي أو مدى تقارب خطوط المجال بعضها من بعض.

يخبرنا الفيض المغناطيسي بعدد الخطوط التي تمر عبر دائرة ما، على سبيل المثال ملف.

يعطينا الفيض المغناطيسي الكلي عدد الخطوط التي تحسب لكل لفة على حدة أو بطريقة أخرى تحسب في كل مرة يمر فيها الخط من خلال لفة مختلفة.

ب. الفيض المغناطيسي = Wb

كثافة الفيض المغناطيسي = T (أو $Wb\ m^{-2}$)

الفيض المغناطيسي الكلي = Wb

أو (Wb-turns)

ج. الفيض المغناطيسي كله يمر من الملف الابتدائي إلى الملف الثانوي (لا شيء يمر عبر الهواء)؛ في حين يكون للملفَّين عدد مختلف من اللفات.

٣. أ. أن تضع فاطمة مستوى الحلقة بزاوية 90° مع المجال المغناطيسي (يكون العمودي على الحلقة موازيًا لاتجاه المجال المغناطيسي).

ب. الفيض المغناطيسي:

$\Phi = BA$

$= 5.0 \times 10^{-5} \times 1.8 \times 10^{-4}$

$= 9.0 \times 10^{-9}$ Wb

ج. لأنه توجد لفة واحدة فقط في الحلقة ($N = 1$).

٤. الفيض المغناطيسي الكلي:

$N\Phi = NBA$

وبما أنّ مركّبة $\vec{B}$ العمودية على A هي:

$= B \sin\theta$

فبالتالي يصبح الفيض المغناطيسي الكلي:

$= NBA \sin\theta$

٥. أ. في هذه الحالة يكون الفيض المغناطيسي عند حده الأقصى $= BA$

أي أن الحد الأقصى للفيض:

$= 0.028 \times 2.5 \times 10^{-4} = 7.0 \times 10^{-6}$ Wb

ب. في هذه الحالة يكون الفيض المغناطيسي عند حده الأدنى $= 0$

ج. مركّبة $\vec{B}$ العمودية على A هي:

$= B \sin\theta = 0.028 \times \sin30° = 0.014$ T

الفيض المغناطيسي:

$= 0.014 \times 2.5 \times 10^{-4} = 3.5 \times 10^{-6}$ Wb

أو:

$\Phi = BAN \cos\theta$

$= 0.028 \times 2.5 \times 10^{-4} \times \cos 60°$

$= 3.5 \times 10^{-6}$ Wb

٦. مساحة الملف A:

$= 0.020 \times 0.020 = 4.0 \times 10^{-4}$ m^2

الفيض المغناطيسي الكلي $= BAN \sin\theta$ (حيث θ هي الزاوية بين مستوى الملف والمجال المغناطيسي).

الفيض المغناطيسي الكلي:

$N\Phi = 2.8 \times 10^{-2} \times 4.0 \times 10^{-4} \times 50 \times \sin35°$

$= 3.2 \times 10^{-4}$ Wb

٧. أ. $\Phi = BA = 0.010 \times 2.0 \times 10^{-4}$

$= 2.0 \times 10^{-6}$ Wb

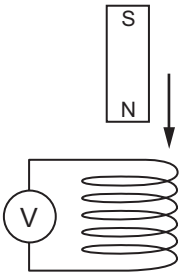
ب. الفيض المغناطيسي الكلي $= N\Phi$

$$N = \frac{\text{الفيض المغناطيسي الكلي}}{\Phi}$$

$$= \frac{3.0 \times 10^{-5}}{2.0 \times 10^{-6}} = 15 \text{ لفة}$$

نشاط ٥-٤: قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي وقانون لنز

١. أ. يجب أن يُظهر الرسم التخطيطي مجالًا مغناطيسيًا، وموصلًا (أو ملفًا)، وفولتميتر، أو راسم ذبذبات (c.r.o.) أو أميتر للكشف عن القوة الدافعة الكهربائية، على سبيل المثال:



ب. يجب أن يشرح كيفية تحقّق التغيّر في الفيض المغناطيسي الكلي وكذلك يشرح القياسات التي تم إجراؤها على الكاشف، على سبيل المثال: حرّك الملف خارج المجال المغناطيسي، ولاحظ الحدّ الأقصى لفرق

الجهد على راسم الذبذبات. كرّر إبعاد الملف في نصف الزمن الذي استغرقته من قبل، تجد أن تغيّر الفيض المغناطيسي الكلي هو نفسه ولكن معدل التغيّر يتضاعف مرتَين وكذلك قراءة راسم الذبذبات.

٢. أ. لأن الفيض المغناطيسي في الملف يتغيّر وشكل الملف مع المقاومة دائرة مغلقة.

ب. قطب شمالي؛ لأنه يتنافر مع القطب الشمالي للمغناطيس الذي يقترب منه أو يقلّل من (يقاوم) زيادة الفيض المغناطيسي.

ج. قطب شمالي؛ لأنه يتجاذب مع القطب الجنوبي للمغناطيس الذي يتركه أو يقلّل من (يقاوم) تناقص الفيض المغناطيسي.

د. لأن المغناطيس يتحرك أسرع عندما يترك الملف؛ فيكون معدل تغيّر الفيض المغناطيسي أكبر.

هـ. استخدام مغناطيس أقوى؛ تحريك المغناطيس أسرع؛ زيادة عدد اللفات في الملف؛ خفض مقدار المقاومة.

٣. أ. لأن هناك تغيّرًا في الفيض المغناطيسي خلال الملف عندما يدور الملف.

ب. لأن الفيض المغناطيسي يكون صفرًا في هذه المرحلة ولكن تغيره يكون أكبر ما يمكن.

ج. زيادة عدد اللفات أو تدوير الملف أسرع أو استخدام ملف ذي مساحة مقطع عرضي أكبر أو استخدام مجال مغناطيسي أقوى؛ كل هذه تزيد من معدل تغيّر الفيض المغناطيسي الكلي خلال الملف:

$$\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = \frac{\Delta(NBA)}{\Delta t}$$

يؤدي تدوير الملف أسرع إلى تقليل زمن التغيّر.

نشاط ٥-٥: المزيد حول قانون فاراداي

١. $T\ m^2\ s^{-1}$ ؛ V ؛ $J\ C^{-1}$

٢. أ. الفيض المغناطيسي الكلي:

$$N\Phi = NBA$$
$$= 50 \times 0.20 \times 8.0 \times 10^{-4}$$
$$= 8.0 \times 10^{-3}\ Wb$$

ب.
$$\varepsilon = \frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = \frac{8.0 \times 10^{-3}}{50 \times 10^{-3}} = 0.16\ V$$

ج. يتغير الفيض المغناطيسي الكلي من $8.0 \times 10^{-3}\ Wb$ إلى $-8.0 \times 10^{-3}\ Wb$ في الزمن نفسه. لذلك يتضاعف التغيّر في الفيض المغناطيسي الكلي في الزمن نفسه.

$$\varepsilon = 2 \times 0.16 = 0.32\ V$$

٣.
$$\varepsilon = \frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = NA\frac{\Delta B}{\Delta t}$$
$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{\varepsilon}{NA} = \frac{12}{3000 \times 2.0 \times 10^{-4}} = 20\ T\ s^{-1}$$

٤.
$$\varepsilon = \frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = \frac{\Delta(NBA)}{\Delta t}$$

بإعادة ترتيب معادلة ε للحصول على Δt:

$$\Delta t = \frac{\Delta(NBA)}{\varepsilon} = \frac{200 \times 0.090 \times 1.6 \times 10^{-3}}{15}$$
$$= 1.9 \times 10^{-3}\ s$$

٥. أ.
$$\varepsilon = \frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = \frac{\Delta(NBA)}{\Delta t}$$
$$= \frac{1 \times 5.0 \times 10^{-4} \times 6.0 \times 10^{-4}}{0.60} = 5.0 \times 10^{-7}\ V$$

باستخدام $V = IR$ وبإعادة ترتيب المعادلة:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{5.0 \times 10^{-7}}{3.6} = 1.4 \times 10^{-7}\ A$$

ب. لأن الفيض المغناطيسي عبر حلقة السلك لا يتغيّر.

٦. أ. لأنه عند الحد الأقصى للفيض المغناطيسي يكون الفيض ثابتًا لحظيًا.

ب. لأن معدل تغير الفيض المغناطيسي يكون أكبر ما يمكن.

٧. أ. $\varepsilon = \frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = \frac{0.20}{0.100} = 2.0\ \text{V}$

(هذه القيمة ستكون سالبة)

ب. $\varepsilon = \frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = \frac{0.20 - 0.10}{0.200} = 0.5\ \text{V}$

(هذه القيمة ستكون موجبة)

ج. $\varepsilon = 0\ \text{V}$ (لأنه لا يوجد تغيّر في الفيض المغناطيسي الكلي).

٨. أ. 0 ms ، 20 ms ، 40 ms ، 60 ms ، 80 ms أو 100 ms

ب. 10 ms ، 30 ms ، 50 ms ، 70 ms أو 90 ms

ج. القوة الدافعة الكهربائية المستحثة.

د. القوة الدافعة الكهربائية المستحثة هي ميل التمثيل البياني.

مماس الرسم عند 40 ms يعطي الميل:

$= \frac{2.0 - (-2.0)}{0.048 - 0.032} = 250\ \text{V}$

القيمة القصوى للقوة الدافعة الكهربائية المستحثة = 250 V

هـ. القيمة القصوى للفيض المغناطيسي الكلي:

$= 2.0\ \text{Wb} = BAN$

$B = \frac{2.0}{AN} = \frac{2.0}{1.6 \times 10^{-2} \times 500} = 0.25\ \text{T}$

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. أ. القوة المؤثرة لكل وحدة تيار كهربائي لكل وحدة طول على سلك موضوع بزاوية قائمة مع المجال المغناطيسي ووحدة قياسها التسلا Tesla (T).

ب. ١. قطب شمالي.

٢. قوة تنافر؛ لأن القطب الجنوبي للملف الزنبركي A يواجه القطب الجنوبي للملف الزنبركي B.

٣. القوتان متساويتان في المقدار (لكن اتجاههما متعاكسان)؛ وهذا مثال على القانون الثالث لنيوتن. يكون للملف الزنبركي A تيار كهربائي شدته أكبر ويتأثر بمجال أضعف؛ ويكون للملف الزنبركي B تيار كهربائي شدته أصغر ويتأثر بمجال أقوى، والقوتان الناتجتان متساويتان ومتعاكستان.

٢. أ. $F = BIL \sin\theta$

$F = 2.8 \times 10^{-4} \times 0.60 \times 0.40 \times \sin 90^\circ$

$= 6.7 \times 10^{-5}\ \text{N}$

(يتجه عموديًا إلى داخل الصفحة).

ب. $F = BIL \sin\theta$

$F = 2.8 \times 10^{-4} \times 0.60 \times 0.50 \times \frac{40}{50}$

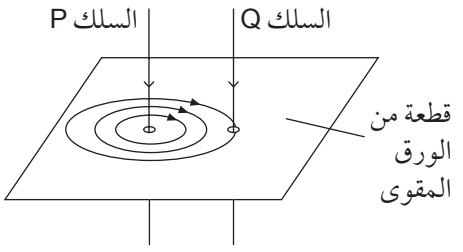
(بما أن $\sin\theta = \frac{40}{50}$ من المثلث)

$F = 6.7 \times 10^{-5}\ \text{N}$

(تتجه عموديًا إلى خارج الصفحة).

ج. يكون اتجاه التيار الكهربائي موازيًا للمجال المغناطيسي، لذلك $\theta = 0^\circ$ و $\sin\theta = 0$ (أو التيار الكهربائي لا يقطع خطوط المجال المغناطيسي).

٣. أ. بالنسبة إلى السلك Q: دائري حول السلك، وبالنظر إليه من أعلى يكون اتجاهه باتجاه عقارب الساعة.



تكون الدوائر أقرب بعضها من بعض بالقرب من السلك ممّا هي أبعد عن السلك.

ب. ١. السهم نحو السلك Q

٢. القوتان هما نفساهما ولكن اتجاهما متعاكس (أو كلا السلكَين يتجاذبان) بالرجوع إلى القانون الثالث لنيوتن. أو على الرغم من أن شدة التيار الكهربائي في السلك P أكبر منه في السلك Q فإن المجال المغناطيسي عند P بسبب Q أصغر من المجال المغناطيسي عند Q بسبب P.

٤. أ. تتجه القوة على السلك إلى الأعلى بالرجوع إلى القانون الثالث لنيوتن.

ب. $F = mg = 0.0026 \times 9.81 = 0.026\ \text{N}$

$F = BIL$

$$B = \frac{F}{IL} = \frac{0.026}{3.4 \times 0.056} = 0.13\ \text{T}$$

ج. تزيد قراءة الميزان بمقدار $(2.6 \sin 60° = 2.25\ \text{g})$ فقط عند تشغيل التيار الكهربائي.

القوة المؤثرة على السلك هي $BIL \sin\theta$ حيث θ هي الزاوية بين المجال المغناطيسي والسلك.

٥. أ. ١. تنشأ أي قوة دافعة كهربائية مستحثة باتجاه معيّن بحيث ينتج عنها تأثيرات تقاوم التغيّر الذي أنتجها.

٢. يوصل الأميتر الحساس على التوالي مع الملف ويتم إدخال قطب معروف من مغناطيس في الملف، وسيلاحظ مرور تيار كهربائي باتجاه معيّن من خلال الأميتر. يقترح قانون لنز أن التيار الكهربائي يكون باتجاه معيّن لينتج القطب نفسه لقطب المغناطيس في نهاية الملف، وبالتالي يتنافر مع المغناطيس. توضّح قاعدة قبضة اليد اليمنى أن هذه هي الحالة التي تحدث، إذا كان اتجاه التيار الكهربائي معروفًا من الأميتر.

ب. ١. مساحة الملف A:

$A = 0.050 \times 0.080 = 0.0040\ \text{m}^2$

الفيض المغناطيسي الكلي:

$\Phi = BAN = 0.15 \times 0.0040 \times 40 = 0.024\ \text{Wb}$

٢. $\varepsilon = -\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = \frac{-(0 - 0.024)}{3.0} = 0.0080\ \text{V}$

٣. الاتجاه من اليسار إلى اليمين داخل الملف، حيث يقاوم المجال المغناطيسي الناشئ من التيار المستحث في الملف انخفاض المجال المغناطيسي الذي يسببه المغناطيس الكهربائي.

٦. أ. يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة طرديًا مع معدّل تغيّر الفيض المغناطيسي الكلي.

ب. ١. يعطي الڤولتميتر قراءة باتجاه معيّن، ثم يُظهر صفرًا ثم يُظهر قراءة بالاتجاه المعاكس بالقيمة نفسها.

٢. عندما يحرّك المغناطيس إلى داخل الملف، فإنه يحدث زيادة في الفيض المغناطيسي وزيادة في معدل تغيّر الفيض المغناطيسي عبر الملف، وهذا يستحث قوة دافعة كهربائية باتجاه معيّن. وعندما يتوقف المغناطيس، فإنه لا يوجد معدل تغير في الفيض المغناطيسي ولا توجد قوة دافعة كهربائية. أما عند إزالة المغناطيس، فإنه يوجد معدل لتغير الفيض المغناطيسي معاكس (سالب وليس موجبًا) وتتكوّن قوة دافعة كهربائية باتجاه معاكس.

٣. تكون القيمة القصوى للقوة الدافعة الكهربائية المستحثة أكبر، ولكن لفترة زمنية أقصر، ويمكن تفسير ذلك بأن التغيّر في الفيض المغناطيسي الكلي هو نفسه ولكن لأنه يحدث في زمن أقصر فينتج عنه معدل تغيّر أكبر.

ج. ١. مركّبة $\vec{B}$ العمودية على مستوى الملف:

$$B\cos\theta = 0.15 \times \cos 60^\circ = 0.075 \text{ T}$$

$$\Phi = BA\sin\theta = 0.075 \times 4.0 \times 10^{-4}$$

$$= 3.0 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

٢.
$$\varepsilon = -\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = \frac{N\Delta(\Phi)}{\Delta t}$$

$$= -\frac{5.0 \times (0 - 3.0 \times 10^{-5})}{0.25} = 6.0 \times 10^{-3} \text{ V}$$

٣. يتغير الفيض المغناطيسي عبر الملف جيبيًا، $\Phi = BA\cos\omega t$. لذلك يكون الفيض المغناطيسي في بعض الأوقات ثابتًا لحظيًا، وفي أوقات أخرى يتغيّر بسرعة كبيرة. لذلك معدل تغيّر الفيض المغناطيسي ليس ثابتًا.

٧. أ. مساحة النافذة A:

$$A = 0.50 \times 0.90 = 0.45 \text{ m}^2$$

الفيض المغناطيسي الكلي:

$$BAN\cos\theta = 2.0 \times 10^{-5} \times 0.45 \times 1$$

$$= 9.0 \times 10^{-6} \text{ Wb}$$

ب. هناك تغيّر في الفيض المغناطيسي الكلي لأن الدائرة مكونة من حلقة واحدة والزاوية بين مسطح مساحة الإطار والمجال المغناطيسي الأرضي يتغير عندما يغلق الإطار.

ج.
$$\varepsilon = -\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t}$$

$$= \frac{-(9.0 \times 10^{-6} - 0)}{0.40} = -2.3 \times 10^{-5} \text{ V}$$

إجابات ملحق كتاب التجارب العملية والأنشطة

إجابات أسئلة الملحق: مهارات التمثيلات البيانية المتقدمة

١. أ. 1.00

ب. 2.30

ج. 2.00

د. 0.699

هـ. 10

و. 1.65

٢. $\log 48 = 1.68$

$\log 3 + 4 \log 2 = 0.477 + 4 \times 0.301 = 1.68$

وهما متساويان لأن:

$\log 48 = \log(3 \times 2^4) = \log 3 + \log 2^4 = \log 3 + 4 \log 2$

٣. أ. $y^2 = k^2 x^3$

تعطي تمثيلًا بيانيًا لـ y^2 مقابل x^3 مع ميل يساوي k^2 ولا يوجد نقطة تقاطع، أو:

$y = kx^{3/2}$

تعطي تمثيلًا بيانيًا لـ y مقابل $x^{3/2}$ مع ميل يساوي k ولا يوجد نقطة تقاطع، أو:

$\ln y = \ln (kx^{3/2})$

$\ln y = \frac{3}{2} \ln (kx^{3/2})$

تعطي تمثيلًا بيانيًا لـ $\ln y$ مقابل $\ln x$ مع ميل يساوي $\frac{3}{2}$ ونقطة تقاطع مع المحور الصادي (y) تساوي $\ln k$.

المحور الصادي (y)	المحور السيني (x)	الميل	نقطة التقاطع مع المحور الصادي (y)
y^2	x^3	k^2	0
y	$x^{3/2}$	k	0
$\ln y$	$\ln x$	$\frac{3}{2}$	$\ln k$

ب. $\ln y = \ln (cx^q)$

$\ln y = q \ln x + \ln c$

تعطي تمثيلًا بيانيًا لـ $\ln y$ مقابل $\ln x$ مع ميل يساوي q، ونقطة تقاطع مع المحور الصادي (y) تساوي $\ln c$.

ج. $y^2 = \frac{8x}{mB}$

تعطي تمثيلًا بيانيًا لـ y^2 مقابل x مع ميل يساوي $\frac{8}{mB}$ ؛ ولا يوجد نقطة تقاطع، أو:

$\ln y = \frac{1}{2} \ln x + \frac{1}{2} \ln \frac{8}{mB}$

تعطي تمثيلًا بيانيًا لـ $\ln y$ مقابل $\ln x$ مع ميل يساوي $\frac{1}{2}$ ونقطة تقاطع مع المحور الصادي (y) تساوي $\frac{1}{2} \ln \frac{8}{mB}$.

د. $\ln y = \ln (y_0 e^{kx})$

$\ln y = kx \ln e + \ln y_0$

$\ln y = kx + \ln y_0$

تعطي تمثيلًا بيانيًا لـ $\ln y$ مقابل x مع ميل يساوي k، ونقطة تقاطع مع المحور الصادي (y) تساوي $\ln y_0$.

هـ. $Rx^2 = y - y_0$

$y = Rx^2 + y_0$

تعطي تمثيلًا بيانيًا لـ y مقابل x^2 مع ميل يساوي R، ونقطة تقاطع مع المحور الصادي (y) تساوي y_0.

٤. **تعريف المشكلة:**

إيجاد تسارع الجاذبية الأرضية باستخدام خيط وكتلة صغيرة.

المتغيرات في التجربة:

- غيّر l أو اعتبر l المتغيّر المستقل.
- حدّد الزمن الدوري T أو اعتبر T هو المتغيّر التابع.

طرائق جمع البيانات:

- مخطط يوضّح البندول البسيط، ومرفق بالأدوات على سبيل المثال، حامل ومثبّتات (ملاقط).
- يجب قياس الزمن (t) لعدد من الاهتزازات الكاملة (n) لتحديد متوسط الزمن الدوري ($n \geq 10$).
- قياس طول الخيط l باستخدام مسطرة مترية أو مسطرة.
- قياس طول الخيط إلى مركز كتلة (جاذبية) كرة البندول.
- استخدام القدمة ذات الورنية أو الميكرومتر لقياس قطر كرة البندول وبالتالي تحديد مركز كتلتها.
- تسجيل ما لا يقل عن خمس قيم مختلفة مختارة لطول الخيط l.
- مدى قيم طول الخيط l لا تقل عن 50 cm

طريقة التحليل:

- تمثيل بياني مناسب، على سبيل المثال T^2 مقابل طول الخيط l، أو $\ln T$ مقابل $\ln l$.
- الميل = $\frac{4\pi^2}{g}$ (إذا كان T^2 مقابل l) أو تكون نقطة التقاطع مع المحور الصادي (y) في حالة التمثيل البياني لـ $\ln T$ مقابل $\ln l = \ln\left(\frac{2\pi}{\sqrt{g}}\right)$
- حساب g من الميل أو من خلال نقطة التقاطع مع المحور الصادي حسب التمثيل البياني المختار.

احتياطات الأمان والسلامة:

- احتياطات الأمان ذات الصلة المتعلقة باستخدام الكتل، على سبيل المثال تجنب سرعة الحركة العالية للكتلة، وإبعاد القدمين عن مكان حركة الكتلة، والحفاظ على مسافة عن التجربة، واستخدام حامل ذي مثبّتات (ملاقط) لتجنب سقوط الحامل.

تفاصيل إضافية: نقاط ذات صلة يمكن تضمينها:

- مناقشة استخدام مجسّ الحركة، على سبيل المثال، البوابات الضوئية مع تفاصيل استخدامها.
- استخدم اهتزازات ذات سعة صغيرة أو زاوية اهتزاز صغيرة (للتأكّد من صحة المعادلة).
- طريقة إحكام تثبيت الخيط، على سبيل المثال استخدام مشبك تثبيت.

مناقشة مقدار الكتلة:

- أن تكون الكتلة كبيرة بما يكفي بحيث لا تقلّل مقاومة الهواء من سعة اهتزازتها بشكل ملحوظ.
- استخدام علامة تتبّع.
- قياس الزمن من منتصف تأرجح البندول.

٥. تستخدم الكتل (العيارية) القياسية للحمل. وتكون قيمة عدم اليقين في الكتل أصغر بكثير من أي قيم أخرى في التجربة، لذلك فعدم اليقين يكون ضئيلًا أو مهملًا.

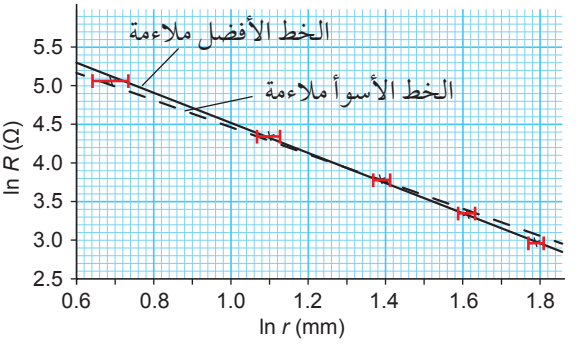
٦. أ. $\ln R = \ln a + b \ln r$

الميل = b، نقطة التقاطع مع المحور الصادي (y) تساوي $\ln a$

ب.

ln *R* (Ω)	ln *r* (mm)	*R* (Ω)	*r* (mm)
5.16	0.69 ± 0.05	175.0	2.0 ± 0.1
4.35	1.10 ± 0.03	77.8	3.0 ± 0.1
3.78	1.39 ± 0.02	43.8	4.0 ± 0.1
3.33	1.61 ± 0.02	28.0	5.0 ± 0.1
2.97	1.79 ± 0.02	19.4	6.0 ± 0.1

ج، د.



هـ. ميل الخط الأفضل ملاءمة:

$$= \frac{(2.95 - 5.30)}{(1.80 - 0.60)} = -1.96$$

ميل الخط الأسوأ ملاءمة:

$$= \frac{(3.05 - 5.15)}{(1.80 - 0.60)} = -1.75$$

قيمة عدم اليقين في الميل:

$$= -1.75 - -1.96 = 0.21 = 0.2$$

(برقم معنوي واحد)

الميل = -2.0 ± 0.2

(يتم تقريب الميل إلى عدد ثابت من المنازل العشرية مثل قيمة عدم اليقين).

و. $b = -2.0 \pm 0.2$

ز. بأخذ $\ln R = 5.3 \pm 0.1$ عندما تكون: $\ln r = 0.6$

$$5.3 = \ln a - 2 \times 0.6$$

$\ln a = 6.5 \pm 0.1$ و $a = (665 \pm 70)\ mm^2$

تم بحمد الله

الفيزياء – دليل المعلّم

يُعدّ دليل المعلّم المكوّن الداعم المصاحب لكتاب الطالب وكتاب التجارب العملية والأنشطة، حيث يقدم الدعم للمعلّم للتخطيط لدروس رائعة وتغطية محتوى المنهج الدراسي، بما في ذلك الاستقصاءات العملية، إضافة إلى ذلك فإنه يوفر مجموعة متنوعة من أفكار التدريس النشطة في كل الموضوعات، مع تحديد المدة الزمنية المقترحة لكل فكرة. كما يتضمن دعمًا لتطوير مهارات الاستقصاء لدى الطلبة وتعزيزها، من خلال شرح مفصل تم تصميمه بما يتوافق مع أهداف التعلم، وتتوافر في الدليل إرشادات للملخص، ودعم التعليم المتمايز (تفريد التعليم)؛ بالاضافة إلى أفكار خلّاقة عن الكثير من الأنشطة، ما يعطي السلسلة قيمة إضافية.

كما يتضمن هذا الدليل إجابات نموذجية لأسئلة كتاب الطالب، وأسئلة كتاب التجارب العملية والأنشطة.

يشمل منهج الكيمياء للصف الثاني عشر من هذه السلسلة أيضًا:

- كتاب الطالب.
- كتاب التجارب العملية والأنشطة.

www.moe.gov.om

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS