سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

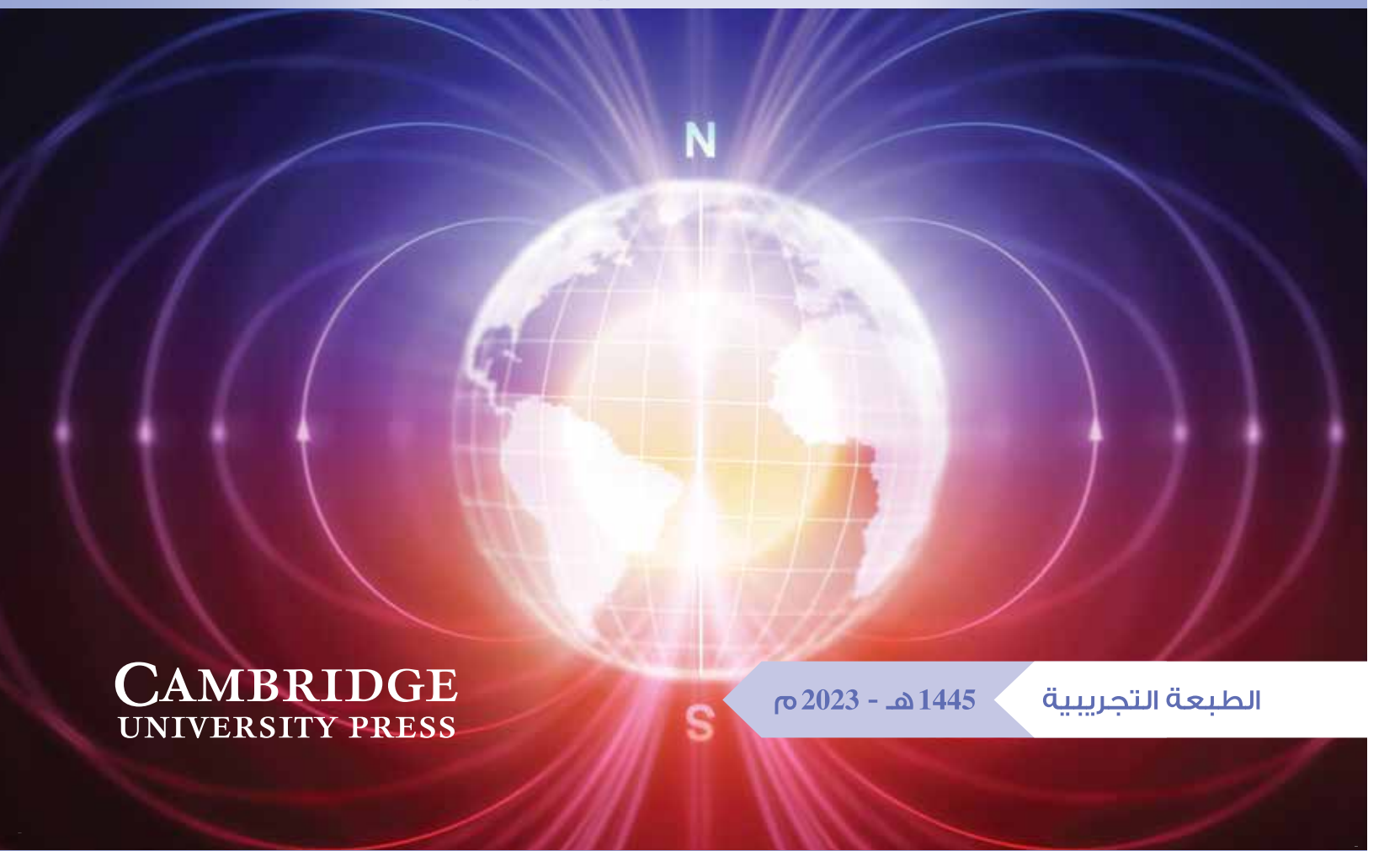
رؤية عمان 2040
نتقدم بثقة
Moving Forward with Confidence

الفيزياء

الصف الثاني عشر

كتاب التجارب العملية والأنشطة

الفصل الدراسي الثاني



CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

الطبعة التجريبية
1445 هـ - 2023 م



سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

الفيزياء

الصف الثاني عشر

كتاب التجارب العملية والأنشطة

الفصل الدراسي الثاني

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 كتاب التجارب العملية والأنشطة – الفيزياء للصف الثاني عشر – من سلسلة كامبريدج للفيزياء لمستوى الدبلوم العام والمستوى المتقدم AS & A Level للمؤلفين غراهام جونز، وستيف فيلد، وكريس هوليت، ودايفد ستايلز.

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.

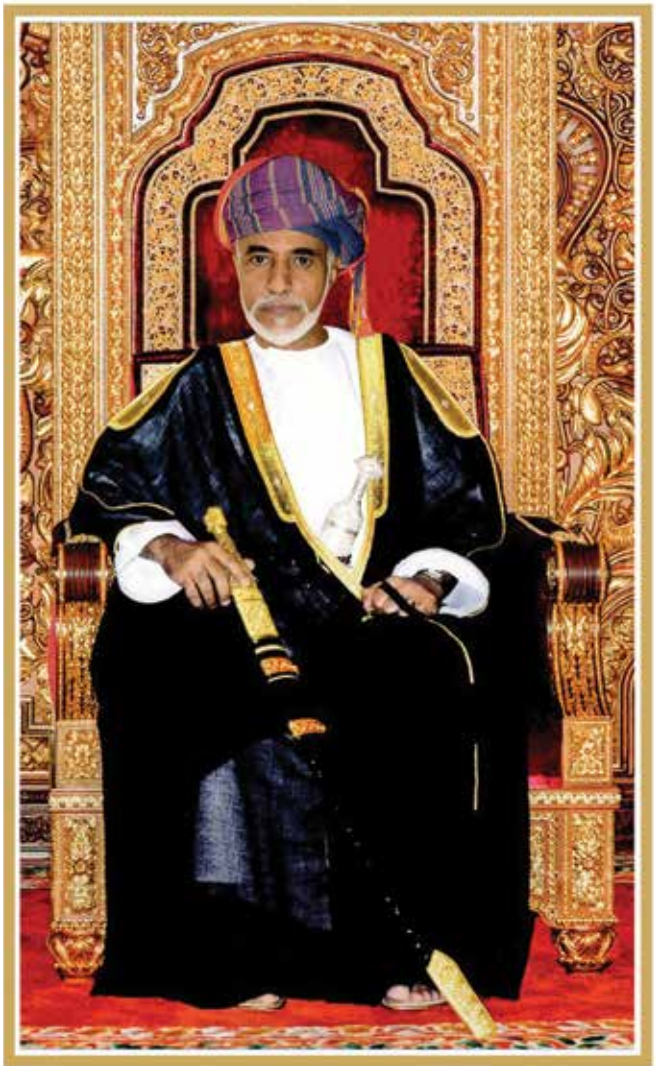
تمت مواءمة الكتاب

بموجب القرار الوزاري رقم ٢٠٢٣/٣٦ واللجان المنبثقة عنه



جميع حقوق الطبع والتأليف والنشر محفوظة لوزارة التربية والتعليم

ولا يجوز طبع الكتاب أو تصويره أو إعادة نسخه كاملًا أو مجزّأً 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 xii
كيف تستخدم هذه السلسلة xiv
كيف تستخدم هذا الكتاب xvi
الأمان والسلامة في مختبر الفيزياء xvii
البحث العلمي والمهارات العملية xviii

الوحدة السادسة: الموجات

الأنشطة:

٦-١ المصطلحات الأساسية والتمثيلات البيانية للموجات ٢٢
٦-٢ المزيد حول فرق الطور ٢٥
٦-٣ شدة الموجة وقياس الزمن والطيف الكهرومغناطيسي ٢٧
٦-٤ تأثير دوبلر ٣٠

الاستقصاءات العملية:

٦-١ قانون التربيع العكسي للموجات من مصدر نقطي ٣٣

الوحدة السابعة: تراكب الموجات

الأنشطة:

٧-١ تراكب الموجات والتداخل ٤٢
٧-٢ تجارب التداخل ثنائي المصدر ٤٥
٧-٣ تجربة الشق المزدوج: الوصف والحسابات ٤٧
٧-٤ الحيود ومحزوز الحيود ٥٢
٧-٥ كيف يؤدي مبدأ تراكب الموجات إلى موجات مستقرة ٥٦
٧-٦ استخدام أنماط الموجات المستقرة ٦١
٧-٧ استخدام المصطلحات الصحيحة لشرح الموجات المستقرة ٦٣
٧-٨ تخطيط التجارب على الموجات المستقرة ٦٨

الاستقصاءات العملية:

٧-١ التخطيط لقياس طول موجة ليزر باستخدام محزوز الحيود ٧٢
٧-٢ الموجات المستقرة على سلك يحمل تيارًا كهربائيًا ٧٥

الوحدة الثامنة: فيزياء الكم

الأنشطة:

٨-١ الضوء: هل هو موجة أم جسيم؟ ٨٥
٨-٢ المعادلة الكهروضوئية ٨٩
٨-٣ الأطياف الخطية ٩٢
٨-٤ طول موجة دي بروي ٩٥

الاستقصاءات العملية:

٨-١ تحديد ثابت بلانك ٩٨

الوحدة التاسعة: الفيزياء النووية

الأنشطة:

٩-١ وزن المعادلات النووية ١٠٦
٩-٢ النقص في الكتلة وطاقة الربط النووي ١٠٧
٩-٣ طاقة الربط لكل نيوكليون والاندماج النووي والانشطار النووي ١١١
٩-٤ عمر النصف وثابت الانحلال ١١٤

الاستقصاءات العملية:

٩-١ تحليل البيانات: إيجاد ثابت الانحلال الإشعاعي ١١٧

المقدمة

خُصّص «كتاب التجارب العملية والأنشطة» لمساعدتك على تطوير المهارات التي سوف تحتاج إليها للنجاح في مادة الفيزياء للصف الثاني عشر، وهو يتضمن:

الأنشطة

توفّر لك الأنشطة الموجودة في هذا الكتاب فرصًا لممارسة المهارات الآتية:

- فهم الظواهر والنظريات العلمية التي تدرسها.
- حل المسائل العددية وغيرها من المسائل المختلفة.
- تنمية التفكير النقدي/الناقد حول التقنيات والبيانات التجريبية.
- القيام بالتنبّؤات، واستخدام الأسباب والتبريرات العلمية لدعم تنبؤاتك.

وقد تم تصميم «كتاب التجارب العملية والأنشطة» لدعم «كتاب الطالب»، إذ يتضمن موضوعات مختارة خصيصًا بحيث يمكن للطلبة الاستفادة من الفرص لتحقيق المهارات، مثل التطبيق والتحليل والتقييم، بالإضافة إلى تطوير المعرفة والفهم. وستطّلع من المقدمة الموجودة في بداية كل نشاط على المهارات التي ستمارسها وأنت تجيب عن الأسئلة، بحيث يتم ترتيب الأنشطة بما يتلاءم مع ترتيب الوحدات الموجودة في «كتاب الطالب». وفي نهاية كل وحدة، يتم تقديم مجموعة من الأسئلة لتعزيز ودعم المهارات التي اكتسبتها.

الاستقصاءات العملية

تُعدّ الاستقصاءات العملية جزءًا أساسيًا من مادة الفيزياء. فقد تم إجراء العديد من الاكتشافات في عالم الفيزياء وذلك لأن التجارب العملية قد مكّنت من إثبات النظرية بما لا يدع مجالًا للشك، أو أظهرت أن النظريات أو الأفكار بحاجة إلى تغيير. وقد تكون العديد من المبادئ التي ستتعلمها كجزء من كتابك هذا، حتى الوقت الحالي، عبارة عن أمور تقريبية فقط، إذ يدرك الفيزيائيون أنه لا تزال هناك العديد من الاكتشافات التي يجب القيام بها. ومن المحتمل أن يقدم الجيل الذي تنتمي إليه رؤى من شأنها تعزيز فهمنا للعالَم المادي، وتحسين نظرياتنا الحالية، ولكن تذكّر أن العمل المختبري والنظري الذي يقوم به علماء الفيزياء يمكن إثبات صحته من خلال التجارب العملية المناسبة فقط. وقد يكون هذا العمل ضمن نطاق فلكي، مثل تحديد ماهية الجاذبية بالضبط، أو على نطاق مجهري، مثل تحديد كيف يمكن اعتبار أن الجسيمات، كالإلكترونات أو الذرات، لها خصائص موجيّة.

من المسلّم به بشكل عام أن التجارب العملية النوعية والجيدة تطوّر مجموعة من المهارات، والمعرفة والاستيعاب المفاهيمي، حيث تشتمل هذه المهارات، وكذلك الفيزياء أيضًا، على استقصاء حقيقي ذي قيمة لمجتمع العلوم ككل. وهذه المهارات مفيدة في مجالات أخرى مثل الصناعة والأعمال؛ وذلك من خلال تعلم كيفية التعامل مع مشكلة عمليًا، والتخطيط لإجراء استقصاء، وإجراء القياسات المناسبة، وتحليل نتائجك، إضافة إلى أنك ستطوّر مهارات من المحتمل جدًا أن تستفيد منها في حياتك مستقبلًا بشكل جيد.

من المحتمل أن تكون قلقًا، خصوصًا في البداية؛ وذلك لأنك لم تقم سوى بالقليل من التجارب العملية قبل أن تبدأ بدراسة محتوى هذا الكتاب، أو ربما كانت التجارب العملية المختبرية مقتصرة على التعليمات المتعلقة بجمع البيانات، ومحصورة باستخدام أدوات غير مألوفة بالنسبة إليك، أو باتباع الإجراءات المذكورة والتي ربما لم تفهم مضمونها. لذا، تم تصميم هذا الكتاب لمساعدتك على تحسين مهاراتك العملية، إضافة إلى مساعدتك على الاستعداد لأداء اختباراتك العملية. ويتم تطوير المهارات التي ستحتاج إليها خلال دراستك لهذا الكتاب، وذلك أثناء تقدمك في دراسة كتاب «التجارب العملية والأنشطة». لهذا، سوف تخطط لإجراء استقصاءات بنفسك، وأخذ القياسات وتحليل النتائج الخاصة بك. إذ يجب عليك أن تحصل على ملكية هذه النتائج، وتستغل وقتك العملي بشكل جيد.

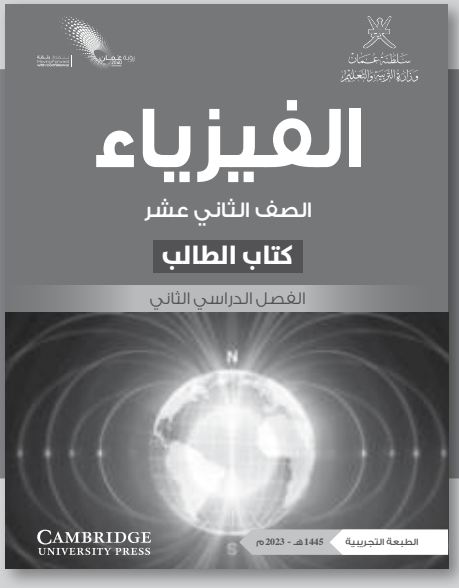
لا تجري الاستقصاءات دائمًا كما هو متوقع؛ فبعض الحوادث، كالتوصيل الكهربائي العالي مثلًا، لم تمنع الفيزيائيين من متابعة استكشافاتهم. وعندما لم تنجح التجربة كانوا يقومون بتحليل النتائج غير المتوقعة، ثم يفكرون مليًا في المشكلات التي حالت دون اكتمال التجربة. يمكنك القيام بالشيء نفسه، بحيث يمكنك التعلّم من الاستقصاءات التي لا تكتمل، ومن تلك التي اكتملت أيضًا، وهذا يتطلب تفكيرًا جيدًا، على أمل أن يحفّز هذا الأمر اهتمامك ويشدّ عزيمتك، إضافة إلى مساعدتك على تطوير مهارات قيّمة.

وقبل كل شيء، استمتع بعملك النظري والعملي، فقد تتفاجأ كم هو ممتع حقًا!

نأمل ألّا يدعمك هذا الكتاب للنجاح في دراستك وحياتك المهنية فحسب، بل يحفّز مدى اهتمامك وفضولك المتعلق بالفيزياء أيضًا.

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 الكتاب

خلال دراستك هذا الكتاب، ستلاحظ الكثير من الميزات المختلفة التي ستساعدك في التعلم. هذه الميزات موضحة على النحو الآتي:

أهداف التعلّم

تظهر هذه الأهداف في بداية كل وحدة دراسية لتقدّم أهداف التعلم ولتساعدك على التنقل في المحتوى.

مهم

ستساعدك المعلومات الواردة في هذه المربعات على إكمال الأنشطة، وستقدم لك الدعم في المجالات التي قد تجدها صعبة.

مصطلحات علمية

يتم تمييز المصطلحات الأساسية في النص عند تقديمها لأول مرة. ثم يتم تقديم تعريفات في الهامش تشرح معاني هذه المصطلحات.

أسئلة

يتخلّل الكتاب أسئلة تساعدك للتدرّب على المهارات العلمية المهمّة لدراسة الفيزياء.

أسئلة نهاية الوحدة

تقيس هذه الأسئلة مدى تحقّق الأهداف التعليمية في الوحدة، وقد يتطلب بعضها استخدام معارف علمية من وحدات سابقة.

أفعال إجرائية

لقد تمّ إبراز الأفعال الإجرائية الواردة في المنهج الدراسي بلون غامق في أسئلة نهاية الوحدة، ويمكن استخدامها في الاختبارات، خصوصًا عندما يتم تقديمها للمرة الأولى. وستجد في الهامش تعريفًا لها.

المعادلة: سوف تساعدك قائمة المعادلات في بداية كل وحدة دراسية على إكمال التجارب العملية والأنشطة.

ستحتاج إلى

تتضمّن قائمة بجميع المواد والأدوات المطلوبة لتنفيذ الاستقصاء العملي.

ترد التعريفات للمفاهيم العلمية والمبادئ والقوانين والنظريات العلمية المهمة في الهامش، ويتم إبرازها في النص بلون غامق عند تقديمه لأول مرة.

الأمان والسلامة في مختبر الفيزياء

- العمل بأمان في مختبر الفيزياء جانب أساسي من جوانب التعلّم الذي يتميّز به العمل التجريبي.
- كن دائمًا مستمعًا جيّدًا للتعليمات، وملتزمًا التوجيهات وقواعد السلوك بعناية.
- إذا لم تكن متأكّدًا من أي جانب من جوانب عملك التجريبي، فلا تتوانَ في سؤال معلّمك، وإذا كنت تودّ تصميم استقصاءٍ خاصّ بك، فاطلب إلى معلّمك أن يتحقّق من خطّتك قبل تنفيذها.
- 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. فإذا 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 أثقالَ في حال 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.

احتياطات الأمان والسلامة في مختبر الفيزياء

البحث العلمي والمهارات العملية

إن تطبيق مهارات البحث العلمي والمهارات العملية من الصفوف السابقة وتطويرها في سياقات جديدة خلال الصفَّين الحادي عشر والثاني عشر مطلب ضروري. وبالإضافة إلى تذكر المعلومات والظواهر والحقائق والقوانين والتعاريف والمفاهيم والنظريات المذكورة في المناهج الدراسية وإلى شرحها وتطبيقها، فمن المتوقع أن يكون الطلبة قادرين على حلّ المسائل في مواقف جديدة أو غير مألوفة باستخدام التفكير المنطقي.

ويُتوقع من الطلبة إظهار استيعابهم للمهارات العملية بما في ذلك القدرة على:

- تخطيط التجارب والاستقصاءات.
- جمع الملاحظات والقياسات والتقديرات وتسجيلها وتقديمها.
- تحليل البيانات الناتجة من التجارب للوصول إلى استنتاجات وتفسيرها.
- تقييم أساليب البيانات الناتجة من التجارب وجودتها واقتراح التحسينات الممكنة للتجارب.

أمثلة على المهارات العملية

في القوائم التالية أمثلة محددة على كل مهارة من المهارات العملية. وهذه الأمثلة المحددة توجّه إلى المزيد من البحث العلمي والمهارات العملية التي يتوقع من الطلبة اكتسابها كجزء من تعلمهم.

إلى ذلك، يجب تطوير المهارات العملية الأربع وتوحيدها في كل وحدة دراسية. إلّا أن بعض الأمثلة المحددة في القوائم قد تكون أكثر صلة بالأنشطة العملية الموصى بها في وحدات دراسية معّينة.

تعطي هذه المهارات أمثلة عن محتوى AO3 ويمكن تقييمها في الورقة العملية.

تخطيط التجارب والاستقصاءات

- تحديد المتغيّرات المستقلة والتابعة وضبطها، ووصف كيفية قياسها وضبطها.
- وصف الإجراءات والتقنيات المستخدمة في التجارب، والتي تؤدي إلى جمع بيانات منطقية ودقيقة. استخدام مخططات واضحة ومصنفة لإظهار ترتيب الجهاز عند الحاجة.
- شرح اختيار الجهاز وأداة القياس للوصول إلى دقة مناسبة في قراءة القياس.
- وصف المخاطر الموجودة في التجربة وكيفية تقليلها.

- التنبؤ بالنتائج ووضع الفرضيات بناء على المعرفة والمفاهيم العامة.
- وصف كيفية استخدام البيانات للوصول إلى استنتاج، بما في ذلك الكمّيات المشتقة التي سوف تحسب بناءً على البيانات الخام لرسم تمثيل بياني مناسب أو وضع مخطط مناسب.

جمع الملاحظات والقياسات والتقديرات وتسجيلها وتقديمها

- تطبيق الطالب لفهمه معنى الضبط والدقة.
- تحديد قيم عدم اليقين في قياس ما كقيم عدم يقين مطلق أو كنسبة مئوية لعدم اليقين.
- جمع القياسات والملاحظات وتسجيلها بشكل منهجي، وتقديم البيانات باستخدام العناوين ووحدات القياس والأرقام ومدى القياسات ودرجات الدقة المناسبة.
- استخدم الطرائق الرياضية أو الإحصائية المناسبة لمعالجة البيانات الخام وتسجيلها حتى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية (يجب أن يكون هذا العدد هو نفسه أو أكثر بواحد من أصغر عدد من الأرقام المعنوية في البيانات المقدمة).

تحليل البيانات الناتجة من التجارب للوصول إلى استنتاجات وتفسيرها

- معالجة البيانات وتقديمها، بما في ذلك الرسوم والمخططات والتمثيلات البيانية باستخدام الخطوط المستقيمة أو المنحنيات الأكثر ملاءمة. وتحليل التمثيلات البيانية، بما في ذلك ميل المنحنيات.
- ربط التمثيلات البيانية ذات الخط المستقيم بالمعادلات ذات الصيغة $y = mx + c$ واشتقاق التعابير التي تعادل الميل و / أو نقطة التقاطع مع المحور الصادي في التمثيل البياني الخاص بها.
- تحديد نقطة التقاطع مع المحور الصادي للتمثيل البياني ذي الخط المستقيم أو الميل لمماس المنحنى بما في ذلك مكان وجودهما على منحنيات التمثيلات البيانية بما في ذلك تلك التي لا تمر بنقطة الأصل.
- تقدير قيمة عدم اليقين المطلق في الميل والتقاطع الصادي للتمثيل البياني.
- جمع قيم عدم اليقين عند إضافة الكميّات أو طرحها وجمع النسب المئوية لعدم اليقين عند ضرب الكميات أو قسمتها.
- رسم الخط المستقيم الأفضل ملاءمة من خلال النقاط الموجودة على التمثيل البياني.
- استخدام قيم الانحراف المعياري أو الخطأ المعياري، أوالتمثيلات البيانية ذات أشرطة الخطأ المعيارية، لتحديد ما إذا كانت الاختلافات في القيم المتوسطة ذات دلالة إحصائية.

- تفسير الملاحظات والبيانات الناتجة من التجارب وتقييمها، وتحديد النتائج غير المتوقعة والتعامل معها بشكل مناسب.
- وصف الأنماط في البيانات والتمثيلات البيانية. وإجراء تنبؤات بناءً على الأنماط في البيانات.
- الوصول إلى الاستنتاجات المناسبة وتبريرها بالإشارة إلى البيانات واستخدام التفسيرات المناسبة، ومناقشة مدى دعم النتائج للفرضيات.

تقييم الأساليب واقتراح التحسينات

- تحديد الأسباب المحتملة لعدم اليقين، في البيانات أو في الاستنتاجات، واقتراح التحسينات المناسبة على الإجراءات وتقنيات إجراء التجارب.
- شرح تأثير الأخطاء المنهجية (بما في ذلك الأخطاء الصفرية) والأخطاء العشوائية على القياسات.
- وصف تعديلات على تجربة ما من شأنها تحسين دقة البيانات أو توسيع نطاق الاستقصاء.

الموجات Waves

أهداف التعلّم

٦-١ يصف الموجات المستعرضة والموجات الطولية ويقارن بينها، مستخدمًا السعة والإزاحة وفرق الطور والزمن الدوري والسرعة والتردد وطول الموجة.

٦-٢ يجد التردد والسعة باستخدام معايرة مقياس الزمن ومعايرة مقياس فرق الجهد الكهربائي لجهاز رسم إشارة الأشعة المهبطية (الأوسيلوسكوب (CRO)).

٦-٣ يحلّل التمثيل البياني لموجات مستعرضة وطولية ويفسره.

٦-٤ يستخدم المعادلة: شدة الموجة = $\frac{\text{القدرة}}{\text{المساحة}}$.

٦-٥ يستخدم العلاقة $I \propto A^2$ (حيث I هي شدة الموجة و A هي سعة الموجة المسافرة).

٦-٦ يستنتج معادلة سرعة الموجة $v = f\lambda$ ويستخدمها.

٦-٧ يشرح سبب اختلاف التردد الملاحظ عن تردد المصدر عندما يكون مصدر الموجات الصوتية متحرّكًا بالنسبة إلى مراقب ثابت (فهم تأثير دوبلر لمصدر ثابت مع مراقب متحرك، ومصدر متحرك مع مراقب متحرك غير مطلوب).

٦-٨ يستخدم المعادلة: $f_o = \frac{f_s v}{(v \pm v_s)}$ للتردد الملاحظ عندما يتحرك مصدر الموجات الصوتية بالنسبة إلى مراقب ثابت.

معادلة سرعة الموجات: $v = f\lambda$

شدة الموجة = $\frac{\text{القدرة}}{\text{المساحة}}$

$I = \frac{P}{A}$

الشدة $\propto$ مربع السعة

$I \propto A^2$

الزمن الدوري = $\frac{1}{\text{التردد}}$

$T = \frac{1}{f}$

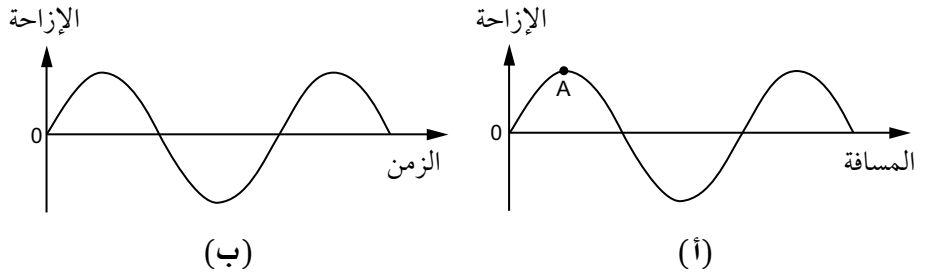
$f_o = \frac{f_s v}{(v \pm v_s)}$

الأنشطة

نشاط ٦-١ المصطلحات الأساسية والتمثيلات البيانية للموجات

في هذا النشاط سوف تستخدم المصطلحات المتعلقة بالموجات وتتدرب على إيجاد **فرق الطور** والرسوم التخطيطية للموجات.

١. يمثل الشكل ٦-١ رسمَين تخطيطيَّين **لموجة مستعرضة**، يوضح الرسم التخطيطي (أ) كيف تختلف الإزاحة باختلاف المسافة في لحظة معيّنة من الزمن؛ أما الرسم التخطيطي (ب) فيوضح كيف تتغير الإزاحة بمرور الزمن لنقطة ما على مسافة معيّنة من المصدر:



الشكل ٦-١: للسؤال ١. التمثيلات البيانية (أ) الإزاحة مقابل المسافة (ب) الإزاحة مقابل الزمن لموجة مستعرِضة.

أ. في الرسمَين التخطيطيَّين قُم بعنونة الكميّات: **السعة**، **طول الموجة**، **الزمن الدوري**.

استخدم الرسم التخطيطي (أ) (الإزاحة – المسافة) للإجابة عن الجزئيات من (ب) إلى (د):

ب. ضَع علامة على نقطة ما تكون في الطور نفسه مع A. قُم بتسمية هذه النقطة B.

ج. ضَع علامة على نقطة ما تختلف بفرق طور °180 مع A، ثم سمِّ هذه النقطة C.

د. حدّد نقطة يكون بينها وبين النقطة A فرق طور يساوي °90، سمِّ هذه النقطة D.

مصطلحات علمية

الطور Phase: الحالة الاهتزازية لجسيم ما من حيث الإزاحة والمسافة.

فرق الطور Phase difference: قياس لمقدار التأخر أو التقدم بين جسيمين في موجة ما، ويقاس بالدرجات أو الراديان.

الموجة المستعرضة Transverse wave: الموجة التي تهتز فيها جسيمات الوسط عموديًا على الاتجاه الذي تنتقل فيه الموجة.

السعة Amplitude: أقصى إزاحة للموجة من موضع الاتزان.

طول الموجة Wavelength: المسافة بين نقطتَين متجاورتَين في موجة مهتزة لكل منهما الإزاحة والاتجاه نفسهما (الطور نفسه).

الزمن الدوري Period: الزمن المستغرق لنقطة ما في موجة لإكمال اهتزازة كاملة.

٢. أ. أكمل هاتَين العبارتَين حول **الموجات المسافرة**:

في **الموجات الطولية** تكون الاهتزازات .....
مع اتجاه انتقال الطاقة.

في الموجات المستعرضة تكون الاهتزازات .....
مع اتجاه انتقال الطاقة.

ب. حدّد في الجدول ٦-١ ما إذا كانت هذه الموجات طولية أم مستعرضة:

نوع الموجة	طولية أم مستعرضة
موجات الراديو	
الموجات فوق الصوتية	
الموجات الميكروية	
الموجات فوق البنفسجية	
موجات على حبل طويل	

الجدول ٦-١ للسؤال ٢ ب.

ج. صِف كيفية استخدام زنبرك طويل لتكوين موجة طولية تنتقل على طول الزنبرك.

.....
.....
.....

د. صِف كيف يمكن استخدام الزنبرك نفسه لتكوين موجة مستعرضة.

.....
.....
.....

٣. يهتز زنبرك طوليًا، ليشكل موجة **بتردد** (2.0 Hz). في لحظة معيّنة، تكون المسافة بين مركزَي **التضاغط والتخلخل** المتجاورَين (16 cm). احسب سرعة الموجة.

.....
.....
.....

مصطلحات علمية

الموجة المسافرة Progressive wave: موجة تحمل طاقة من مكان إلى آخر.

الموجة الطولية Longitudinal wave: الموجة التي تهتز فيها جسيمات الوسط باتجاه موازٍ للاتجاه الذي تنتقل فيه الموجة.

التردد Frequency: عدد الاهتزازات لنقطة ما في موجة لكل ثانية.

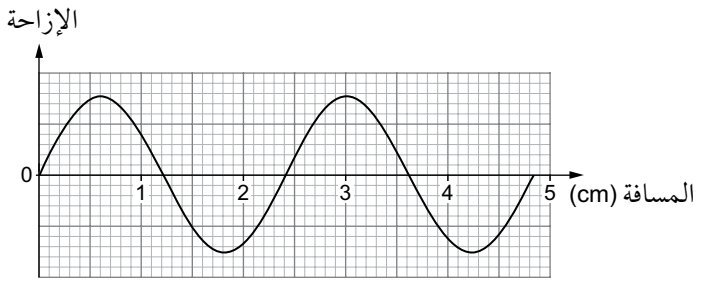
التضاغط Compression: منطقة ما في الموجة الصوتية التي يكون عندها ضغط الهواء أكبر من قيمته المتوسطة.

التخلخل Rarefaction: منطقة ما في الموجة الصوتية التي يكون عندها ضغط الهواء أصغر من قيمته المتوسطة.

مهمّ

تذكّر أن التضاغط هو المكان الذي تقترب فيه ملفات الزنبرك من بعضها، ويقع على بُعد يساوي نصف طول موجة من أقرب تخلخل، حيث تكون الملفات متباعدة.

٤. يوضح الشكل ٦–٢ رسمًا تخطيطيًا لموجة مستعرضة تنتقل إلى اليمين بسرعة ($6.0\ cm\ s^{-1}$):



الشكل ٦–٢: للسؤال ٤. تمثيل بياني يوضح موجة مستعرضة تنتقل إلى اليمين.

أ. جِد الطول الموجي (λ).

.....

ب. استخدم المعادلة $v = f\lambda$ لحساب تردد الموجة.

.....

.....

ج. جِد الزمن الدوري للموجة.

.....

د. على المحاور نفسها، ارسم موضع الموجة بعد مرور (0.20 s).

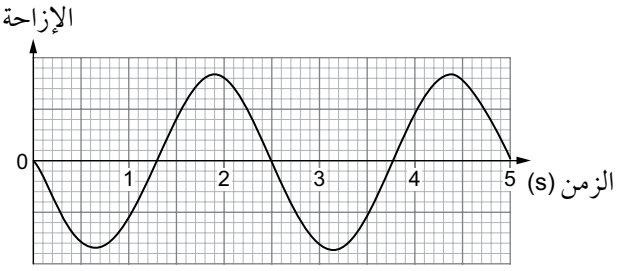
(عليك أن تجد المسافة التي قطعتها الموجة باستخدام المعادلة:

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

.....

.....

٥. يوضح الشكل ٦–٣ كيف تتغير إزاحة جسيم في موجة ما مع مرور الزمن:



الشكل ٦–٣: للسؤال ٥. رسم تخطيطي لإزاحة جسيم في موجة مع مرور الزمن.

أ. جِد الزمن الدوري للموجة.

.....

ب. جِد تردد الموجة.

.....

.....

ج. إذا كانت سرعة الموجة ($16\ cm\ s^{-1}$) فاحسب الطول الموجي (λ).

.....

.....

د. على المحاور نفسها، ارسم التمثيل البياني (الإزاحة – الزمن) لجسيم له فرق طور °90 مع الاهتزازة الموضحة.

.....

.....

.....

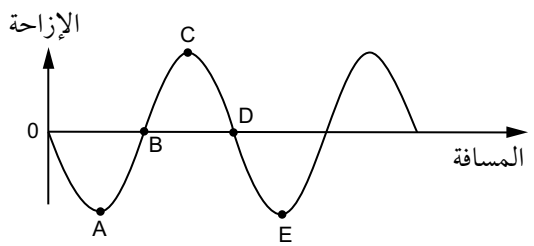
مهمّ

في الجزئية (د) تذكّر أن °360 عبارة عن دورة واحدة كاملة، يجب إزاحة التمثيل البياني الجديد بمقدار زمني $\frac{90}{360}$ من الزمن الدوري.

نشاط ٦-٢ المزيد حول فرق الطور

يركّز هذا النشاط على فرق الطور وكيف يمكن توضيحه في التمثيلات البيانية للموجات.

١. يوضح الشكل ٦-٤ خمس نقاط على الموجة:



الشكل ٦-٤: للسؤال ١. تمثيل يوضح خمس نقاط على موجة ما.

أ. حدد النقطتَين اللتَين لهما فرق طور يساوي صفرًا.

.....

ب. حدد أيّ زوجَين من النقاط لهما فرق طور قدره (°270).

.....

ج. تتحرك الموجة إلى اليمين. في اللحظة الموضحة في التمثيل البياني:

١. اذكر الاتجاه الذي يتحرك فيه الجسيم عند النقطة A.

.....

٢. اذكر الاتجاه الذي يتحرك فيه الجسيم عند النقطة B.

.....

٢. نقطتان على موجة مسافرة تبعد إحداهما عن الأخرى بمقدار (25 cm) وتختلفان في الطور بمقدار (°90).

أ. اشرح كيف توضح هذه المعلومات أن الطول الموجي (λ) هو (100 cm).

.....

.....

.....

ب. جِد المسافة بين نقطتَين على الموجة فرق الطور بينهما (°270).

.....

.....

ج. نقطتان على الموجة تفصل بينهما مسافة (15 cm). احسب فرق الطور بين النقطتَين.

.....

.....

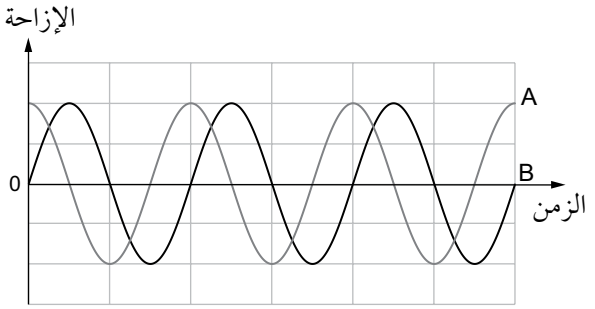
٣. اشرح المقصود بفرق الطور.

.....

.....

.....

٤. يوضح الشكل ٦–٥ تغير الإزاحة مع الزمن لنقطتَين A و B على الحبل نفسه:



الشكل ٦–٥: للسؤال ٤. تمثيل بياني يوضح تغير الإزاحة مع الزمن لنقطتَين A و B على الحبل نفسه.

أ. قارن سعة حركتَي A و B.

.....

.....

ب. قارن تردد حركتَي A و B.

.....

.....

ج. قارن طور حركتَي A و B.

.....

.....

نشاط ٦-٣ شدة الموجة وقياس الزمن والطيف الكهرومغناطيسي

يتضمن هذا النشاط بعض الأفكار الأكثر تقدمًا حول الموجات، مثل **الشدة والطيف الكهرومغناطيسي** واستخدام مقياس الزمن لجهاز رسم إشارة الأشعة المهبطية (الكاثودية) (الأوسيلوسكوب CRO) لقياس الزمن. ولقد درست عن الموجات الكهرومغناطيسية في الصف العاشر.

مصطلحات علمية

الشدة Intensity: معدل الطاقة (القدرة) المنقولة عبر وحدة المساحة العمودية على اتجاه انتشار الموجة.

الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic spectrum: مجموعة الموجات الكهرومغناطيسية التي تنتقل عبر الفراغ بسرعة ($3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$).

١. موجتان لهما التردد نفسه سعة إحداها (1.5 cm) والأخرى (3.0 cm).

احسب النسبة: $\frac{\text{شدة موجة ذات سعة 1.5 cm}}{\text{شدة موجة ذات سعة 3.0 cm}}$

تذكّر: الشدة $\propto$ مربع السعة.

.....

.....

٢. يوضح الجدول ٦–٢ موجة ابتدائية سعتها (A_0) وشدتها (I_0)، وموجات أخرى لها التردد نفسه ولكن مع شدة وسعة مختلفتَين. أكمل الجدول ٦–٢ محددًا السعة والشدة للموجات، بدلالة (A_0) و (I_0).

	السعة	الشدة
الموجة الابتدائية	A_0	I_0
الموجة A	$\frac{1}{2} A_0$	
الموجة B		$\frac{1}{2} I_0$
الموجة C	$3A_0$	
الموجة D		$16\ I_0$

الجدول ٦–٢ للسؤال ٢.

٣. موجة ضوئية شدتها ($2000\ W\ m^{-2}$).

أ. احسب الطاقة الساقطة في الثانية على مربع طول ضلعه (0.50 m) موضوع بزاوية قائمة مع اتجاه انتقال الموجة.

.....

.....

ب. اشرح سبب انخفاض الطاقة الساقطة في الثانية في الجزئية (أ) عندما لا تصنع مساحة المربع زاوية قائمة مع اتجاه انتقال الموجة.

.....

.....

.....

ج. احسب مساحة السطح الذي يستقبل (6000 J) من الضوء خلال (30 s).

.....

.....

٤. يوضح الجدول ٦-٣ التردد وطول الموجة لبعض الموجات الكهرومغناطيسية. أكمل هذا الجدول (سرعة انتقال جميع الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ $3.00 \times 10^8\ m\ s^{-1}$):

التردد (Hz)	طول الموجة (m)	منطقة الطيف
	3.0×10^{-2}	الموجات الميكروية
	5.0×10^{-7}	الضوء المرئي
	6.0×10^{-10}	الأشعة السينية
5.0×10^{7}		موجات الراديو
6.0×10^{22}		أشعة جاما
3.0×10^{13}		الأشعة تحت الحمراء

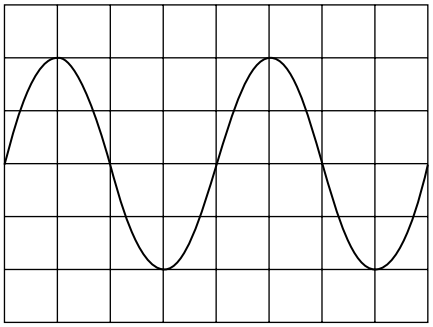
الجدول ٦-٣ للسؤال ٤.

٥. يوضح التمثيل البياني في الشكل ٦-٦ موجة صوتية على شاشة جهاز رسم إشارة الأشعة المهبطية (الأوسيلوسكوب).

يمثل المربع الواحد على المحور (x) من شاشة العرض (0.5 ms):

مهمّ

يمثل المحور السيني الزمن، لذا ابحث عن عدد الأقسام أو المربعات لدورة واحدة ثم استخدم «معيار مقياس الزمن» البالغ (0.5 ms).



الشكل ٦-٦: للسؤال ٥. تمثيل بياني يوضح الموجة الصوتية على جهاز الأوسيلوسكوب.

أ. جِد الزمن الدوري لموجة الصوت.

.....

ب. استخدم معادلة (الزمن الدوري = $\frac{1}{\text{التردد}}$) لإيجاد تردد الصوت.

.....

.....

ج. صوت آخر متصل بجهاز أوسيلوسكوب مختلف وظهر التمثيل البياني نفسه. جِد تردد الصوت إذا كان المربع الواحد على المحور السيني الخاص بجهاز الأوسيلوسكوب يمثل (2.0 ms).

.....

.....

.....

نشاط ٦-٤ تأثير دوبلر

يختبر هذا التمرين فهمك لما يسببه **تأثير دوبلر** وبخاصة للصوت، وستتدرب أيضًا على استخدام معادلة تأثير دوبلر عندما يتحرك المصدر.

مصطلحات علمية

تأثير دوبلر Doppler effect: التغيّر في التردد أو طول الموجة الملاحظ لموجة عندما يتحرك مصدر الموجة باتجاه المراقب أو بعيدًا عنه (أو يتحرك المراقب بالنسبة إلى المصدر).

١. يلاحظ مراقب ثابت ازديادًا في التردد عندما يتحرك مصدر الصوت نحوه. يقترح ثلاثة طلبة أن الازدياد في التردد ناتج عن:

- كون السرعة المتجهة للصوت في الهواء أكبر لأن المصدر يتحرك.
- تكدّس الموجات معًا لأن المصدر يتحرك نحو المراقب.
- زيادة شدة الصوت كلما اقترب المصدر.

أ. اذكر أيَّ الاقتراحات هو الأفضل وصفًا.

.....

.....

.....

ب. اشرح سبب زيادة تردد الصوت مع اقتراب المصدر.

.....

.....

.....

٢. صافرة قطار تصدر صوتًا بتردد (400 Hz) أثناء تحركه بسرعة ($40\ m\ s^{-1}$). الصوت الذي يسمعه مراقب يقف قريبًا جدًا من مسار القطار يكون له تردد أكبر من (400 Hz) عند اقتراب القطار، إذا علمت أن سرعة الصوت في الهواء ($340\ m\ s^{-1}$)، فاحسب:

أ. التردد الذي سمعه المراقب عند اقتراب القطار.

.....

.....

ب. التردد الذي سمعه المراقب أثناء تحرك القطار مبتعدًا عنه.

.....

.....

٣. سيارة شرطة تتحرك بسرعة ($30\ m\ s^{-1}$) مُطلِقةً صفارات الإنذار الخاصة بها بتردد (2500 Hz). احسب التردد المسموع عند اقتراب السيارة مباشرة من بعض المراقبين، إذا علمت أن سرعة الصوت في الهواء ($340\ m\ s^{-1}$).

.....

.....

.....

٤. مكبر صوت يصدر عنه نغمة بتردد (300 Hz) يدور في دائرة أفقية بسرعة ($20\ m\ s^{-1}$). احسب الحد الأقصى والحد الأدنى للترددات التي يسمعها مراقب ثابت، إذا علمت أن سرعة الصوت في الهواء ($340\ m\ s^{-1}$).

.....

.....

.....

٥. تحلّق طائرة مباشرة فوق رأس مراقب ثابت، وتردد صوت المحرك المسموع على الأرض قبل الإقلاع يساوي (250 Hz). عندما تقترب الطائرة من المراقب، فإن التردد الذي يسمعه هو (300 Hz)، إذا علمت أن سرعة الصوت في الهواء ($340\ m\ s^{-1}$)، فاحسب:

أ. سرعة الطائرة.

.....

.....

ب. التردد الذي يسمعه المراقب أثناء تحرك الطائرة بعيدًا عنه بالسرعة نفسها.

.....

.....

٦. يتحرك قطار على طول مسار مستقيم بسرعة ثابتة، ويصدر بوق القطار صوتًا بتردد (600 Hz). يسمع مراقب ثابت بجوار المسار الصوت الصادر عن البوق بتردد (660 Hz) (سرعة الصوت في الهواء $340\ m\ s^{-1}$).

أ. احسب مقدار السرعة المتجهة للقطار وحدّد اتجاهها بالنسبة إلى المراقب.

.....

.....

.....

ب. صِف كيف يكون التردد الذي يسمعه مراقب آخر يقف بعيدًا عن مسار القطار.

.....

.....

.....

الاستقصاءات العملية

استقصاء عملي ٦-١: قانون التربيع العكسي للموجات من مصدر نقطي

أهداف الاستقصاء العملي

- جمع الملاحظات والقياسات والتقديرات وتسجيلها وتقديمها.
- تحليل البيانات الناتجة من التجارب للوصول إلى استنتاجات وتفسيرها.

تنشر الموجات من مصدر نقطي للضوء طاقتها في جميع الاتجاهات، وبالتالي تقل الطاقة الساقطة لكل وحدة مساحة مع ازدياد المسافة من المصدر، وتسمى الطاقة الضوئية التي تصل إلى كل وحدة مساحة بالإضاءة illuminance، وتقاس بوحدة لكس (lux).

في هذه التجربة تستقصي الإضاءة باستخدام المقاومة الضوئية (LDR) وتستخدم البيانات لاختبار العلاقة النظرية بين الطاقة الضوئية والبُعد عن المصدر النقطي.

ستحتاج إلى

الموادّ والأدوات:

- مصباح ذو فتيل صغير جدًا مثبت داخل أنبوب من الورق الأسود.
- مصباح إضافي مماثل للمصباح الأول.
- مصدر طاقة كهربائية (0 V–12 V).
- سلكان موصلان.
- مقاومة ضوئية (LDR) مركّبة على نهاية مسطرة نصف مترية.
- أوميتر.
- قدمة ذات ورنية رقمية.

⚠ احتياطات الأمان والسلامة

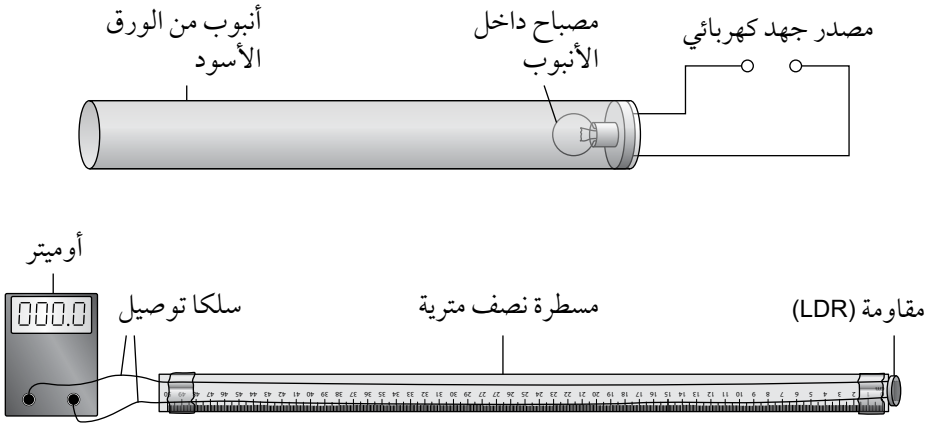
- تأكّد من قراءة احتياطات الأمان والسلامة في بداية هذا الكتاب، واستمع لنصائح معلّمك قبل تنفيذ الاستقصاء.
- المصابيح ذات الفتيل لها قباب زجاجية ويجب التعامل معها بحذر. إذا تم كسرها فقد تتسبب بحدوث جروح.

مهمّ

احتفظ بمدى الأوميتر مضبوطًا على 20 kΩ طوال التجربة.

الطريقة

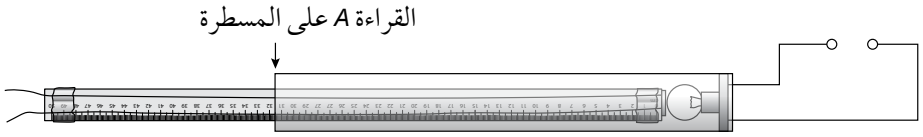
١. قم بتركيب الأدوات كما هو موضح في الشكل ٦–٧.



الشكل ٦–٧: رسمان تخطيطيان يوضحان المصباح في الأنبوب والسلكَين على المسطرة نصف المترية موصلَين بالأوميتر.

٢. ادفع المسطرة نصف المترية في أنبوب الورق حتى تلامس المقاومة الضوئية (LDR) زجاج المصباح.

خذ القراءة (*A*) على تدريج المسطرة، كما هو موضح في الشكل ٦–٨.



الشكل ٦–٨: سلكان على المسطرة نصف المترية داخل الأنبوب مع المصباح.

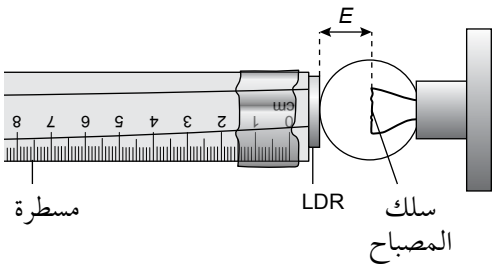
سجّل قيمة (*A*) في قسم النتائج.

٣. اسحب الـ LDR بمقدار (5 cm) تقريبًا بعيدًا عن المصباح وقم بتشغيل مصدر الجهد الكهربائي.

سجّل القراءة الجديدة (*B*) على المسطرة وقراءة مقياس الأوميتر (*R*) في جدول تسجيل النتائج ٦–٤، وضَع عنوانًا مناسبًا لكل عمود.

٤. اسحب الـ LDR بعيدًا عن المصباح بالتدريج، وسجّل قيم (*B*) و (*R*) في كل مرة حتى يكون لديك ستّ مجموعات من القيم في جدول تسجيل النتائج ٦-٤.

٥. يوجد خطأ صفري *E* بسبب المسافة بين سلك المصباح وسطح استشعار الـ LDR عندما يلمس LDR زجاج المصباح، كما هو موضح في الشكل ٦-٩.



الشكل ٦-٩: لقطة مقرّبة للشكل ٦- ٨ عند المصباح.

لإيجاد قيمة تقديرية للخطأ الصفري *E* قِس المسافة بين فتيل المصباح الإضافي والـ LDR. سجّل قيمة *E* في قسم النتائج.

النتائج

قراءة مقياس *A*:

A = ... cm

مهمّ

تأكد من أن كل عمود في الجدول ٦-٤ يحتوي على عنوان بالكمية والوحدة المناسبة.

الجدول ٦-٤: جدول تسجيل النتائج.

القيمة التقديرية لـ *E*:

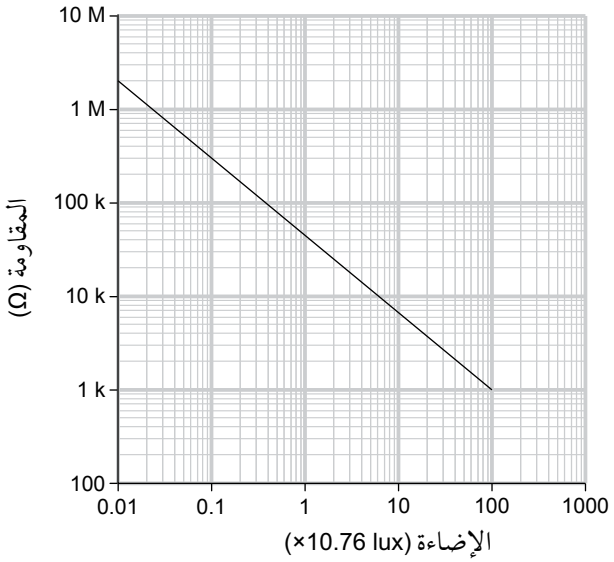
E = ... cm

التحليل والاستنتاج والتقييم

أ. احسب قيم (x) باستخدام $x = A - B + E$ وأضفها إلى جدول تسجيل النتائج ٦–٤.

ب. احسب قيم $\frac{1}{x^2}$ أولًا بوحدة cm^{-2} ثم بوحدة m^{-2} وأضفها إلى جدول تسجيل النتائج ٦–٤.

ج. تُعطى العلاقة بين الإضاءة ومقاومة الـ LDR في ورقة بيانات الشركة المصنعة على صورة تمثيل بياني log–log الموضح في الشكل ٦–١٠.



الشكل ٦–١٠: العلاقة بين الإضاءة ومقاومة الـ LDR.

معادلة منحنى التمثيل البياني:

$$L = 10.76 \times \left(\frac{42}{R}\right)^{1.3}$$

حيث تقاس الإضاءة (L) بوحدة القياس (lux) و (R) بوحدة القياس kΩ.

استخدم المعادلة السابقة لحساب قيم (L) وإضافتها إلى جدول تسجيل النتائج ٦–٤.

مهمّ

التمثيلات البيانية log–log لديها مقاييس تزداد بمضاعفات الأعداد (10 في هذه الحالة) بدلًا من جمع الأعداد. المحور السيني في الشكل ٦–١٠ يزداد بـ (x10) بعد كل خط أساسي من الشبكة. أما الخطوط الصغيرة (أو غير الأساسية) للشبكة فيمكن أن تستخدم لقراءة البيانات من التمثيل البياني بالطريقة نفسها للتمثيلات البيانية الأخرى.

د. استخدم ورقة الرسم البياني لرسم التمثيل البياني لـ L (على المحور الصادي) مقابل $\frac{1}{x^2}$ (على المحور السيني).

هـ. ارسم الخط المستقيم الأفضل ملاءمة الذي يمرّ عبر النقاط.

و. حدّد الميل ونقطة التقاطع مع المحور الصادي للخط.

مهمّ

اختر المقاييس بحيث تستخدم النقاط معظم ورقة الرسم البياني.

الميل = ... نقطة التقاطع = ...

ز. تتنبأ نظرية التجربة أن الإضاءة (L) تتناسب طرديًا مع $\frac{1}{x^2}$ (علاقة التربيع العكسي). اشرح ما إذا كان التمثيل البياني يدعم هذه النظرية.

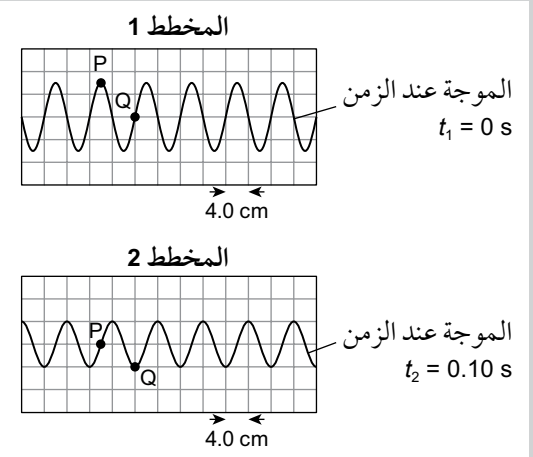
.....

.....

.....

أسئلة نهاية الوحدة

١. يُظهر الشكل ٦–١١ رسمَين تخطيطيَّين للموجة المسافرة نفسها تتحرك من اليسار إلى اليمين على سلك مشدود في زمنَين مختلفَين. يوضح المخطط 1 الموجة عند الزمن (t_1 = 0 s)، ويوضح المخطط 2 الموجة عند الزمن (t_2 = 0.10 s).



الشكل ٦–١١

سُجّلت النقطتان P و Q على السلك حيث تظهران في كِلا المخططَين.

أ. حدد طول الموجة.

ب. احسب سرعة الموجة، مع ذكر أي افتراض سوف تقوم به.

ج. احسب تردد الموجة.

د. قارن سعة الموجة عند P و Q على المخطط نفسه.

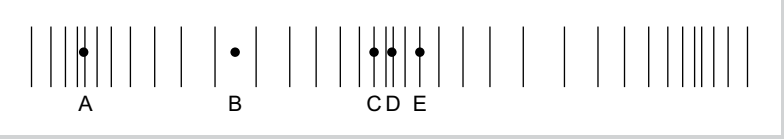
هـ. احسب فرق الطور بين اهتزازات P و Q.

و. عند الزمن (t_1)، تكون سعة اهتزاز P تساوي (6.0 cm) وعند الزمن (t_2) تصبح السعة (4.0 cm). احسب هذه النسبة:
شدة الموجة عند (t_1) : شدة الموجة عند (t_2)

٢. **أ.** يمكن أن تكون الموجات طولية أو مستعرضة.
١. اذكر اختلافًا واحدًا وتشابهًا واحدًا بين هذَين النوعَين.
٢. أعطِ مثالًا واحدًا على كل نوع منهما.

تابع

ب. يوضح الشكل ٦–١٢ موجة طولية بتردد (3.0 Hz).



الشكل ٦–١٢

النقاط A و B و C و D و E هي نقاط تنتقل الموجة عبرها.

١. ما المقصود بالتردد؟

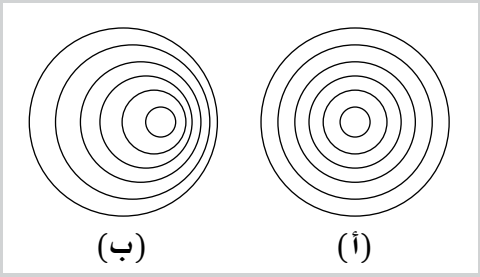
٢. اذكر النقطتَين اللتين يفصل بينهما طول موجي واحد.

٣. المسافة بين النقطتَين A و B تساوي (14.0 cm). احسب سرعة الموجة.

٤. احسب فرق الطور بين اهتزاز الموجة عند النقطة A و B (احسب أولًا جزء طول الموجة الموجود بين A و B).

٣. أ. ما المقصود بتأثير دوبلر في الصوت؟

ب. يوضح الشكل ٦–١٣ (أ) **جبهات موجة** Wavefronts تنتشر من مصدر ثابت للصوت في مركز الدوائر؛ أمّا في الشكل ٦–١٣ (ب) فتظهر جبهات الموجة نفسها من مصدر صوت يتحرك إلى اليمين بسرعة ($20\ m\ s^{-1}$) (المخططان ليسا بمقياس رسم).



الشكل ٦–١٣

المسافة بين جبهات الموجة في الشكل ٦–١٣ (أ) إلى اليمين تساوي طول الموجة للصوت. تردد الصوت المنبعث من المصدر تساوي (200 Hz). سرعة الصوت في الهواء ($340\ m\ s^{-1}$). احسب:

١. الطول الموجي للصوت.

٢. الزمن (*t*) لاهتزازة كاملة للصوت.

مصطلحات علمية

جبهات الموجة
Wavefronts: هي خطوط تبيّن نقاطًا في الموجة لها الطور نفسه. المسافة بين جبهتَي موجة متجاورتين تساوي طول الموجة.

تابع

٣. المسافة التي يقطعها مصدر الصوت الذي يتحرك بسرعة ($20\ m\ s^{-1}$) في الزمن (t).
٤. المسافة القصوى والدنيا بين جبهات الموجة في الشكل ٦-١٣ (ب) (وهي تساوي القيمة القصوى والدنيا لطول الموجات للصوت الملاحظ).
٥. التردد الذي يسمعه شخصان، أحدهما يقف إلى يمين مصدر الصوت المتحرك والآخر إلى يساره.

تراكب الموجات Superposition of Waves

أهداف التعلّم

٧-١ يشرح مبدأ تراكب الموجات ويستخدمه.

٧-٢ يعرّف مصطلح الحيود ويستخدمه.

٧-٣ يصف التجارب التي تُظهر الحيود ويشرحها بما في ذلك التأثير النوعي لعرض الفجوة بالنسبة إلى الطول الموجي لموجة ما.

٧-٤ يعرّف مصطلحي التداخل والترابط ويستخدمهما.

٧-٥ يصف التجارب التي تُظهر تداخلًا من مصدرَين باستخدام موجات الماء في حوض الموجات، وموجات الصوت وموجات الضوء والموجات الميكروية ويشرحها.

٧-٦ يصف الشروط المطلوبة لملاحظة أهداب التداخل ثنائي المصدر.

٧-٧ يستخدم المعادلة: $\lambda = \frac{ax}{D}$ لتداخل الضوء من شق مزدوج.

٧-٨ يستخدم المعادلة: $d \sin\theta = n\lambda$.

٧-٩ يصف استخدام محزوز الحيود لتحديد طول الموجة لضوء ما.

٧-١٠ يصف التجارب التي تُظهر الموجات المستقرة باستخدام الموجات الميكروية والأوتار المشدودة والأعمدة الهوائية ويشرحها (سيُفترض أن تصحيحات نهاية الأنابيب الهوائية مهملة؛ معرفة مفهوم تصحيحات النهاية غير مطلوبة).

٧-١١ يشرح بيانيًا طريقة تكوّن موجة مستقرة، ويحدّد العُقد والبطون.

٧-١٢ يصف كيف يمكن تحديد طول موجة مستقرة من مواقع العُقد أو البطون.

للتداخل من شق مزدوج: $\lambda = \frac{ax}{D}$

لمحزوز الحيود $d \sin\theta = n\lambda$

المسافة من عقدة إلى العقدة التالية (أو من بطن واحد إلى الذي يليه) = $\frac{\lambda}{2}$

المسافة من عقدة إلى أقرب بطن = $\frac{\lambda}{4}$

الأنشطة

نشاط ٧-١ تراكب الموجات والتداخل

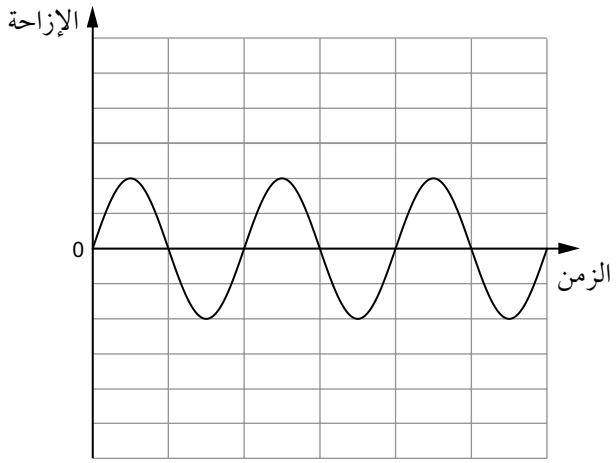
يساعدك هذا النشاط على التفكير في **التداخل وفرق المسار**. تذكّر أن فرق المسار هو مسافة فعلية وأنه يختلف عن فرق الطور، على الرغم من أن المصطلحَين مترابطان.

مصطلحات علمية

التداخل Interference: تراكب موجتَين أو أكثر من مصادر مترابطة.

فرق المسار Path difference: المسافة الإضافية التي تقطعها إحدى الموجتَين مقارنة بالموجة الأخرى. وغالبًا ما يُعطى فرق المسار بدلالة طول الموجة λ للموجات.

١. يوضح الشكل ٧-١ تمثيلًا بيانيًا لإزاحة جسيم عند نقطة ما على سطح الماء مع مرور الزمن:



الشكل ٧-١: للسؤال ١. تمثيل بياني لإزاحة جسيم عند نقطة ما على سطح الماء مع مرور الزمن.

باستخدام المحورين نفسيهما:

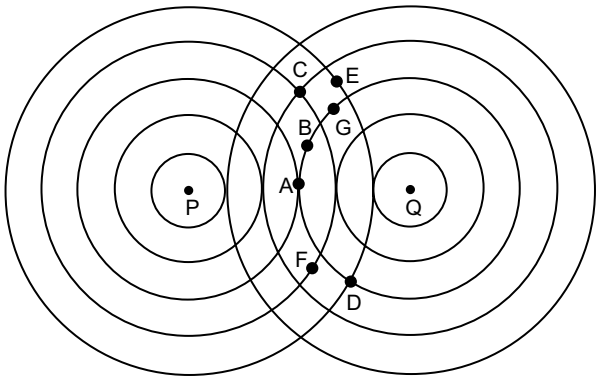
أ. ارسم التغير مع الزمن لموجة لها ضعف السعة؛ يجب أن تكون هذه الموجة متوافقة في الطور مع الموجة الابتدائية في التمثيل البياني.

ب. أظهر محصلة الإزاحة إذا مرّت كلتا الموجتَين (الموجة الابتدائية، والموجة التي رسمتها في الجزئية أ) عبر النقطة نفسها على سطح الماء.

ج. ارسم موجة لها سعة الموجة الابتدائية نفسها ولكنها مختلفة بالطور معها.

د. أظهر محصلة الإزاحة إذا كانت الموجة الابتدائية، والموجة في الجزئية (ج) تمرّان عبر النقطة نفسها.

٢. يتم توليد موجة دائرية عند كل من النقطتَين P و Q. يوضح الشكل ٧-٢ أن جبهات كل من الموجتَين المنتجتَين تفصل بينها طول موجة واحدة:



الشكل ٧-٢: للسؤال ٢. رسم تخطيطي يوضح جبهات الموجتَين المنتجتَين عند النقطتَين P و Q.

انظر إلى النقطة A. تصل مجموعتان من الموجات إلى A، مجموعة من المصدر P والأخرى من المصدر Q. هناك ثلاثة أطوال موجية كاملة بين A و P (أي $AP = 3\lambda$)، وتوجد أيضًا ثلاثة أطوال موجية كاملة بين A و Q، لذا فإن $AQ = 3\lambda$، وفرق المسار بين مجموعتَي الموجات $AP - AQ = 0$.

انظر إلى النقطة B. هناك $3\frac{1}{2}$ أطوال موجية كاملة بين B و P (أي $BP = 3\frac{1}{2}\lambda$)، وهناك ثلاثة أطوال موجية كاملة بين B و Q، لذا $BQ = 3\lambda$، وفرق المسار بين مجموعتَي الموجات $BP - BQ = \frac{1}{2}\lambda$.

أ. اشرح سبب وجود **تداخل بنّاء** عند النقطة A.

.....

.....

.....

ب. اشرح سبب وجود **تداخل هدّام** عند النقطة B.

.....

.....

.....

مصطلحات علمية

التداخل البنّاء
Constructive interference: عندما تتعزّز موجتان لإعطاء سعة أكبر عند نقطة ما في حيّز.

التداخل الهدّام
Destructive interference: عندما تلغي موجتان إحداهما الأخرى لإعطاء سعة منخفضة (أو صفرية) عند نقطة ما في حيّز.

ج. أكمل الجدول ٧–١ لإيجاد فرق المسار لكل نقطة من C إلى G. حدّد لكل منها ما إذا كان التداخل بنّاءً أو هدّامًا.

النقطة X	المسافة من X إلى P	المسافة من X إلى Q	فرق المسار	التداخل عند النقطة
A	3λ	3λ	0	بنّاء
B	$3\frac{1}{2}\lambda$	3λ	$\frac{1}{2}\lambda$	هدّام
C				
D				
E				
F				
G				

الجدول ٧–١ للسؤال ٢ ج.

د. أكمل الجمل الآتية:

عند النقاط A و C و D،

١. يكون فرق المسار من النقطة المعيّنة إلى المصدرَين هو ..... .

٢. تصل الموجتان إلى هذه النقاط ..... في الطور وتتداخلان معًا تداخلًا ..... .

عند النقاط B و E و F و G،

٣. يكون فرق المسار من النقطة إلى المصدرَين هو ..... .

٤. تصل الموجتان إلى هذه النقاط ..... في الطور وتتداخلان معًا تداخلًا ..... .

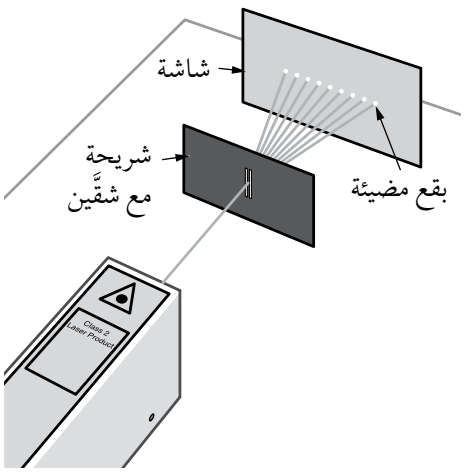
هـ. في الشكل ٧–٢ اجمع جميع النقاط التي يكون فيها فرق المسار من النقطة المعنية إلى P و Q يساوي 0، وستجد هذه النقاط حيث تتقاطع دائرة من P مع الدائرة «المقابلة لها» من Q. ارسم خطًا يصل بين تلك النقاط.

و. باستخدام الرسم التخطيطي، اجمع جميع النقاط على جانب واحد من النقطة A حيث يكون فرق المسار هو λ. للقيام بذلك: بدءًا من المصدر Q، عدّ ثلاث دوائر للخارج من Q وأربع دوائر للخارج من P، وحيث تتقاطع هاتان الدائرتان هناك نقطتان حيث يكون فرق المسار هو λ. كرر الآن مع أربع دوائر من Q وخمس من P وأيضًا $3\frac{1}{2}$ دوائر من Q و $4\frac{1}{2}$ دوائر خارجًا من P وهكذا. ارسم خطًا يصل بين تلك النقاط. (يمكنك أيضًا العثور على نقاط على الجانب الأيسر يكون فيها فرق المسار بحيث تكون Q أبعد من P بالنسبة إلى النقطة المختارة).

نشاط ٧-٢ تجارب التداخل ثنائي المصدر

يساعدك هذا النشاط على التفكير في الجهاز المستخدم والنتائج التي تم العثور عليها في تجارب التداخل ثنائي المصدر.

١. يُظهر الشكل ٧-٣ ضوءًا صادرًا من ليزر يمر عبر شقَّين:



الشكل ٧-٣: للسؤال ١. رسم تخطيطي يوضح ضوءًا من ليزر يمر عبر شقَّين.

تستخدم المعادلة $\lambda = \frac{ax}{D}$ لتحديد طول الموجة (λ) لضوء الليزر.

أ. عرّف الكمّيات الأخرى في المعادلة، وحدد على الرسم التخطيطي المسافات (a) و (x) و (D).

.....

.....

.....

ب. اذكر كيف ستقيس كلًا من هذه المسافات لتُستخدم في إيجاد مقدار طول الموجة. حدّد الأداة المستخدمة في كل حالة وقم بتضمين أحد الاحتياطات التي قد تتخذها لضمان نتيجة مضبوطة.

.....

.....

.....

ج. يبلغ طول الموجة لضوء أحمر نحو (7×10^{-7} m). استخدم هذه القيمة لاقتراح قيم مناسبة لجميع المسافات الأخرى في المعادلة.

.....

.....

مهمّ

فكّر في السطوع وتأثير الألوان المختلفة في الضوء الأبيض.

د. تم ملاحظة البقع المضيئة قريبة جدًا من بعضها على الشاشة. لإجراء قياس مضبوط اقترح تغييرَين يمكن إجراؤهما على التجربة لزيادة المسافة الفاصلة بين البقع.

.....

.....

.....

هـ. اُستُخدم ليزر في التجربة. أعطِ سببَين لتفضيل الليزر على مصباح الضوء الأبيض العادي.

.....

.....

.....

٢. يمكن إيضاح التداخل ثنائي المصدر مع موجات الماء وأفران الميكروويف وكذلك الضوء.

أ. ارسم الجهاز المستخدم لإظهار التداخل ثنائي المصدر لموجات الماء.

ب. ارسم رسمًا تخطيطيًا بسيطًا للجهاز المستخدم لإظهار التداخل ثنائي المصدر لأفران الميكروويف.

ج. تختلف الأطوال الموجية للضوء والموجات الميكروية. بالنسبة إلى تجربة الشق المزدوج، اقترح كيف يؤدي طول موجة الموجات الميكروية إلى اختلافات في الكميّات (a) و (x) و (D) مقارنة بتلك المستخدمة في تجارب الضوء.

.....

.....

.....

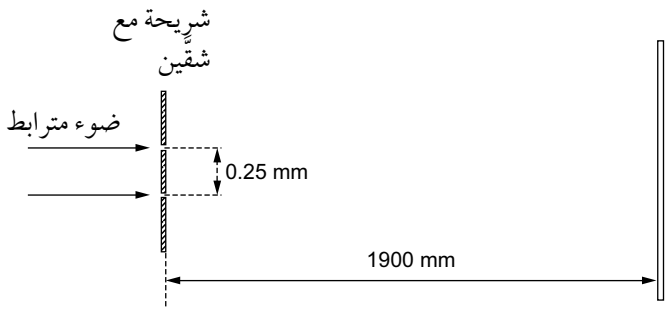
نشاط ٧-٣ تجربة الشق المزدوج : الوصف والحسابات

مصطلحات علمية

المترابط Coherent: مصطلح يستخدم لوصف موجتَين صادرتَين من مصدرَين لهما فرق طور ثابت. يشار إلى المصادر التي تصدر مثل هذه الموجات على أنها مصادر مترابطة.

يساعدك هذا النشاط في التدرب على استخدام معادلة تداخل موجات من شق مزدوج وتطبيقها على التجارب، ولكي يتم ملاحظة الأهداب في التداخل ثنائي المصدر، يجب أن يكون للموجات طول الموجة نفسه (التردد والسرعة) وأن تكون **مترابطة**.

١. يوضح الشكل ٧-٤ تجربة شق مزدوج باستخدام ضوء مترابط.
طول موجة الضوء (5.0×10^{-7} m).



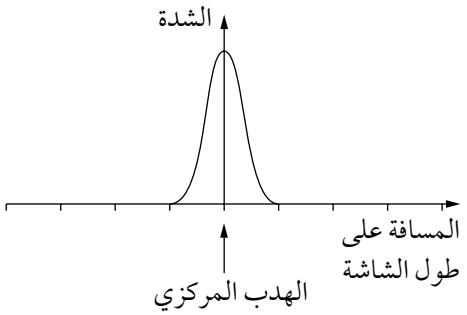
الشكل ٧-٤: للسؤال ١. رسم تخطيطي يوضح تجربة شق مزدوج باستخدام ضوء مترابط.

أ. احسب تباعد الأهداب على الشاشة.

.....

.....

ب. يمكن تمثيل النمط على الشاشة بيانيًا (الشدة – المسافة). أكمل التمثيل البياني لإظهار الأهداب الأخرى:



الشكل ٧–٥: للسؤال ١ ب. تمثيل بياني (الشدة – المسافة).

في الجزئيات التالية، من (ج) إلى (ز)، اذكر ماذا يمكن أن يحدث للأهداب المعتمة والمضيئة إذا:

ج. تم تقريب الشقَّين أحدهما من الآخر.

.....

د. تم زيادة طول موجة الضوء.

.....

هـ. تم تقليل شدة الضوء الذي يمر عبر كلا الشقَّين.

.....

و. تم خفض شدة الضوء الذي يمر عبر شق واحد فقط.

.....

.....

ز. استبدل الضوء المترابط بضوء له طول الموجة نفسه، ولكن من مصدرَين مختلفَين غير مترابطَين.

.....

.....

مهمّ

في الجزئية (و)، فكّر فيما يحدث في التداخل الهدّام والبنّاء عندما يكون للموجتَين سعتان مختلفتان.

٢. تستخدم تجربة تداخل الشق المزدوج مصدرًا ضوئيًا بطول موجة (5.86×10^{-7}m). المسافة الفاصلة بين الشقَّين الرأسيَّين (0.30 mm)، والمسافة من الشقَّين إلى الشاشة (1.7 m).

أ. صِف نمط الأهداب.

.....

.....

ب. احسب التباعد بين الأهداب.

.....

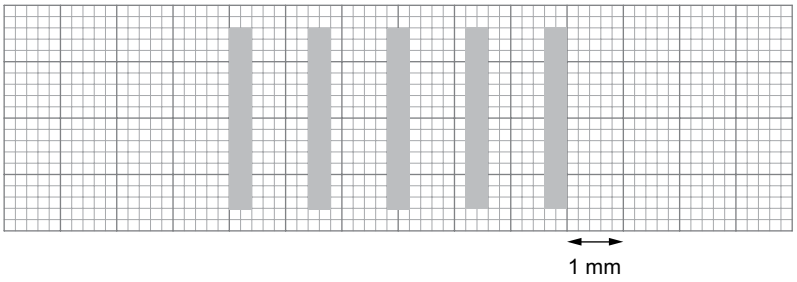
.....

ج. احسب المسافة على الشاشة بين منتصف الهدب المركزي ومنتصف الهدب المعتم الأول.

.....

.....

٣. يوضح الشكل ٧–٦ بعض الأهداب لنمط تداخل ضوء في شق مزدوج على شاشة:



الشكل ٧–٦: للسؤال ٣. رسم تخطيطي يوضح بعض الأهداب لنمط تداخل ضوء في شق مزدوج على شاشة.

أ. حدّد قيمة التباعد بين الأهداب على الشاشة.

.....

ب. إذا علمت أن الشاشة على بُعد (2.0 m) من الشقَّين، والفاصل بين الشقَّين (1.0 mm)، فاحسب طول موجة الضوء.

.....

.....

ج. ارسم النموذج الذي سيتم الحصول عليه عند تقليل الفاصل بين الشقَّين إلى نصف ما كان عليه. استخدم مقياس رسم مناسب.

د. صِف النمط الذي سيتم الحصول عليه عند استخدام مصدر ضوء أبيض. لا يزال الضوء المنبعث من الشقَّين مترابطًا، على الرغم من أنه أصبح أبيض ويحتوي على مزيج من الأطوال الموجية.

.....

.....

.....

مهمّ

ضع في اعتبارك ما يحدث إذا تغير طور أحد المصادر فجأة.

٤. مصدران مترابطان للضوء يفصل بينهما (0.30 mm) يصدر كل منهما ضوء بطول موجي (4.95×10^{-7} m) ويتم إنتاج نمط تداخل على شاشة تقع على بُعد (2.00 m) من المصدرين. احسب المسافة بين هدبَين مضيئَين متجاورَين على الشاشة.

.....

.....

٥. في تجربة تداخل ضوء من مصدرَين كانت المسافة منهما إلى الشاشة (1.6 m). يظهر نمط من الأهداب على الشاشة مع هدب مركزي واحد وثلاثة أهداب على جانبَي الهدب المركزي.

تبلغ المسافة بين الهدب المركزي والهدب الثالث من جانب واحد (10.0 mm).

طول موجة ضوء الليزر المستخدم هو (6.0×10^{-7} m).

يبعد الهدب الثالث عن الهدب المركزي ثلاث مسافات هدبية فاصلة.

أ. احسب المسافة بين الأهداب (x).

.....

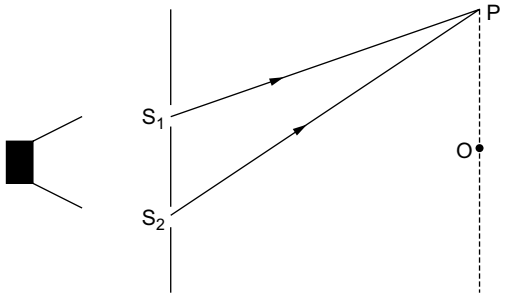
.....

ب. احسب المسافة بين المصدرَين (*a*).

.....

.....

٦. يتم وضع شقَّين في حاجز فلزي أمام مصدر الإشعاعات الميكروية، كما هو موضح في الشكل ٧–٧:



الشكل ٧–٧: للسؤال ٦. رسم تخطيطي يوضح مرور الإشعاعات الميكروية عبر شقَّين في حاجز فلزي.

طول الموجة للموجات الميكروية (3.0 cm).

المسافة (S_1P = 90.0 cm) والمسافة (S_2P = 99.0 cm).

أ. احسب فرق المسار بين الموجتَين، إحداهما تنتقل من S_1 إلى P والأخرى تنتقل من S_2 إلى P.

.....

.....

ب. كم يبلغ فرق الطور بين الموجتَين اللتَين تصلان إلى P؟

.....

.....

ج. ما نوع التداخل الذي يحدث عند P؟

.....

.....

د. يتم وضع كاشف الموجات الميكروية في O ويحرك ببطء نحو P. صِف ما تتم ملاحظته، واستخدم إجابتك للجزئية (ب) لتستنتج عدد التداخلات القصوى والدنيا بين O و P.

.....

.....

.....

نشاط ٧-٤ الحيود ومحزوز الحيود

يساعدك هذا النشاط على فهم **الحيود** ويمنحك التدرب على استخدام معادلة محزوز الحيود، وسوف تأخذ أيضًا بعين الاعتبار **التشتت** الناتج عن محزوز الحيود وأقصى رتب الطيف الذي ينتجه.

مصطلحات علمية

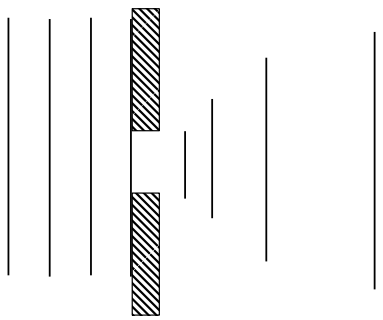
الحيود Diffraction: انحناء الموجة عندما تمر عبر فجوة ما أو تتجاوز حافة وانتشارها.

التشتت Dispersion: تجزّؤ الضوء إلى الأطوال الموجية المكوّنة له.

١. طابق المصطلحات العلمية الأربعة لموجة ما مع العبارة الصحيحة:

المصطلح العلمي	العبارات
الحيود	يحتاج إلى فرق طور ثابت بين موجتَين.
التداخل	يحدث عندما تلتقي الموجات وتكون الإزاحة المحصلة هي مجموع إزاحات كل موجة.
الترابط	يسبب نمطًا بسبب إلغاء الموجات وتعزيزها.
التراكب	يتسبب في انحناء الموجات أثناء مرورها عبر فجوات ضيقة.

٢. يوضح الشكل ٧–٨ رسمًا تخطيطيًا يرسم فيه طالب نمط الحيود لموجة الماء أثناء مرورها من اليسار إلى اليمين عبر فجوة عرضها أكبر من طولها الموجي:



الشكل ٧–٨: السؤال ٢. رسم الطالب لنمط حيود موجة الماء أثناء مرورها من اليسار إلى اليمين عبر فجوة عرضها أكبر من طول الموجة.

أ. اذكر شيئَين غير صحيحَين في الرسم التخطيطي.

.....

.....

ب. ارسم مخططًا لنمط الحيود إذا كان عرض الفجوة أصغر بكثير من طول الموجة.

٣. تبلغ سرعة الصوت ($340\ m\ s^{-1}$).

مهمّ

احرص على استخدام معادلة السرعة $v = f\lambda$، والتردد بوحدة الهرتز.

أ. احسب طول موجة الصوت ذي التردد (2.0 kHz).

.....

.....

ب. ارسم مخططًا لجهاز يمكنك استخدامه لإظهار حيود الصوت، واقترح حجم الفجوة المستخدمة.

٤. محزوز حيود مكوّن من 500 خط لكل ملّيمتر ($500\ lines\ mm^{-1}$). يسقط الضوء عموديًا على المحزوز.

أ. احسب المسافة بالأمتار بين خط وآخر على محزوز الحيود.

.....

.....

ب. احسب طول الموجة للضوء الذي يعطي التداخل الأقصى من الرتبة الأولى بزاوية (22.0°).

.....

.....

ج. احسب زاوية الرتبة الثانية القصوى عند استخدام ضوء له طول هذه الموجة.

.....

.....

د. اذكر ما يحدث عندما تحاول استخدام معادلة محزوز الحيود للرتبة الثالثة. في هذه الحالة سيُحدد عدد الرتب باثنتَين فقط.

.....

.....

هـ. ما العدد الإجمالي للخطوط المرئية في نمط الحيود في حالة وجود رتبتَين فقط في طيف مصدر الضوء أحادي اللون؟

.....

.....

٥. يسقط الضوء ذو طول الموجة (590 nm) عموديًا على محزوز حيود عرضه (30.0 mm) ويحتوي على 10000 خط.

أ. احسب تباعد الخطوط في المحزوز.

.....

.....

.....

ب. احسب قيم الزوايا لمختلف الرتب.

.....

.....

.....

.....

.....

٦. عندما يمر ضوء أحمر طوله الموجي (700 nm) عموديًا من خلال محزوز حيود، يتم إيجاد التداخل الأقصى من الرتبة الأولى بزاوية (25°) بالنسبة إلى الرتبة الصفرية. احسب:

أ. تباعد الخطوط وعدد الخطوط لكل ملّيمتر في المحزوز.

.....

.....

ب. زاوية التداخل الأقصى من الرتبة الأولى باستخدام ضوء أزرق بطول موجة (400 nm).

.....

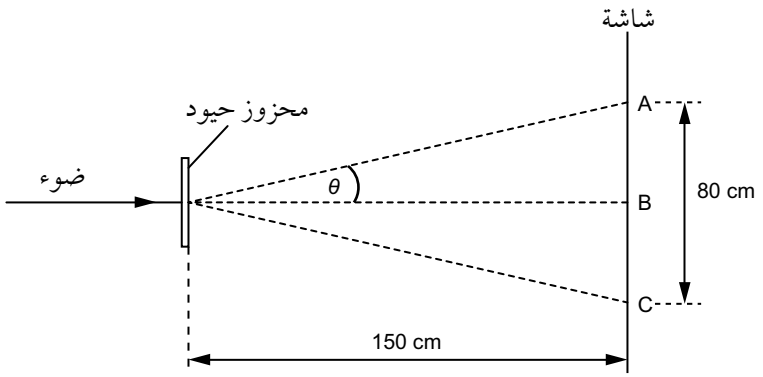
.....

ج. الفرق في الزاوية بين الضوء الأزرق والضوء الأحمر في طيف الرتبة الأولى.

.....

.....

٧. ضوء طول موجته (600 nm) يسقط عموديًا على محزوز حيود، كما هو موضح في الشكل ٧–٩:



الشكل ٧–٩: السؤال ٧. يسقط ضوء بطول موجة 600 nm عموديًا على محزوز حيود.

تظهر التداخلات القصوى من الرتبة الأولى في الموضعَين A و C على الشاشة.

أ. احسب الزاوية θ.

.....

.....

ب. احسب تباعد المحزوز.

.....

.....

ج. احسب المسافة على الشاشة بين B وموضع التداخل الأقصى من الرتبة الثانية.

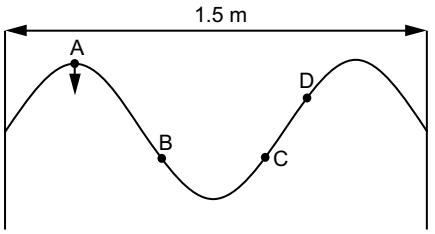
.....

.....

نشاط ٧-٥ كيف يؤدي مبدأ تراكب الموجات إلى موجات مستقرة

يمنحك هذا النشاط التدرب على استخدام الرسوم البيانية **للموجات المستقرة** وتطبيق **مبدأ تراكب الموجات**.

١. يوضح الشكل ٧–١٠ سلكًا مثبتًا من طرفَيه ويهتز بنمط موجة مستقرة:



الشكل ٧–١٠: السؤال ١. رسم تخطيطي يوضح نمط الموجة لسلك يهتز (مثبت من طرفَيه).

في هذه اللحظة تكون الإزاحة عند حدّها الأقصى.

أ. ارسم اهتزاز السلك بين الطرفين بعد ربع دورة ممّا هو موضح في الشكل ٧–١٠.

مصطلحات علمية

الموجة المستقرة (الموجة الواقفة) Stationary wave (standing wave): نمط اهتزازي مستقر ناتج عن تراكب موجتَين مسافرتَين لهما التردد نفسه وتنتقلان باتجاهَين متعاكسَين، وللموجة المستقرة عقد وبطون.

مبدأ تراكب الموجات Principle of superposition: عندما تلتقي موجتان أو أكثر عند نقطة ما، فإن الإزاحة المحصّلة هي المجموع الجبري لإزاحات الموجات الفردية.

ب. ارسم اهتزاز السلك بين الطرفين بعد نصف دورة ممّا هو موضح في الشكل ٧-١٠. تذكّر أن الموجة المستقرة لا تتحرك على طول السلك؛ فبعض النقاط الموجودة على السلك تتحرك فقط إلى الأعلى وإلى الأسفل، وبعض النقاط لا تتحرك إلى الأعلى وإلى الأسفل على الإطلاق، بل تظل صفرية طوال الوقت.

ج. احسب الطول الموجي، واستخدم فكرة أن المسافة بين **العقد** المتتالية هي $\frac{\lambda}{2}$.

.....

.....

مصطلحات علمية

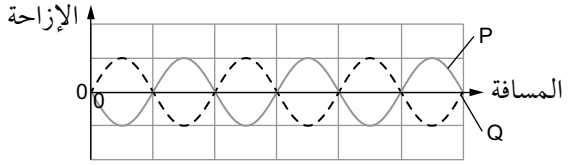
العقدة Node: نقطة على الموجة المستقرة ذات سعة صفرية.

د. في الشكل ٧-١٠ يوضح السهم الموجود على النقطة A الاتجاه الذي يوشك فيه السلك عند النقطة A على التحرك. اذكر الاتجاهات التي تكون فيها النقاط B و C و D على وشك التحرك.

.....

.....

٢. يوضح الشكل ٧-١١ إزاحة موجتَين متتاليتَين P و Q في لحظة معيّنة في الوقت نفسه:

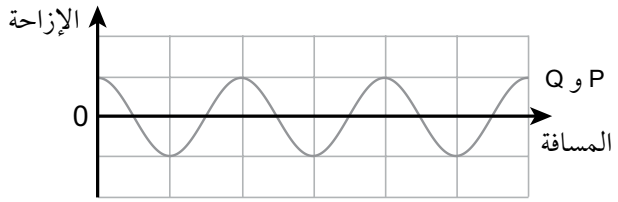


الشكل ٧-١١: السؤال ٢. إزاحة موجتَين P و Q.

تنتقل الموجتان في اتجاهَين متعاكسَين، حيث تتحرك الموجة P إلى اليمين وتتحرك الموجة Q إلى اليسار، وتتّحد هاتان الموجتان وفقًا لمبدأ تراكب الموجات لتشكيل موجة مستقرة.

أ. انسخ المخطط على ورقة رسم بياني، مع ترك مساحة كافية أدناه لثلاثة تمثيلات بيانية مشابهة. ارسم المحصلة وقم بتسميتها P و Q فيه.

بعد وقت قصير (*t*) من الزمن، تحركت الموجتان ربع طول موجة في اتجاهَين متعاكسَين، كما هو موضح في الشكل ٧-١٢:



الشكل ٧-١٢: للأسئلة من ٢ ب إلى ٢ هـ.

ب. انسخ هذا التمثيل البياني أسفل الجزئية (أ) على ورقة الرسم البياني نفسها، وارسم محصلة P و Q.

ج. ارسم المخطط والمحصلة مرة أخرى، حيث تحركت كل موجة ربعًا إضافيًا من طول الموجة في اتجاهَين متعاكسَين.

د. ارسم المخطط والمحصّلة مرة أخرى، حيث تحركت كل موجة ربعًا إضافيًا من طول الموجة في اتجاهَين متعاكسَين.

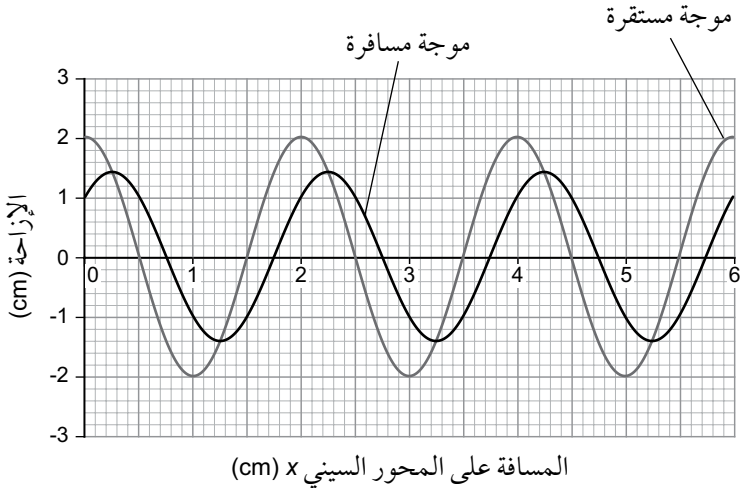
هـ. ضع الحرف A في الرسم التخطيطي الذي رسمته في جميع الأماكن التي تكون فيها السعة للموجة المحصّلة دائمًا قصوى، ثم أضف الحرف N في جميع الأماكن التي تكون فيها المحصّلة دائمًا صفرًا.

٣. تتكوّن الموجة المستقرة من تراكب موجتَين مسافرتَين.

يوضح الشكل ٧-١٣ موجة مستقرة وإحدى الموجتَين المسافرتَين في لحظة ما. المسافة على المحور السيني (*x*) هي المسافة الأفقية على طول الموجة:

مهمّ

تذكّر أن إزاحتَي الموجتَين المسافرتَين تضافان معًا للحصول على إزاحة الموجة المستقرة.



الشكل ٧-١٣: للسؤال ٣: موجة مستقرة وإحدى الموجتَين المسافرتَين في لحظة ما.

أ. أكمل الجدول ٧–٢ بكتابة قيم:

- إزاحة الموجة المستقرة.
- إزاحة الموجة المسافرة على مسافات على طول المحور (x) الموضح في الجدول.
- إزاحة الموجة المسافرة الأخرى (التي لم تظهر في الشكل ٧–١٣).

(تمّت الإجابة عن صف واحد).

المسافة على طول المحور x (cm)	إزاحة الموجة المستقرة (cm)	إزاحة الموجة المسافرة (cm)	إزاحة الموجة المسافرة الأخرى (cm)
0.0	+2.0	+1.0	+1.0
0.5			
1.0			
1.5			
2.0			

الجدول ٧–٢ للسؤال ٣ أ.

ب. اذكر قيم المسافات التي تتشكل عندها العُقد على طول المحور السيني (x) على الرسم التخطيطي.

.....

.....

مصطلحات علمية

البطن Antinode: نقطة على الموجة المستقرة ذات سعة قصوى.

ج. اذكر قيم المسافات التي تتشكل عندها **البطون** على طول المحور السيني على الرسم التخطيطي.

.....

.....

د. اذكر المسافة بالسنتيمترات بين عقدة وأقرب بطن لها وقارن هذه المسافة مع طول الموجة (λ) للموجة المسافرة.

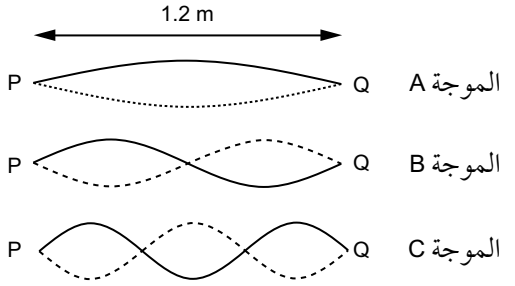
.....

.....

نشاط ٧-٦ استخدام أنماط الموجات المستقرة

يساعدك هذا النشاط على استخدام أنماط الموجات المستقرة للعثور على الأطوال الموجية والترددات والسرعة.

١. يوضح الشكل ٧-١٤ ثلاثة أنماط لموجة مستقرة على السلك PQ نفسه:



الشكل ٧-١٤: السؤال ١. ثلاثة أنماط لموجة مستقرة على السلك PQ نفسه.

المسافة بين النقطتَين P و Q هي (1.2 m).

أ. اذكر الأطوال الموجية للموجات A و B و C.

.....

.....

ب. تردد الموجة A هو (240 Hz)، ما تردد الموجتَين B و C؟ سرعة الموجة هي نفسها للموجات الثلاث.

.....

.....

ج. ما عدد البطون الموضحة في كل من الموجات A و B و C؟

.....

.....

د. صِف حركة الموجة A، بدءًا من موضع الموجة الموضح بواسطة الخط المتصل.

.....

.....

.....

مهمّ

تذكّر أن المسافة من العقدة إلى العقدة التي تليها هي $\frac{\lambda}{2}$.

٢. سلك مثبّت من طرفَيه طوله (60 cm).

أ. احسب أطول طول موجة لموجة مستقرة يمكن توليدها على السلك.

.....

.....

ب. الصوت المسموع من الموجة في الجزئية (أ) تردده (100 Hz). احسب سرعة الموجة على السلك.

.....

.....

٣. سلك طوله (0.24 m) مثبت في كِلا الطرفيَن، ويجعله مولد الاهتزاز يتحرك إلى الأعلى وإلى الأسفل كموجة مستقرة. وعند قيم معيّنة لتردد المولد تتشكل موجات مستقرة لها أطوال موجية مختلفة.

أ. اذكر أكبر ثلاثة أطوال موجية للموجات المستقرة يمكن أن تتشكل على السلك.

.....

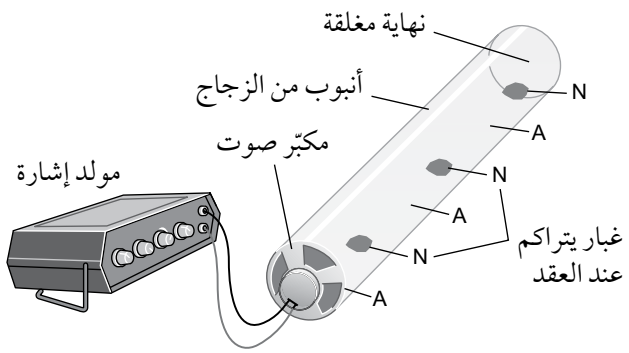
.....

ب. سرعة الموجة على طول السلك ($100\ m\ s^{-1}$)، احسب أصغر ثلاثة ترددات يمكن أن تنتج موجات مستقرة.

.....

.....

٤. مكبّر صوت ينتج موجة مستقرة في أنبوب ما، يتجمع الغبار الموجود فيه في أكوام عند العقد، وتوجد أيضًا عقدة في النهاية المغلقة للأنبوب (الشكل ٧–١٥):



الشكل ٧–١٥: السؤال ٤. إنتاج موجة مستقرة في أنبوب زجاجي مغلق.

أ. اشرح سبب تجمع الغبار عند العقد.

.....

.....

.....

ب. تبلغ المسافة بين العقد المتتالية في النموذج (5.0 cm)، وسرعة الصوت في الأنبوب ($320\ m\ s^{-1}$). احسب طول الموجة وتردد الصوت من مكبّر الصوت.

.....

.....

ج. في الشكل ٧–١٥، بدءًا من النهاية المفتوحة، يوجد تسلسل ANANAN من البطون والعقد، حيث A عبارة عن بطن و N عبارة عن عقدة. اقترح تسلسلَين محتملَين آخرَين داخل الأنبوب حيث تكون المسافة بين العقد المتتالية أكبر من (5.0 cm).

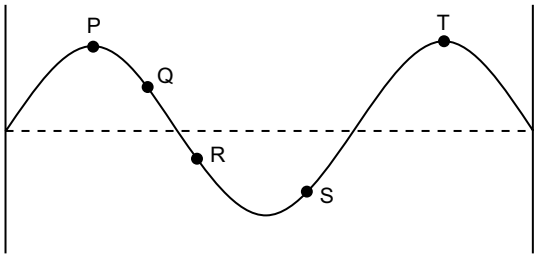
.....

.....

نشاط ٧-٧ استخدام المصطلحات الصحيحة لشرح الموجات المستقرة

من المهم أن تكون قادرًا على استخدام مصطلحات مثل السعة والطور بشكل صحيح وإجراء المقارنات. يمنحك هذا النشاط تدريبًا على استخدام هذه المصطلحات وإجراء المقارنات.

١. يوضح الشكل ٧–١٦ سلكًا يحمل موجة مستقرة في اللحظة التي تكون فيها الإزاحة بحد أقصى:



الشكل ٧–١٦: السؤال ١. موجة مستقرة في لحظة معيّنة.

النقاط P و Q و R و S و T هي نقاط محددة على السلك.

أ. النقطة P تقع عند بطن. اشرح المقصود بالبطن.

.....

.....

ب. اشرح المقصود بالعقدة.

.....

.....

ج. اذكر عدد العقد الموجودة في الشكل ٧–١٦.

.....

.....

د. أكمل الجدول ٧–٣ لإعطاء فرق الطور بين النقاط المختلفة على الموجة المستقرة. تم إعطاء إجابتَين.

تذكّر أن النقاط بين العقد في حالة موجة مستقرة تتحرك إلى الأعلى وإلى الأسفل متّفقة في الطور.

النقاط	فرق الطور بين النقاط
P و Q	0
P و R	180°
P و S	
P و T	
Q و R	
Q و S	
R و S	

الجدول ٧–٣ السؤال ١ د.

هـ. صِف أين توجد النقاط التي لا يوجد بينها فرق طور في حالة موجة مستقرة.

.....

.....

.....

و. قارن فرق الطور بين نقاط على مسافات مختلفة على طول موجة مستقرة مع فرق الطور بين النقاط على طول موجة مسافرة.

.....

.....

ز. تهتز النقطة Q إلى الأعلى وإلى الأسفل متوافقة في الطور مع النقطة P ولكن بسعة أقل. رتّب سعات الاهتزازات في P و Q و R و S و T، من الأكبر إلى الأصغر.

.....

ح. صِف كيف تختلف سعة اهتزاز نقطة على موجة مستقرة على طول الموجة، ثم قارن ذلك بسعة الاهتزاز للنقاط المختلفة على طول الموجة المسافرة.

.....

.....

.....

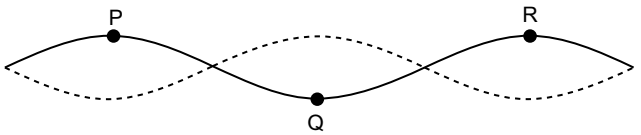
ط. قارن بين انتقال الطاقة على طول موجة مستقرة وعلى طول موجة مسافرة. اشرح سبب الاختلاف.

.....

.....

.....

٢. يوضح الشكل ٧–١٧ موجة مستقرة تشكلت على وتر جيتار عند عزف نغمة موسيقية:



الشكل ٧–١٧: السؤال ٢. موجة مستقرة تشكلت على وتر جيتار عند عزف نغمة موسيقية.

P و Q و R هي ثلاث نقاط على السلك، موضوعة عند البطون.

أ. اشرح كيف تتشكل موجة مستقرة على وتر الجيتار من موجة مسافرة تنتقل على طول الوتر.

.....

.....

.....

ب. صِف حركة النقطة P.

.....

.....

.....

ج. قارن الاهتزازات عند النقاط الثلاث. يجب أن تصف أي أوجه تشابه واختلاف في السعة وفي فرق الطور بين النقاط.

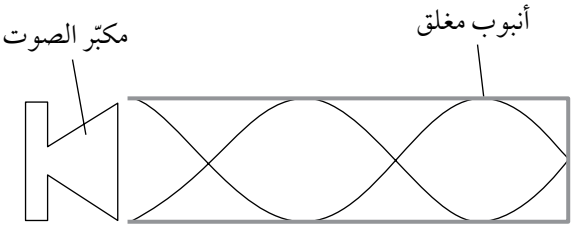
.....

.....

.....

د. ارسم شكل موجة مستقرة أخرى تتشكل على طول السلك نفسه ولكن لها طول موجة أكبر مما هو موضح في الشكل ٧–١٧، ثم ضع علامة على العقد في الشكل الجديد.

٣. يوضح الشكل ٧–١٨ طريقة اهتزاز موجة صوتية مستقرة تكوّنت في أنبوب مغلق:



الشكل ٧–١٨: السؤال ٣. رسم تخطيطي يوضح طريقة اهتزاز موجة مستقرة في أنبوب مغلق.

مهمّ

إن البطن هو معاكس للعقدة في إزاحة جزيء الهواء. يجب أن توضح إجابتك حقيقة أن الصوت هو موجة طولية.

أ. صِف حركة جزيء الهواء عند بطن ما.

.....

.....

.....

ب. اشرح كيف تنتج الموجات من مكبّر الصوت موجات مستقرة في الأنبوب.

.....

.....

.....

ج. يبلغ طول موجة الصوت الصادر من مكبّر الصوت (8.0 cm)، احسب طول الأنبوب (تجاهل تصحيحات النهاية).

.....

.....

د. تمّ خفض تردد الصوت من مكبّر الصوت تدريجيًا، فظهر نمط مختلف للموجة المستقرة.

١. ارسم هذا النمط.

٢. حدّد الطول الموجي للموجة المتكوّنة في هذا النمط.

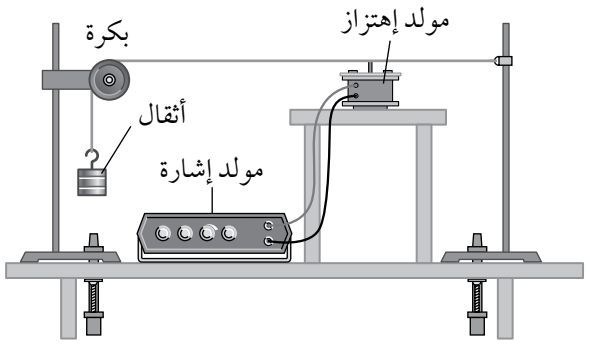
.....

.....

نشاط ٧-٨ تخطيط التجارب على الموجات المستقرة

القدرة على وصف التجارب والتخطيط لها تحتاج إلى ممارسة ومهارة عقلية. يتضمن هذا النشاط عددًا من الأساليب المنظمة للتجارب التي تتضمن موجات مستقرة.

١. يوضح الشكل ٧-١٩ جهازًا يمكن استخدامه لإظهار موجة مستقرة على سلك ما وقياس طولها الموجي:



الشكل ٧-١٩: السؤال ١. رسم تخطيطي لجهاز يمكن استخدامه لإظهار موجة مستقرة على سلك ولقياس الطول الموجي للموجة.

أ. كيف يمكنك الحصول على موجة مستقرة على السلك؟ وكيف يمكنك التعرف على مواضع العقد والبطون؟

.....

.....

.....

ب. اقترح كيف يمكنك قياس الطول الموجي للموجة، ثم قم بتضمين إجراء واحد يتيح العثور على قيمة مضبوطة.

.....

.....

.....

ج. تردد الموجة هو نفسه تردد مولد الاهتزاز. اشرح كيف يمكن قياس هذا التردد باستخدام جهاز الأوسيلوسكوب.

.....

.....

.....

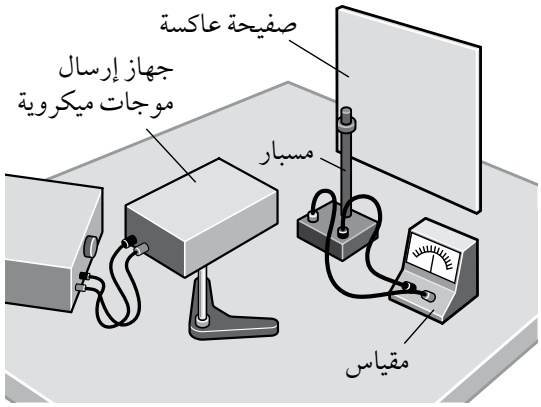
د. كيف يمكن استخدام التجربة لتحديد كيفية اعتماد سرعة انتقال الموجة في السلك على قوة الشد المؤثرة عليه؟

.....

.....

.....

٢. يوضح الشكل ٧-٢٠ الجهاز الذي يمكن استخدامه لإنتاج موجات ميكروية مستقرة:



الشكل ٧-٢٠: السؤال ٢. رسم تخطيطي لجهاز يمكن استخدامه لإنتاج موجات ميكروية مستقرة.

أ. صِف كيف يمكنك استخدام الجهاز لإنتاج موجة مستقرة.

.....

.....

.....

ب. اشرح سبب تكوّن موجة مستقرة.

.....

.....

.....

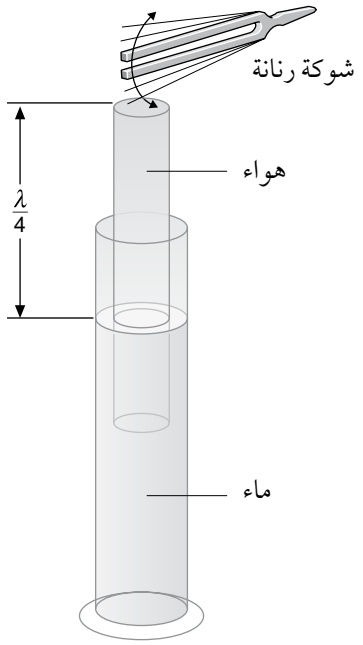
ج. اشرح كيفية استخدام الموجة المستقرة لقياس تردد الموجات الميكروية من جهاز الإرسال.

.....

.....

.....

٣. يوضح الشكل ٧–٢١ عمودًا من الهواء وشوكة رنانة:



الشكل ٧–٢١: السؤال ٣. إنتاج موجة مستقرة بعمود من الهواء وشوكة رنانة.

عندما يكون طول عمود الهواء $\frac{\lambda}{4}$، يتم إنتاج موجة صوتية مستقرة بعقدة واحدة وبطن واحد.

أ. هل توجد عقدة أم بطن على السطح العلوي من عمود الهواء؟

.....

ب. هل توجد عقدة أم بطن على السطح الفاصل بين الماء والهواء؟

.....

ج. اذكر، بدلالة (λ)، طول عمود الهواء الذي ينتج موجة مستقرة ذات عقدتَين وبطنَين.

.....

د. صِف كيف يمكنك استخدام الجهاز لإثبات أنه يمكن إنتاج موجات مستقرة.

.....

.....

.....

هـ. صِف واشرح كيفية استخدام الجهاز لقياس طول الموجة الصوتية. نظرًا إلى أن البطن في الطرف المفتوح للأنبوب يقع خارج الأنبوب قليلًا؛ يجب أن تتضمن طريقتك الفرق بين طولَي عمودَين متتاليين من الهواء تتكوّن عندهما موجات مستقرة.

.....

.....

و. يُكتب تردد الشوكة الرنانة عليها. إذا تم تكرار التجربة بشوكات رنانة مختلفة التردد، فصِف منحنى التمثيل البياني الذي يتم الحصول عليه عند تمثيل تغيّر طول الموجة (λ) للموجة الصوتية بتغير التردد (f) للشوكة الرنانة.

.....

.....

ز. صِف كيف يمكن رسم تمثيلًا بيانيًا يتضمن (f) و (λ) لإعطاء خط مستقيم ذي ميل يساوي سرعة الصوت في عمود الهواء.

.....

.....

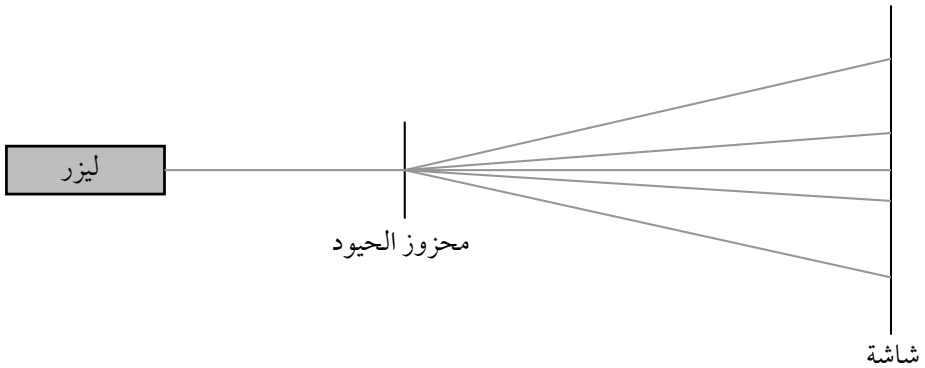
الاستقصاءات العملية

استقصاء عملي ٧-١: التخطيط لقياس طول موجة ليزر باستخدام محزوز الحيود

أهداف الاستقصاء العملي

- تخطيط التجارب والاستقصاءات.
- تحليل البيانات الناتجة من التجارب للوصول إلى استنتاجات وتفسيرها.

عندما تقع حزمة ضوئية لليزر ما على محزوز حيود، ينتج نمط حيود على الشاشة (الشكل ٧-٢٢).



الشكل ٧-٢٢: سقوط ضوء ليزر على محزوز الحيود.

ستصمم تجربة مخبرية لتحديد طول موجة ضوء ليزر باستخدام نمط الحيود الناتج على الشاشة. ستحتاج إلى الأدوات الآتية:

- ليزر أحمر أحادي اللون.
- ثلاث شرائح محزوز حيود مكوّنة من 100 و 300 و 600 خط لكل mm.
- شاشة بيضاء.
- مسطرة مترية.

المتغيرات

اذكر المتغير التابع، والمتغير المستقل، والمتغيرات الضابطة (المتغيرات التي يجب التحكم فيها، وهي كميات يجب أن تبقى كما هي).

- المتغير التابع: .....
- المتغير المستقل: .....
- المتغيرات الضابطة: .....

.....

⚠ احتياطات الأمان والسلامة

- اكتب تقييمًا للمخاطر المرتبطة بالتجربة والاحتياطات التي ستتخذها.
- .....

.....

.....

.....

.....

الطريقة

صِف كيف ستنفّذ التجربة.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

النتائج

ارسم جدولاً بالنتائج التي يمكن استخدامها لتسجيل البيانات من هذه التجربة ومعالجتها. ليس عليك ملء أية قيمة في الجدول، بل تذكر تضمين وحدات القياس الصحيحة في عناوين الأعمدة.

التحليل والاستنتاج والتقييم

أ. صِف كيف يمكنك تحليل البيانات لتحديد طول موجة الليزر.

يجب أن يتضمن تحليلك تفاصيل التمثيل البياني الذي يمكن استخدامه لتحديد طول الموجة.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

استقصاء عملي ٧-٢: الموجات المستقرة على سلك يحمل تيارًا كهربائيًا

أهداف الاستقصاء العملي

- تخطيط التجارب والاستقصاءات.
- تحليل البيانات الناتجة من التجارب للوصول إلى استنتاجات وتفسيرها.

تمّت مناقشة تشكيل **الموجات المستقرة** على سلك في الوحدة السابعة من كتاب الطالب. في هذه التجربة، يتم وضع السلك في مجال مغناطيسي وجعله يهتز عن طريق تمرير تيار كهربائي متردد خلاله بحيث يكون تردد الاهتزاز هو نفسه **تردد** التيار الكهربائي لمصدر الجهد الكهربائي.

ستستقصي في التجربة العلاقة بين قوة الشد في السلك **وطول الموجة** المستقرة.

مصطلحات علمية

الموجة المستقرة Stationary wave: نمط اهتزازي مستقر ناتج عن تراكب موجتَين مسافرتَين لهما التردد نفسه وتنتقلان باتجاهَين متعاكسَين، وللموجة المستقرة عقد وبطون.

التردد Frequency: عدد الاهتزازات لنقطة ما في موجة لكل ثانية.

طول الموجة Wavelength: المسافة بين نقطتَين متجاورتَين في موجة مهتزة لكل منهما الإزاحة والاتجاه نفسهما (الطور نفسه).

ستحتاج إلى

الموادّ والأدوات:

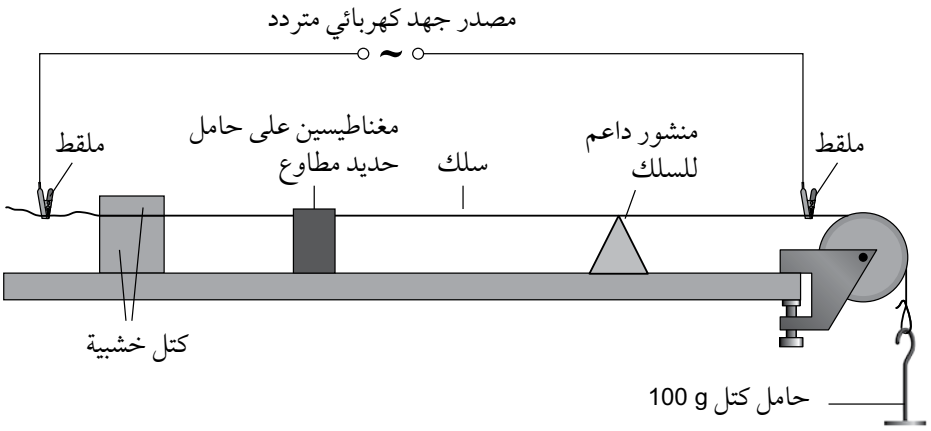
- بكرة.
- سلك مثبت من أحد طرفَيه على المنضدة.
- منشور.
- حامل من الحديد المطاوع على شكل حرف U مثبّت عليه مغناطيسَين من السيراميك.
- مصدر تيار كهربائي متردد ذو فرق جهد (2 V).
- سلكان موصلان، في طرف كل منهما مشبك.
- حامل كتل (100 g).
- كتلتان مشقوقتان (100 g) وكتلة مشقوقة (50 g).
- مسطرة مترية.
- بطاقة من الورق داكن اللون.

⚠ احتياطات الأمان والسلامة

- تأكّد من قراءة احتياطات الأمان والسلامة في بداية هذا الكتاب، واستمع لنصائح معلّمك قبل تنفيذ الاستقصاء.
- ضع نظارات واقية عندما يكون السلك مشدودًا.
- لا توجد مشكلة تتعلق بالسلامة في الإمداد الكهربائي ذي الجهد الكهربائي المنخفض جدًا.

الطريقة

١. قم بتركيب أدوات التجربة كما هو موضح في الشكل ٧–٢٣.



الشكل ٧–٢٣: مخطط الدائرة مع سلك فوق بكرة.

٢. قُم بتجهيز السلك والبكرة باستخدام حامل الكتل (100 g) في نهاية السلك.

٣. ضَع حامل المغناطيس على بُعد (15 cm) تقريبًا من الكتل الخشبية بحيث يمر السلك بين المغناطيسَين.

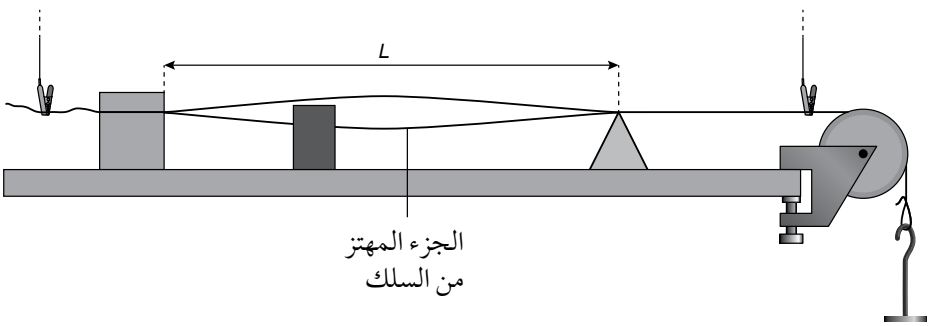
٤. ضَع المنشور تحت السلك بحيث يكون ملامسًا له.

٥. استخدم الملاقط والأسلاك لتوصيل مصدر التيار الكهربائي المتردد عند النقطتين الموضحتين في الشكل ٧–٢٣.

٦. سجّل قيمة الكتلة المعلّقة من السلك (*M*) في جدول تسجيل النتائج ٧–٤.

٧. قُم بتشغيل مصدر الجهد الكهربائي وسجّل قيمة تردد المصدر في قسم النتائج.

٨. حرّك المنشور ببطء على طول السلك حتى يهتز السلك كما هو موضح في الشكل ٧–٢٤. اضبط موضع المنشور حتى تصبح سعة الاهتزاز أكبر ما يمكن.



الشكل ٧–٢٤: اهتزاز السلك المار فوق البكرة.

٩. (*L*) هو طول السلك بين المنشور والكتل الخشبية كما هو موضح في الشكل ٧-٢٤. قم بقياس (*L*) وسجّل القيمة في جدول تسجيل النتائج ٧-٤.

١٠. قم بإيقاف تشغيل مصدر الجهد الكهربائي.

١١. قم بزيادة الكتلة (*M*) بمقدار (50 g)، كرّر الخطوات من ٣ إلى ١٠ بعد كل زيادة.

النتائج

تردد المصدر:

f = ... Hz

M (kg)	*L* (m)	λ (m)	λ^2 (m^2)

الجدول ٧-٤: جدول تسجيل النتائج.

مهمّ

ستكون رؤية الاهتزاز أسهل إذا وضعت ورقة سوداء خلف السلك.

مهمّ

على الرغم من تسجيل *L* بالأمتار، إلا أنه يجب قياسها لأقرب mm (0.001 m).

التحليل والاستنتاج والتقييم

أ. الطول الموجي للموجة المستقرة (λ) وهو عبارة عن ضعف المسافة بين **عقدتَين** متجاورتين. احسب (λ) لكل صَف وسجّلها في جدول تسجيل النتائج ٧-٤ باستخدام العلاقة: $\lambda = 2L$.

مصطلحات علمية

العقدة Node: نقطة على الموجة المستقرة ذات سعة صفرية.

ب. احسب قيمة (λ^2) لكل صف وسجّلها في جدول تسجيل النتائج. تأكّد من أن كل عمود في الجدول يتضمّن عنوانًا بكمّية معيّنة ووحدة قياس.

ج. استخدم ورقة الرسم البياني لرسم التمثيل البياني لـ λ^2 (على المحور الصادي) مقابل M (على المحور السيني).

د. ارسم الخط المستقيم الأفضل ملاءمة الذي يمرّ عبر النقاط.

هـ. حدد ميل الخط المستقيم ونقطة التقاطع مع المحور الصادي للخط.

الميل = ... نقطة التقاطع = ...

و. يمكن تطبيق المعادلة في الجزئية (أ) لتغيير تردد النغمة التي ينتجها وتر الجيتار. ما الكمية في المعادلة التي على عازف الجيتار تغييرها لإعطاء نغمة مختلفة، وكيف يتم تغييرها؟

.....

.....

.....

ز. ترتبط (M) و (λ^2)بالمعادلة:

$$\lambda^2 = \frac{Mg}{\mu f^2}$$

حيث (g) يساوي ($9.81\ m\ s^{-2}$).

(f) هو تردد التيار المتردد لمصدر الجهد الكهربائي (مكتوب على وحدة المصدر).

(μ) هي الكتلة لكل وحدة طول من السلك.

استخدم قيمة ميل التمثيل البياني لحساب قيمة (μ)، مضمنًا وحدتها.

مهمّ

تحقق من أن القيم التي تستخدمها لها وحدات متوافقة.

μ = ...

أسئلة نهاية الوحدة

١. وضِعت شاشة رأسية على بعد أمتار قليلة من شق مزدوج رأسي. أُطلقت حزمة ضوء ليزر أحمر على الشق المزدوج فظهر نمط من البقع الحمراء على الشاشة.

أ. اشرح كيف يتشكل نمط البقع الحمراء على الشاشة، مستخدمًا أفكارًا حول فرق المسار واختلاف الطور والتداخل في إجابتك.

ب. باستخدام أفكار حول الحيود، اشرح السبب في أن هذا النمط يصبح أقل سطوعًا عند حافة الشاشة.

٢. يمكن استخدام محزوز الحيود لإيجاد طول موجة ضوء ما.

أ. صِف كيف يمكنك استخدام محزوز الحيود لإيجاد طول موجة ضوء ليزر ما.

ب. اذكر ميزة استخدام محزوز الحيود بدلًا من الشق المزدوج في تجربتك، واشرح الأسباب.

٣. في تجربة باستخدام الشق المزدوج، وُجد أن ثماني مسافات هدبية فاصلة على الشاشة تشغل مسافة (0.40 cm). تقع الشاشة على بُعد (50 cm) من الشقَّين، وطول موجة الضوء (700 nm):

أ. احسب المسافة الفاصلة بين الأهداب.

ب. احسب المسافة الفاصلة بين الشقَّين.

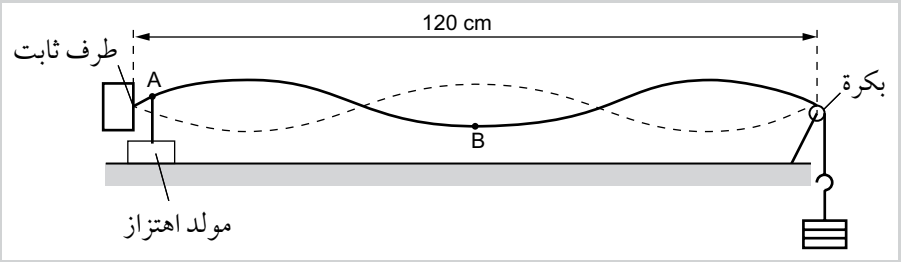
ج. يتم استبدال الشق المزدوج بمحزوز حيود، حيث المسافة الفاصلة بين الشقوق الموجودة في هذا المحزوز تساوي المسافة في الشق المزدوج. أسقط ضوءًا بطول الموجة نفسه (700 nm) عموديًا على شبكة المحزوز، احسب زاوية التداخل الأقصى من الرتبة الأولى.

د. اذكر اختلافَين بين الأنماط التي تظهر عند استخدام الشق المزدوج ومحزوز الحيود.

هـ. وضح: لماذا لا يكون وجود خطوط متباعدة إلى هذا الحد في تجربة محزوز الحيود أمرًا مناسبًا؟

تابع

٤. يتم تثبيت سلك من أحد طرفَيه وجعله يهتز بواسطة مولد اهتزاز متصل بذلك الطرف، ثم يتم تغيير تردد المولد حتى تتشكل عليه موجة مستقرة، كما هو موضح في الشكل ٧–٢٥:



الشكل ٧–٢٥

أ. اشرح كيف تتسبب الموجة المسافرة التي ينتجها المولد في تكوين الموجة المستقرة.

ب. ضَع علامة على الشكل حيث توجد العُقد.

ج. ما عدد البطون الموضحة في الشكل ٧–٢٥؟

د. قارن:

١. الطور

٢. السعة

لاهتزازات النقطتين A و B على السلك.

هـ. إذا كان تردد مولّد الاهتزاز (150 Hz) وطول السلك بين البكرة والنهاية الثابتة (120 cm)، فاحسب:

١. الطول الموجي للموجة المسافرة على السلك.

٢. سرعة الموجة المسافرة على طول السلك.

و. بإضافة المزيد من الكتل إلى الخطاف المتدلي من السلك تزداد سرعة الموجة المسافرة على طول السلك.

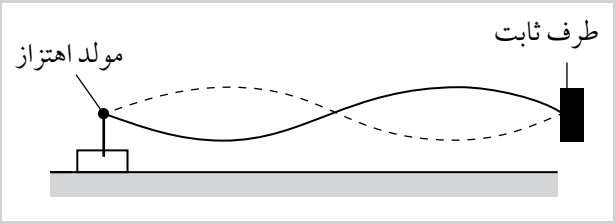
عندما تم إضافة كتلة صغيرة اختفت الموجة المستقرة الموضحة.

١. اشرح سبب اختفاء نمط الموجة الثابت الموضح.

٢. حدّد ما إذا كان يجب زيادة أو تخفيض تردد المولد لتشكيل نمط الموجة المستقرة نفسه للسلك كما هو موضح في الشكل ٧–٢٥. اشرح إجابتك.

تابع

٥. يوضح الشكل ٧–٢٦ موجة مستقرة على سلك ما.



الشكل ٧–٢٦

يتم توصيل مولد اهتزاز بأحد طرفَي سلك ويتم تثبيت الطرف الآخر من السلك، فيتسبب المولد في انتقال موجة مسافرة على طول السلك.

أ. استخدم مبدأ تراكب الموجات لشرح تكوين الموجة المستقرة.

ب. تبلغ سرعة الموجة المسافرة ($24\ m\ s^{-1}$) ويبلغ تردد مولّد الاهتزاز (50 Hz). احسب:

١. طول الموجة للموجة المسافرة على السلك.

٢. المسافة بين العُقد على السلك.

ج. عندما يتضاعف تردد مولد الاهتزاز، يتغير عدد حلقات الموجة المستقرة من اثنين إلى أربعة. **توقّع** ما إذا كان هذا التغيير يؤثر على سرعة الموجة المسافرة على طول السلسلة. اشرح إجابتك.

٦. أ. صِف كيف تختلف الموجات المسافرة والموجات المستقرة على سلك فيما يتعلق بما يلي:

١. نقل الطاقة على طول السلك.

٢. تغير السعة مع المسافة على طول السلك.

ب. اشرح المقصود بالمصطلحات الآتية عند استخدامها لوصف موجة مستقرة:

١. عقدة.

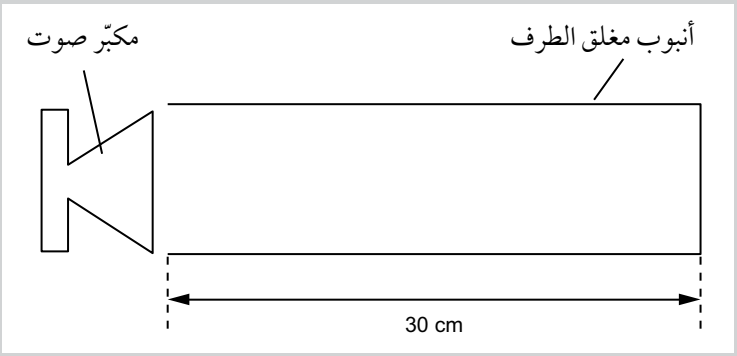
٢. بطن.

أفعال إجرائية

توقّع/تنبّأ Predict: اقترح ما قد يحدث بناءً على المعلومات المتاحة.

تابع

ج. مكبّر صوت موضوع بالقرب من الطرف المفتوح لأنبوب طويل مغلق من الطرف الآخر كما هو موضح في الشكل ٧-٢٧، وطول الأنبوب (30 cm):



الشكل ٧-٢٧

تم تغيير تردد مكبّر الصوت ببطء، فسُمع صوت عالٍ عند عدة ترددات.

١. اشرح أسباب حدوث هذه الأصوات العالية.

٢. يتسبب الصوت الذي يبلغ طوله الموجي (24 cm) من مكبّر الصوت بحدوث صوت مرتفع. صِف موضع العقد والبطون داخل الأنبوب عند طول الموجة هذه.

٣. سرعة الصوت في الأنبوب ($320\ m\ s^{-1}$). احسب أقل تردد يصدر عنده صوت عالٍ في الأنبوب.

فيزياء الكم Quantum Physics

أهداف التعلّم

٨–١ يذكر أن الإشعاع الكهرومغناطيسي له طبيعة جسيمية.

٨–٢ يذكر أن الفوتون هو كمّة من الطاقة الكهرومغناطيسية.

٨–٣ يستخدم المعادلة: $E = hf$.

٨–٤ يستخدم الإلكترون فولت (eV) كوحدة للطاقة.

٨–٥ يذكر أن إلكترونات ضوئية تنبعث من سطح فلزي عندما يُسلّط عليه إشعاع كهرومغناطيسي مناسب.

٨–٦ يعرّف المصطلحَين تردد العتبة وطول موجة العتبة ويستخدمهما.

٨–٧ يشرح الانبعاث الكهروضوئي باستخدام طاقة الفوتون وطاقة دالة الشغل.

٨–٨ يستخدم المعادلة: $hf = \phi + \frac{1}{2}mv^2_{max}$.

٨–٩ يشرح أن طاقة الحركة القصوى للإلكترونات الضوئية تعتمد على تردد الضوء الساقط ولا تعتمد على شدتة، في حين أن شدة التيار الكهروضوئي تتناسب طرديًا مع شدة الضوء.

٨–١٠ يذكر أن الفوتون له كمية تحرك، ويستخدم المعادلة: $p = \frac{E}{c}$.

٨–١١ يذكر أن هناك مستويات طاقة منفصلة للإلكترون في الذرات (مثل ذرة الهيدروجين).

٨–١٢ يشرح مظهر خطوط أطياف الانبعاث وخطوط أطياف الامتصاص وتشكّلها.

٨–١٣ يستخدم المعادلة: $hf = E_1 - E_2$.

٨–١٤ يصف كيف أن الانبعاث الكهروضوئي دليل على الطبيعة الجسيمية للإشعاع الكهرومغناطيسي وأن التداخل والحيود دليل على الطبيعة الموجية له.

٨–١٥ يصف الأدلة التي يقدمها حيود الإلكترونات للطبيعة الموجية للجسيمات ويفسرها نوعيًا.

٨–١٦ يعرّف طول موجة دي بروي على أنها الطول الموجي المصاحب للجسيم المتحرك.

٨–١٧ يستخدم المعادلة: $\lambda = \frac{h}{p}$.

سرعة الإشعاع الكهرومغناطيسي في الفراغ: $c = f\lambda$

طاقة الفوتون = ثابت بلانك × التردد

$E = hf$

معادلة أينشتاين الكهروضوئية: طاقة الفوتون = دالة الشغل + طاقة الحركة القصوى للإلكترون

$hf = \Phi + \frac{1}{2}mv^2_{max}$

طاقة فوتون (ممتص أو منبعث) نتيجة انتقال الإلكترون بين مستويَين من الطاقة E_1 و E_2 :

$hf = E_1 - E_2$

طول موجة دي بروي: $\lambda = \frac{h}{p}$

كمية تحرك فوتون ما = $\frac{\text{طاقة الفوتون}}{\text{سرعة الضوء في الفراغ}}$

$p = \frac{E}{c}$

الأنشطة

نشاط ٨-١ الضوء: هل هو موجة أم جسيم؟

يمكنك أن تتخيل خصائص موجات الضوء من خلال التفكير في الضوء على أنه مجالات كهربائية ومغناطيسية مترددة تتحرك عبر الفضاء، تمامًا كما يتأرجح قارب على سطح الماء عندما تتحرك موجة مائية عبره، ويمكنك أن تتخيل **الكمّة** أو الخصائص الجسيمية للضوء من خلال التفكير في الضوء كعدد من السيارات حاملة للطاقة تتحرك جميعها بالسرعة العالية نفسها على طول طريق ما. هذا النشاط يدور حول هذه الأفكار.

١. يُظهر الضوء خصائص الموجة مثل الانعكاس والانكسار والحيود والتداخل.

أ. أي خاصيتَين من هذه الخصائص توضح بشكل أفضل أن الضوء عبارة عن موجة وليس جسيمًا؟

.....

.....

.....

ب. صِف كيف يمكن تفسير المواضع المعتمة في نمط الشق المزدوج ليونج عند اعتبار الضوء كموجة ولا يمكن تفسير ذلك عند اعتباره كجسيمات.

.....

.....

.....

مصطلحات علمية

الكمّة Quantum: كمية محددة من شيء ما (الطاقة في هذه الحالة) موجودة بشكل منفصل.

التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect: تفاعل بين فوتون وإلكترون في فلز ما، حيث يتحرّر الإلكترون من سطح هذا الفلز.

٢. أ. صِف ما يحدث في الانبعاث الكهروضوئي.

.....

.....

.....

ب. صِف تجربة توضح **التأثير الكهروضوئي**.

.....

.....

.....

٣. يفسّر النموذج الموجي الانبعاث الكهروضوئي على أنه امتصاص بطيء لطاقة الموجة من قبل الإلكترونات، الأمر الذي يمنحها في النهاية طاقة كافية للتحرر، ومع ذلك تشير الملاحظات المختلفة في الانبعاث الكهروضوئي إلى أن للضوء خصائص جسيمية، أحدها هو وجود تردد العتبة.

أ. ما المقصود بتردد العتبة؟

.....

.....

.....

ب. وضّح كيف أنه من الصعب شرح تردد العتبة باستخدام النموذج الموجي.

.....

.....

.....

ج. كيف يمكن شرح تردد العتبة باستخدام النموذج الجسيمي إذا كانت طاقة **الفوتون** تعتمد على التردد؟

.....

.....

.....

مصطلحات علمية

الفوتون Photon: كمة من الطاقة الكهرومغناطيسية.

د. اذكر ملاحظتَين أخريَين حول الانبعاث الكهروضوئي تشيران إلى أن للضوء خصائص جسيمية.

.....

.....

.....

٤. زيدت شدة ضوء من مصباح ما بحيث أصبح أكثر سطوعًا مع إبقاء اللون كما هو.

أ. استخدم النموذج الموجي لتوضيح ما يحدث لسعة موجة الضوء وترددها وسرعتها.

.....

.....

.....

ب. استخدم النموذج الجسيمي لتوضيح ما يحدث لطاقة الفوتون وعدد الفوتونات المنبعثة في الثانية.

.....

.....

.....

ج. يتسبب هذا الضوء في انبعاث كهروضوئي، ويتم زيادة شدته بشكل منتظم.

١. ماذا يحدث للطاقة القصوى للإلكترونات المنبعثة؟

.....

.....

.....

٢. ماذا يحدث لعدد الإلكترونات المنبعثة في الثانية؟

.....

.....

.....

٥. لا يتسبب الضوء المنبعث من مصدر ما في حدوث انبعاث كهروضوئي عندما يصطدم بسطح فلزي، فيقترح أحد الطلبة أن جعل الضوء أكثر سطوعًا سيسمح بحدوث انبعاث كهروضوئي.

أ. استخدم النظرية الجسيمية لشرح سبب خطأ هذا الاقتراح.

.....

.....

.....

ب. اقترح تغييرَين قد يسمحان بحدوث انبعاث كهروضوئي.

.....

.....

.....

٦. أ. احسب طاقة فوتون تردده (6.0×10^{14} Hz).

.....

.....

مهمّ

تذكّر أن ثابت بلانك:
$h = 6.63 \times 10^{-34}$ J s.

ب. احسب كمية تحرك فوتون تردده (6.0×10^{14} Hz).

.....

.....

ج. احسب طاقة فوتون طول موجته (4.0×10^{-7} m).

.....

.....

د. احسب كمية تحرك فوتون طول موجته (4.0×10^{-7} m).

.....

.....

٧. يبعث مصباح (10 J) من الطاقة كل ثانية على شكل ضوء تردده (5.0×10^{14} Hz).

أ. احسب طاقة فوتون هذا الضوء.

.....

.....

ب. احسب عدد الفوتونات المنبعثة في الثانية.

.....

.....

٨. يسقط ضوءٌ ما على سطح فلزي ويتسبب بانبعاث كهروضوئي. زيد تردد الضوء لكن إجمالي الطاقة الضوئية التي تسقط على السطح في كل ثانية بقيت ثابتة.

ماذا يحدث لكل من:

أ. طاقة الفوتون؟

.....

.....

.....

ب. عدد الفوتونات في الثانية للضوء الساقط؟

.....

.....

.....

ج. معدل انبعاث الإلكترونات من السطح؟

.....

.....

.....

د. طاقة الحركة القصوى للإلكترونات المنبعثة من السطح؟

.....

.....

.....

نشاط ٨-٢ المعادلة الكهروضوئية

يمنحك هذا النشاط تدريبًا على فهم المعادلة الكهروضوئية واستخدامها:

طاقة الفوتون = دالة الشغل + طاقة الحركة القصوى للإلكترون المنبعث.

سرعة الإشعاع الكهرومغناطيسي: $c = 3.00 \times 10^{8}\ \text{m s}^{-1}$

ثابت بلانك: $h = 6.63 \times 10^{-34}\ \text{J s}$

مصطلحات علمية

ثابت بلانك Planck constant: ثابت أساسي يربط طاقة فوتون معيّن (E) بتردده (f).

١. أ. ما المقصود بمصطلح الفوتون؟

.....

.....

.....

ب. ما المقصود بدالة الشغل؟

.....

.....

.....

ج. اشرح السبب في أن هناك قيمة قصوى لطاقة حركة الإلكترون المنبعث في المعادلة.

.....

.....

.....

د. اقترح سبب انبعاث عدد قليل من الإلكترونات بأقصى طاقة حركة.

.....

.....

.....

٢. تسقط فوتونات طاقتها (1.20×10^{-18} J) على سطح فلزي، فتنبعث إلكترونات من السطح طاقتها الحركية القصوى (5.0×10^{-19} J). احسب دالة الشغل للفلز.

.....

.....

٣. يسقط إشعاع طول موجته (3.0×10^{-7} m) على سطح فلز الصوديوم، دالة شغله تساوي (3.6×10^{-19} J). احسب طاقة الحركة القصوى للإلكترونات المنبعثة.

.....

.....

٤. في تجربة كهروضوئية، تنبعث إلكترونات طاقة حركتها القصوى (1.5×10^{-19} J) من سطح فلزي دالة شغله (3.2×10^{-19} J). احسب تردد الإشعاع الساقط.

.....

.....

٥. عندما يسقط ضوء بتردد (5.3×10^{14} Hz) على سطح فلزي، تنبعث إلكترونات من دون أن تكتسب طاقة حركة.

أ. احسب **طول موجة العتبة** لمادة السطح.

.....

.....

ب. احسب دالة الشغل للسطح.

.....

.....

ج. احسب طاقة الحركة القصوى للإلكترونات المنبعثة عند استخدام ضوء بتردد (6.0×10^{14} Hz).

.....

.....

مصطلحات علمية

طول موجة العتبة
Threshold wavelength:
أقصى طول موجة للإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط الذي يحرّر إلكترونات من سطح فلز ما.

٦. عندما تسقط أشعة كهرومغناطيسية طول موجتها (400 nm) على سطح فلزي، تكون طاقة الحركة القصوى للإلكترونات المنبعثة (1.2×10^{-19} J). احسب دالة الشغل للفلز.

.....

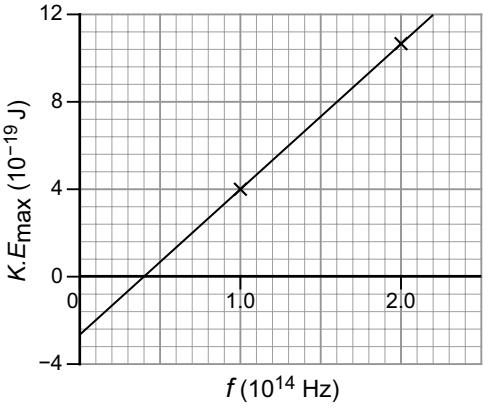
.....

٧. دالة الشغل لكل من الصوديوم والزنك على التوالي (2.3 eV) و (4.3 eV). اشرح سبب انبعاث الإلكترونات من أحد الفلزَين فقط، عند سقوط ضوء بتردد (6.0×10^{14} Hz) على السطح.

.....

.....

٨. يوضح الشكل ٨–١ تمثيلًا بيانيًا لتغير طاقة الحركة القصوى ($K.E_{max}$) للإلكترونات المنبعثة من سطح فلز ما بتغيّر تردد الفوتون (f) الساقط عليه:



الشكل ٨–١: للسؤال ٨. تمثيل بياني يوضح تغير طاقة الحركة القصوى ($K.E_{max}$) للإلكترونات المنبعثة من سطح الفلز بتغير تردد الفوتون (f) الساقط عليه.

أ. استخدم المعادلة الكهروضوئية لتوضيح أن ميل منحنى التمثيل البياني يساوي ثابت بلانك.

.....

.....

ب. جِد قيمة ثابت بلانك من التمثيل البياني.

.....

ج. اذكر كيف يمكن الحصول على دالة الشغل (ϕ) من التمثيل البياني.

.....

.....

.....

د. استنتج مقدار دالة الشغل.

.....

هـ. تخيل أن التمثيل البياني أعيد رسمه ولكن لفلز بدالة شغل أصغر. اذكر كيف تقارن الميل ونقطة التقاطع مع المحور الصادي للتمثيل البياني الجديد بالتمثيل البياني السابق.

.....

.....

.....

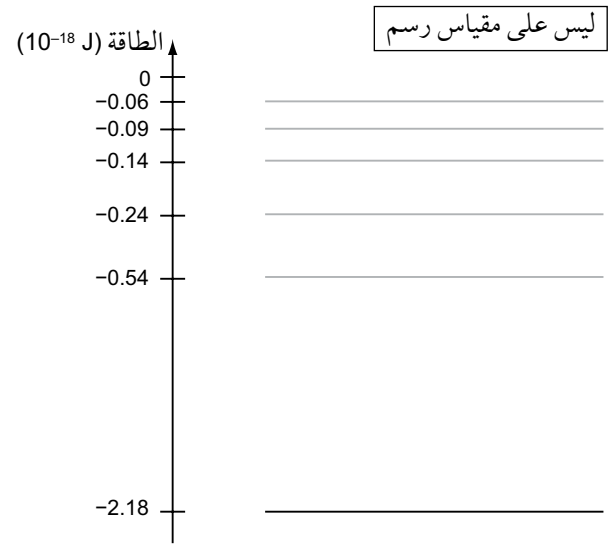
نشاط ٨-٣ الأطياف الخطية

يختبر هذا النشاط فهمك وتفسيرك للأطياف الخطية، ويمنحك تدريبًا على عملية حساب الطاقات المختلفة.

مصطلحات علمية

مستويات الطاقة Energy levels: حالات طاقة مكممة للإلكترون في الذرة.

١. يوضح الشكل ٨-٢ الرسم التخطيطي **لمستويات الطاقة** لذرة الهيدروجين:



الشكل ٨-٢: للسؤال ١. رسم تخطيطي يوضح مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين.

يوجد إلكترون في مستوى الطاقة (-0.24×10^{-18} J) ويمكنه أن يبعث أو يمتص فوتونًا لينتقل من مستوى إلى آخر.

أ. أكمل الجدول ٨-١ لإظهار طاقة الفوتون المنبعث أو الممتص إذا تحرك هذا الإلكترون إلى مستوى جديد، وحدد ما إذا كانت الذرة تبعث فوتونًا أو تمتصه عندما ينتقل الإلكترون إلى المستوى الجديد:

مستوى الطاقة الجديد	طاقة الفوتون المنبعث أو الممتص	هل ينبعث فوتون أم يمتص عندما ينتقل الإلكترون إلى المستوى الجديد؟
-0.54×10^{-18} J		
-0.14×10^{-18} J		
-2.18×10^{-18} J		
-0.09×10^{-18} J		

الجدول ٨-١ للسؤال ١ أ.

ب. اقترح طريقتَين أخريَين - غير امتصاص فوتون - يمكن من خلالهما جعل الإلكترون ينتقل إلى مستوى أعلى (تلميح: ما الطرائق الأخرى التي يمكن للإلكترون من خلالها اكتساب الطاقة؟).

.....

.....

.....

٢. أ. صِف الفرق بين **طيف الانبعاث الخطي وطيف الامتصاص الخطي**.

.....

.....

.....

ب. اشرح: لماذا تكون خطوط طيف الانبعاث الخطي لغاز ما عند الأطوال الموجية نفسها لخطوط طيف الامتصاص الخطي للغاز نفسه؟

.....

.....

.....

مصطلحات علمية

طيف الانبعاث الخطي Emission line spectrum: طيف بخطوط ملونة ساطعة متوازية ذات أطوال موجية محددة.

طيف الامتصاص الخطي Absorption line spectrum: طيف به خطوط سوداء متوازية ذات أطوال موجية محددة تُرى على خلفية طيف مستمر.

ج. صِف كيف يمكن الحصول على طيف الانبعاث الخطي لغاز ما.

.....

.....

.....

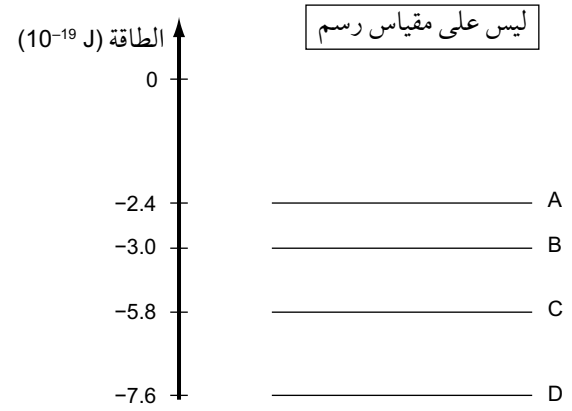
د. صِف كيف يمكن الحصول على طيف الامتصاص الخطي لغاز ما.

.....

.....

.....

٣. يوضح الشكل ٨–٣ أربعة مستويات طاقة لذرة الهيليوم:



الشكل ٨–٣: للسؤال ٣. رسم تخطيطي يوضح أربعة مستويات طاقة لذرة الهيليوم.

مصطلحات علمية

الانتقال Transition: هو قفزة الإلكترون بين مستويَين من الطاقة.

يتكوّن طيف الانبعاث الخطي عند **انتقال** إلكترونات بين هذه المستويات.

أ. وضّح كيف تم الحصول على ستة خطوط مختلفة في الطيف الذي يتضمن هذه المستويات.

.....

.....

.....

ب. اذكر المستويَين المرتبطَين بخط الطيف ذي التردد الأعلى.

.....

.....

.....

ج. بالنسبة إلى الخط ذي التردد الأعلى في الطيف، احسب طاقة الفوتون المنبعث.

.....

.....

د. اذكر المستويَين المرتبطَين بخط الطيف ذي الطول الموجي الأطول.

.....

.....

.....

نشاط ٨-٤ طول موجة دي بروي

يمكن إثبات أن للإلكترونات خصائص موجية، على الرغم من أن لها خصائص جسيمية. يطوّر هذا النشاط فهمك للخصائص الجسيمية والموجية المختلفة، والعلاقة بينها.

١. اشرح المقصود بطول موجة دي بروي لإلكترون ما.

.....

.....

٢. إذا علمت أن كتلة الإلكترون تساوي (9.11×10^{-31} kg) وثابت بلانك (h) يساوي (6.63×10^{-34} J s)، فاحسب:

أ. طول موجة دي بروي للإلكترون إذا كانت سرعته (1.6×10^{6} m s^{-1}).

.....

.....

ب. كمية تحرك الإلكترون إذا كانت طاقة حركته (4.0×10^{-16} J).

.....

.....

ج. طول موجة دي بروي للإلكترون إذا كانت طاقة حركته (4.0×10^{-16} J).

.....

.....

٣. نيوترون كتلته (1.7×10^{-27} kg) له طول موجة دي بروي (5.0×10^{-12} m). احسب:

أ. كمية تحركه.

.....

.....

ب. سرعته.

.....

.....

٤. غالبًا ما تُعطى طاقة الإلكترون بوحدة **الإلكترون فولت (eV)**.

$1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$

يتم تسريع إلكترون من السكون من خلال فرق جهد كهربائي (1000 V). احسب:

أ. طاقة الحركة النهائية للإلكترون بوحدة الـ J.

.....

.....

ب. السرعة النهائية للإلكترون.

.....

.....

ج. كمية التحرك النهائية للإلكترون.

.....

.....

د. طول موجة دي بروي للإلكترون.

.....

.....

٥. تسلك الإلكترونات أحيانًا السلوك الجسيمي وأحيانًا أخرى السلوك الموجي.

أ. اذكر مثالًا على السلوك الموجي للإلكترون.

.....

.....

مصطلحات علمية

الإلكترون فولت (Electronvolt (eV): الطاقة التي يكتسبها إلكترون عندما ينتقل عبر فرق جهد مقداره (1 V).

ب. حدّد أي كمية فيزيائية في معادلة دي بروي $\lambda = \frac{h}{p}$ تشير إلى السلوك الموجي، وأي كمية تشير إلى السلوك الجسيمي.

.....

.....

ج. بيّن أن الوحدات هي نفسها في كل من طرفَي معادلة دي بروي.

.....

.....

٦. سامي كتلته (50 kg) يمشي بسرعة ($2.0\ m\ s^{-1}$).

أ. احسب طول موجة دي بروي لسامي.

.....

.....

ب. اقترح سبب صعوبة ملاحظة حيود موجة بهذا الطول الموجي، على الرغم من إمكانية ملاحظة حيود الموجة التي لها الطول الموجي الذي حسبته في السؤال ٤ د.

.....

.....

.....

الاستقصاءات العملية

استقصاء عملي ٨-١: تحديد ثابت بلانك

أهداف الاستقصاء العملي

- جمع الملاحظات والقياسات والتقديرات وتسجيلها وتقديمها.
- تحليل البيانات الناتجة من التجارب للوصول إلى استنتاجات وتفسيرها.
- تقييم الأساليب واقتراح التحسينات.

التيار الكهربائي في الوصلة الثنائية الضوئية (LED) هو سيل من الإلكترونات المتحركة. في الوصلة الثنائية الضوئية (LED) تنقل طاقة الإلكترون إلى طاقة فوتون (hf)، وإذا كان فرق الجهد الكهربائي بين طرفَي الـ (LED) هو (V)، فإن الطاقة القصوى للإلكترون هي (eV).

فإذا كانت هذه الطاقة كبيرة بما يكفي لتسبب انبعاث الفوتون، فعندئذٍ:

$$eV = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

$E = hf$

حيث (c) هي سرعة الضوء، (e) شحنة الإلكترون، (h) ثابت بلانك، (f) تردد الضوء، (λ) هو طول موجة الضوء.

سوف تستخدم العديد من مصابيح الـ (LED) بألوان مختلفة للتحقق من العلاقة بين فرق الجهد الكهربائي الذي تبدأ عنده مصابيح الـ (LED) في إصدار الضوء وطول الموجة للضوء الذي ينبعث منها، وسوف تستخدم أيضًا نتائجك لإيجاد قيمة لثابت بلانك (h).

ستحتاج إلى

الموادّ والأدوات:

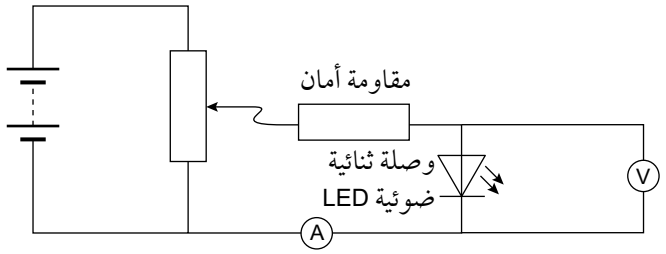
- مصدر جهد كهربائي مستمر منخفض الجهد.
- عدة وصلات ثنائية ضوئية LED بألوان مختلفة.
- مقاومة أمان مقدارها بضع مئات أوم.
- مقاومة متغيرة تستخدم كمقياس جهد كهربائي.
- جهاز ملتيميتر أو فولتميتر.
- أنبوب صغير معتم، يمكن تشكيله على سبيل المثال من خلال بطاقة سوداء ملفوفة بشكل أسطواني، ليتلاءم مع الوصلة الثنائية الضوئية LED إذا ما وضعت على فتحة من فتحتَي الأنبوب.
- بطاقة تحمل مخططًا ملوّنًا يوضح طول موجة الضوء للألوان المختلفة، أو استخدم الإنترنت للحصول على المخطط.

⚠ احتياطات الأمان والسلامة

- تأكّد من قراءة احتياطات الأمان والسلامة الواردة في بداية هذا الكتاب، واستمع لنصائح معلّمك قبل تنفيذ الاستقصاء.
- يجب أن تتأكد من وجود مقاومة أمان متصلة على التوالي مع كل وصلة ثنائية ضوئية LED، إذ بدون هذه المقاومة من السهل احتراق وصلة الـ LED، وبالتالي تلفها.
- هذه التجربة آمنة؛ حيث أنّ فرق الجهد الكهربائي منخفض وكذلك شدة التيار الكهربائي.

الطريقة

١. قم بتركيب الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل ٨-٤. ابدأ بفرق جهد كهربائي منخفض بين طرفَي الوصلة الثنائية الضوئية LED وقم بزيادة فرق الجهد الكهربائي بتأنٍ حتى تبدأ الوصلة بالتوهج.



الشكل ٨-٤: مخطط الدائرة الكهربائية.

من الأفضل القيام بذلك في مكان مظلم في المختبر، ووضع الوصلة الثنائية الضوئية LED داخل أحد جانبَي الأنبوب الأسود، والنظر إلى داخل الأنبوب لرؤية الـ LED، بحيث يمنع الأنبوب كل الضوء من الدخول إلى عين المراقب باستثناء الضوء الصادر من الـ LED. إذا كان العمل يتم مع مجموعة من الطلبة، فيجب على كل طالب محاولة القيام بملاحظة الضوء الصادر من الـ LED، حيث يصعب تقدير اللحظة التي تبدأ فيها الوصلة الثنائية الضوئية LED بإصدار الضوء.

٢. خُذ قراءة الڤولتميتر (V_{min}) عندما تبدأ برؤية انبعاث ضوء الـ LED، هذه القيمة هي قيمة فرق الجهد الأدنى الذى تعمل عنده الـ LED. سجّل قراءتك في جدول تسجيل النتائج ٨-٢ في أول صف، وكرّر القراءة واحصل على متوسط مقدار (V_{min}) وقيمة عدم اليقين فيها، ثم سجّل القيم في الجدول.

مهمّ

قيمة عدم اليقين في V هو نصف المدى بين أكبر وأصغر قيمة لـ V، أما إذا كانت جميع القراءات هي نفسها، فتكون قيمة عدم اليقين هي أصغر تدريج للمقياس على الڤولتميتر.

٣. استبدل الوصلة الثنائية الضوئية بأخرى لها لون مختلف وكرر قياس فرق الجهد الأدنى (V_{min}). احصل على متوسط قيمة فرق الجهد وقيمة عدم اليقين، وسجّل قراءاتك في الجدول لخمس وصلات ثنائية ضوئية مختلفة.

٤. قدّر طول الموجة (λ) للضوء المنبعث من كل LED. يمكن القيام بذلك من خلال مقارنة لون الضوء المنبعث من الوصلة مع المخطط الذي يمكن الحصول عليه من الإنترنت.

اكتب القيم المقدرة لطول الموجة في جدول تسجيل النتائج ٨–٢.

النتائج

مهمّ

اكتب قيمة عدم اليقين بعد الرمز ± في كل مربع في الجدول.

الوصلة الثنائية الضوئية (LED)	قراءة الفولتميتر V_{min} (V)				λ (m)	$\frac{1}{\lambda}$ (m^{-1})
	القراءة الأولى	القراءة الثانية	القراءة الثالثة	متوسط القراءات		
1				±	_____ × 10^{-7}	
2				±	_____ × 10^{-7}	
3				±	_____ × 10^{-7}	
4				±	_____ × 10^{-7}	
5				±	_____ × 10^{-7}	

الجدول ٨–٢: جدول تسجيل النتائج.

التحليل والاستنتاج والتقييم

أ. أكمل الجدول ٨–٢ بحساب $\frac{1}{\lambda}$ (m^{-1}).

ب. ارسم تمثيلًا بيانيًا لمتوسط قيمة V_{min} (V) على المحور الصادي (y) مقابل $\frac{1}{\lambda}$ (m^{-1}) على المحور السيني (x). قم بتضمين أشرطة الخطأ على طول المحور الصادي (y)، باستخدام قيم عدم اليقين الواردة في جدول تسجيل النتائج ٨–٢.

ارسم الخط المستقيم الأفضل ملاءمة الذي يمرّ عبر نقاط التمثيل البياني والخط المستقيم الأسوأ ملاءمة.

مهمّ

ارسم الخط الأسوأ ملاءمة عن طريق رسم خط مستقيم بين أسفل شريط الخطأ عند نقطة البيانات الأولى وأعلى شريط الخطأ عند نقطة البيانات النهائية.

ج. احسب ميل الخط المستقيم الأفضل ملاءمة، وميل الخط المستقيم الأسوأ ملاءمة، مع كتابة وحدة قياس الميل، والتي يجب أن تحددها مستعينًا بالوحدات في الجدول ٨-٢.

ميل الخط المستقيم الأفضل ملاءمة = ...

ميل الخط المستقيم الأسوأ ملاءمة = ...

د. باستخدام المعادلة $\frac{hc}{\lambda} = eV$، اكتب تعبيرًا لميل التمثيل البياني بدلالة (e) و (h) و (c).

الميل = ...

هـ. استخدم قيمة ميل الخط المستقيم الأفضل ملاءمة لحساب قيمة ثابت بلانك (h)، علمًا بأن $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C و $c = 3.00 \times 10^{8}$ m s^{-1}، مع كتابة وحدة لإجابتك.

h = ...

و. استخدم قيمة ميل الخط المستقيم الأسوأ ملاءمة لحساب قيمة عدم اليقين في (h).

قيمة عدم اليقين = ...

ز. قارن القيمة التي حصلت عليها في الجزئية (هـ) بالقيمة المقبولة لثابت بلانك (6.63×10^{-34} J s).

.....

.....

.....

ح. إذا كانت القيمة المقبولة لا تقع ضمن حدود قيمة عدم اليقين، فقد يكون هناك خطأ نظامي. اقترح بعض أسباب هذا الخطأ أو بعض أسباب وجود عدم اليقين في قيم قراءة الڤولتميتر (V).

.....

.....

.....

.....

.....

أسئلة نهاية الوحدة

١. في التأثير الكهروضوئي، عندما يسقط الإشعاع الكهرومغناطيسي على سطح فلز ما، تترك إلكترونات سطح الفلز، إلّا أنه عندما يسقط إشعاع ذو تردد أقل من تردد معيّن على السطح، يُلاحَظ عدم حدوث انبعاث للإلكترونات.

أ. لماذا لا يحدث انبعاث للإلكترونات إذا كان التردد منخفضًا جدًا؟

ب. اذكر اثنين من الأدلة الأخرى التي يقدمها التأثير الكهروضوئي يشيران إلى أن الإشعاع الكهرومغناطيسي له خصائص جسيمية.

ج. إذا علمت أنّ دالة الشغل لفلز ما تساوي (3.8 eV)؛ فاحسب الحد الأدنى لتردد الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يسبب انبعاثًا كهروضوئيًا.

د. ينبعث إلكترون من سطح فلز ما بطاقة حركة قصوى تبلغ (4.5×10^{-19} J). احسب طاقة الفوتون الساقط بوحدة الـ (eV).

٢. من المعروف أن الإلكترونات تظهر خصائص موجية، ويعطى طول الموجة بواسطة معادلة دي بروي.

أ. اكتب معادلة دي بروي بالكلمات.

ب. أثبت أن طول الموجة لإلكترون ما طاقة حركته ($K.E$) يعطى بالمعادلة:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m\ K.E}}$$

حيث (m) هي كتلة الإلكترون.

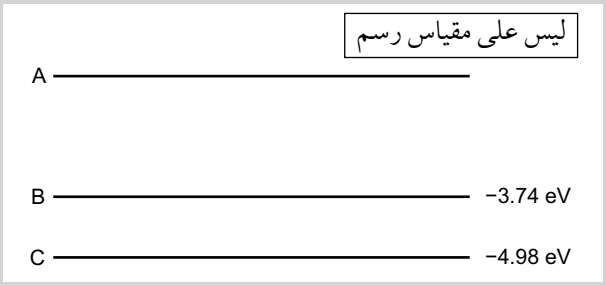
ج. احسب طول موجة دي بروي للإلكترون المتسارع بواسطة فرق جهد كهربائي (2.0 kV).

د. يتم تمرير الإلكترونات المذكورة في الجزئية (ج) عبر بلّورة فتسبّبت لها بالحيود. اشرح سبب حيود الإلكترونات.

تابع

٣. **أ.** اشرح كيف يقدم طيف الانبعاث الخطي دليلًا على أن للإلكترونات مستويات طاقة منفصلة في الذرات.

ب. تحدث انتقالات إلكترونية بين مستويات طاقة ثلاثة A و B و C في مخطط الطاقة الموضح في الشكل ٨–٥، وتنتج عن ذلك إشعاعات كهرومغناطيسية بطول موجة (557 nm) و (358 nm):



الشكل ٨–٥

١. احسب طاقة فوتون كل من هذين الطولَين الموجيَّين.

٢. صِف الانتقالَين اللذين يؤديان إلى انبعاث كل من هذين الطولَين الموجيَّين.

٣. احسب قيمة مستوى الطاقة A.

٤. احسب طول الموجة لخط آخر ناتج عن الانتقال بين هذه المستويات الثلاثة.

٤. **أ.** اذكر تأثيرًا (ظاهرةً) يدل على أن:

١. الضوء يسلك سلوك الجسيم.

٢. الإلكترون يسلك سلوك الموجة.

ب. ذرة معزولة، لإلكترونها أربعة مستويات طاقة:
(–0.50 eV)، و (–0.89 eV)، و (–1.56 eV)، و (–3.6 eV). احسب:

١. أصغر طول موجة للإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث بسبب الانتقال بين هذه المستويات، موضحًا خطوات الحل.

٢. كمية تحرك الفوتون المحسوب طول موجته في الجزئية (ب ١).

ج. ١. ما المقصود بطول موجة دي بروي؟

٢. احسب سرعة إلكترون له طول موجة دي بروي مساوٍ لطول الموجة المحسوب في الجزئية (ب ١).

الفيزياء النووية Nuclear Physics

أهداف التعلّم

٩-١ يعبّر عن تفاعلات نووية بسيطة بمعادلات نووية موزونة.

٩-٢ يستخدم معادلة تكافؤ الطاقة والكتلة $E = mc^2$.

٩-٣ يعرّف مصطلحَي النقص في الكتلة Δm وطاقة الربط النووي ΔE ويستخدمهما.

٩-٤ يحسب الطاقة المتحرّرة في التفاعلات النووية باستخدام المعادلة: $E = c^2\Delta m$.

٩-٥ يمثل برسم تخطيطي ويصف تباين طاقة الربط النووي لكل نيوكليون مع عدد النيكليونات في النوى.

٩-٦ يقارن أوجه التشابه والاختلاف بين الاندماج النووي والانشطار النووي.

٩-٧ يشرح أهمية طاقة الربط النووي لكل نيوكليون في التفاعلات النووية، بما في ذلك الاندماج النووي والانشطار النووي.

٩-٨ يصف الدليل على الطبيعة العشوائية للانحلال الإشعاعي، بدلالة معدّل العدّ.

٩-٩ يذكر أسباب اعتبار أن الانحلال الإشعاعي يكون تلقائيًا وعشوائيًا.

٩-١٠ يعرّف النشاط الإشعاعي وثابت الانحلال، ويستخدم المعادلتين: $A = \lambda N$ و $A = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$.

٩-١١ يعرّف عمر النصف ويستخدم المعادلة: $\lambda = \frac{0.693}{t_{\frac{1}{2}}}$.

٩-١٢ يصف الطبيعة الأُسية للانحلال الإشعاعي، ويمثّل بيانيًا العلاقة $x = x_0\, e^{-\lambda t}$ ويستخدمها، حيث يمكن أن تمثّل x النشاط الإشعاعي أو عدد النوى غير المنحلة أو معدّل العدّ المسجل.

الطاقة = الكتلة × (سرعة الضوء في الفراغ)^2

$E = mc^2$

النشاط الإشعاعي لعيّنة مشعّة = ثابت الانحلال للنظير × عدد الأنوية غير المنحلة

$A = \lambda N$

الانحلال الإشعاعي: $x = x_0\, e^{-\lambda t}$

العلاقة بين عمر النصف وثابت الانحلال:

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{\frac{1}{2}}}$$

الأنشطة

نشاط ٩-١ وزن المعادلات النووية

يمنحك هذا النشاط تدريبًا على وزن المعادلات النووية، بالإضافة إلى التعرف على الجسيمات وأنواع التفاعلات النووية.

١. ما نوع الجسيم X في التفاعل النووي؟

$${}^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{14}_{6}C + X$$

.....

.....

٢. افترض التفاعل النووي الآتي:

$${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{90}_{38}Sr + {}^{144}_{54}Xe + 2\,{}^{A}_{Z}X$$

أ. ما قيمة A؟

.....

.....

ب. ما قيمة Z؟

.....

.....

ج. ما اسم الجسيم ${}^{A}_{Z}X$؟

.....

٣. كُتب تفاعل نووي على الشكل الآتي:

$$4\,{}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + x\,{}^{0}_{1}e$$

أ. ما قيمة x؟

.....

.....

ب. ما اسم الجسيم ${}^{0}_{1}e$؟

.....

٤. كُتب تفاعل نووي على الشكل الآتي:

$$^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{x}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

أ. ما قيمة x؟

.....

.....

ب. ما اسم الجسيم $^{4}_{2}He$؟

.....

ج. ما اسم هذا النوع من التفاعلات النووية؟

.....

٥. الهيليوم-3 (عدد البروتونات 2) يمتص نيوترونًا ليصبح نظيرًا آخر للهيليوم، اكتب المعادلة الموزونة لهذا التفاعل النووي.

.....

٦. نواة بورون-10 ($^{10}_{5}B$) تمتص نيوترونًا وينتج عن هذا التفاعل نواة ليثيوم-7 ($^{7}_{3}Li$) وجسيم ألفا؛ اكتب المعادلة الموزونة لهذا التفاعل النووي.

.....

نشاط ٩-٢ النقص في الكتلة وطاقة الربط النووي

النقص في الكتلة وطاقة الربط النووي وعدد النيوكليونات وعدد البروتونات كلها كمّيات مختلفة لنواة معيّنة، ويطوّر هذا النشاط فهمك لهذه المصطلحات، كما تحتاج أيضًا إلى فهم أنه يمكن قياس الكتل بالكيلوغرام أو **بوحدة الكتلة الذرية** (u)، وأنه يمكن قياس الطاقة بالجول أو بالإلكترون-فولت (eV).

مصطلحات علمية

وحدة الكتلة الذرية
Atomic mass unit: $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة كربون-12

١. طابق كل كمية مع تعريفها:

الكمية	التعريف
طاقة الربط النووي	الفرق بين الكتلة الكلية للنيوكليونات المنفصلة (المفردة) وكتلة النواة.
عدد النيوكليونات	الحد الأدنى من الطاقة الخارجية المطلوبة لفصل جميع نيوكلونات نواة ما إلى ما لا نهاية.
النقص في الكتلة	العدد الإجمالي للبروتونات والنيوترونات في نواة ما.

٢. **أ.** احسب الطاقة المكافئة لـ (1.0 g) من المادة.

.....

.....

ب. وضّح أن (1.0 u) يعادل طاقة (930 MeV).

.....

.....

ج. اشرح سبب عدم امتلاك النيوترون طاقة ربط نووية.

.....

.....

.....

مهمّ

تذكّر المعادلة $E = mc^2$ حيث يُعبَّر عن الكتلة بوحدة الكيلوغرام (kg).

٣. كتلة السكون لنواة الثوريوم–228 ($^{228}_{90}$Th) = (3.7857×10^{-25} kg)

كتلة السكون للبروتون = (1.6726×10^{-27} kg)

كتلة السكون للنيوترون = (1.6749×10^{-27} kg)

أ. احسب عدد البروتونات وعدد النيوترونات في نواة واحدة من $^{228}_{90}$Th.

.....

.....

ب. احسب الكتلة الكلية بالـ (kg) لجميع النيوكليونات عند فصلها عن النواة، معطيًا إجابتك بأكبر عدد ممكن من الأرقام المعنوية بحيث يمكن أن يكون النقص في الكتلة في الجزئية (ج) مضبوطًا.

.....

.....

ج. احسب النقص في الكتلة لنواة $^{228}_{90}$Th بوحدة الـ (kg).

.....

.....

د. احسب طاقة الربط النووي لنواة $^{228}_{90}$Th بوحدة الـ (J).

.....

.....

هـ. احسب طاقة الربط النووي لنواة $^{228}_{90}Th$ بوحدة الـ (eV).

.....

.....

٤. كتل ثلاثة جسيمات هي كالآتي:

- نواة الهيليوم–4 ($^{4}_{2}He$) = 4.0015 u
- البروتون = 1.0073 u
- النيوترون = 1.0087 u

أ. احسب النقص في الكتلة لنواة الهيليوم–4 ($^{4}_{2}He$) بوحدة الـ (u).

.....

.....

ب. احسب النقص في الكتلة لنواة الهيليوم–4 ($^{4}_{2}He$) بوحدة الـ (kg).

.....

.....

ج. احسب طاقة الربط النووي لنواة الهيليوم–4 ($^{4}_{2}He$) بوحدة الـ (J).

.....

.....

د. احسب طاقة الربط النووي لنواة الهيليوم–4 ($^{4}_{2}He$) بوحدة الـ (eV).

.....

.....

مهمّ

ستحتاج إلى البحث عن كتلة 1 u بوحدة الـ kg، ثم استخدام $E = mc^2$؛ هذا يعطي الطاقة بالجول. معامل التحويل بين الطاقة بوحدة الـ J وبوحدة الـ eV هو شحنة الإلكترون ($1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$).

٥. تحتوي نواة ($^{2}_{1}H$) على بروتون واحد ونيوترون واحد، وطاقة الربط النووي لهذه النواة تساوي (2.24 MeV).

- كتلة السكون للبروتون = 1.67262×10^{-27} kg
- كتلة السكون للنيوترون = 1.67493×10^{-27} kg

أ. احسب طاقة الربط النووي لنواة ($^{2}_{1}H$) بوحدة الـ (J).

.....

.....

ب. احسب النقص في كتلة نواة ($^{2}_{1}H$) بوحدة الـ (kg).

.....

.....

ج. احسب الكتلة الكلّية للبروتون والنيوترون بوحدة الـ (kg) عند فصلهما إلى ما لا نهاية. اكتب الناتج بـ 6 أرقام معنوية.

.....

.....

د. احسب كتلة نواة ($^{2}_{1}H$) بوحدة الـ (kg).

.....

.....

٦. أحد التفاعلات المحتملة عندما يصطدم نيوترون بنواة يورانيوم هو:

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \longrightarrow {}^{90}_{36}Kr + {}^{144}_{56}Ba + 2\,^{1}_{0}n$$

- كتلة الـ $^{1}_{0}n$ = 1.009 u
- كتلة الـ $^{235}_{92}U$ = 235.124 u
- كتلة الـ $^{90}_{36}Kr$ = 89.920 u
- كتلة الـ $^{144}_{56}Ba$ = 143.923 u

أ. احسب التغير في الكتلة أثناء التفاعل بأكمله بوحدة الـ (u).

.....

.....

ب. احسب الطاقة المنبعثة من هذا التفاعل بوحدة الجول.

.....

.....

نشاط ٩-٣ طاقة الربط لكل نيوكليون والاندماج النووي والانشطار النووي

في هذا النشاط سوف يتطوّر فهمك للاختلاف بين طاقة الربط النووي وطاقة الربط لكل نيوكليون، وكيف يتم استخدامهما لحساب الطاقة المنبعثة خلال تفاعل نووي.

١. أ. أكمل الجدول ٩-١:

النواة	عدد النيوكليونات	طاقة الربط النووي (MeV)	طاقة الربط النووي لكل نيوكليون (MeV)
$^{235}_{92}U$			7.60
$^{56}_{26}Fe$		492	
$^{87}_{35}Br$			8.60

الجدول ٩-١ للسؤال ١ أ.

ب. حدّد أيًا من الأنوية الثلاث في الجدول ٩-١ هي الأكثر استقرارًا، ثم اشرح كيف يتضح ذلك من خلال الجدول.

.....

.....

.....

٢. التفاعل الآتي يوضح نموذج تفاعل **اندماج نووي** بسيط:

$$^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \longrightarrow ^{4}_{2}He$$

طاقة الربط لكل نيوكليون لنواة الـ $^{4}_{2}He$ تساوي (7.1 MeV)، وطاقة الربط لكل نيوكليون لنواة الـ $^{2}_{1}H$ تساوي (1.1 MeV).

أ. احسب طاقة الربط النووي لنواة الـ $^{2}_{1}H$.

.....

.....

ب. احسب طاقة الربط لنواة النووي الـ $^{4}_{2}He$.

.....

.....

مصطلحات علمية

الاندماج النووي

Nuclear fusion: العملية التي ترتبط من خلالها نواتان خفيفتان جدًا لتشكّلا معًا نواة أثقل.

ج. احسب الطاقة المنبعثة خلال هذا التفاعل النووي.

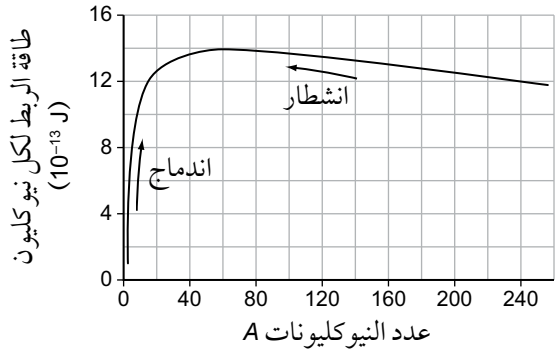
.....

.....

٣. يوضح الشكل ٩–١ تمثيلًا بيانيًا لتغير طاقة الربط لكل نيوكليون بتغير عدد النيوكليونات.

مهمّ

إذا كانت طاقة الربط الكلية إلى يسار المعادلة مختلفة عن طاقة الربط الكلية إلى يمين المعادلة، فلا بدّ إذًا من تحرر طاقة تساوي الفرق بين طاقتَي الربط الكليتَين.



الشكل ٩–١: للسؤال ٣. تمثيل بياني (طاقة الربط لكل نيوكليون – عدد النيوكليونات).

الانشطار والاندماج عمليتان نوويتان تنتجان طاقة.

أ. استخدم التمثيل البياني لتقدير عدد النيوكليونات للنظير الأكثر استقرارًا.

.....

.....

ب. قارن بين الانشطار والاندماج من حيث الأنوية المتضمنة في هاتين العمليتين.

.....

.....

.....

مصطلحات علمية

الانشطار النووي
Nuclear fission: العملية التي تتجزأ فيها نواة ثقيلة إلى نواتَين أصغر.

ج. استخدم التمثيل البياني لشرح كيف يحرر كل من **الانشطار النووي** والاندماج النووي الطاقة.

.....

.....

.....

د. اشرح السبب في أن الطاقة لكل نيوكليون من تفاعل الاندماج أكبر من الطاقة لكل نيوكليون من تفاعل الانشطار.

.....

.....

.....

هـ. لماذا لا يمكن لنواتَين من الكادميوم $^{110}_{48}Cd$ إنتاج طاقة عن طريق الاندماج معًا؟

.....

.....

.....

و. استخدم التمثيل البياني لتقدير طاقة الربط النووي لنواة يورانيوم (U-238).

.....

.....

ز. استخدم التمثيل البياني لتقدير طاقة الربط النووي لنواة عدد نيوكليوناتها (119).

.....

.....

ح. في حالة الانشطار تنقسم نواة U-238 إلى نواتَين يبلغ عدد نيوكليوناتهما نحو 119. استخدم إجاباتك عن الجزئيتَين (و) و (ز) لتقدير الطاقة المنبعثة.

.....

.....

ط. استخدم إجابتك عن الجزئية (ح) لحساب الطاقة المنبعثة من انشطار (1 g) من اليورانيوم–238. تذكّر أن 6.02×10^{23} ذرّة (عدد أڤوجادرو) موجودة في مول واحد من أي مادة، وفي هذه الحالة كتلة مول واحد من يورانيوم–238 تساوي (238 g) أو أن كتلة نواة واحدة (238 u) تقريبًا.

.....

.....

.....

نشاط ٩-٤ عمر النصف وثابت الانحلال

يمنحك هذا النشاط تدريبًا على تحديد فترات **عمر النصف** والتعامل مع معادلات **الانحلال الأسّي**، كما ستتعرف أيضًا على الفرق بين **الانحلال العشوائي والانحلال التلقائي**.

من المهم تحديد المعادلة التي يجب استخدامها قبل البدء بالحل:

- استخدم $\lambda = \frac{0.693}{t_{\frac{1}{2}}}$ لإيجاد عمر النصف من **ثابت الانحلال** أو العكس.
- استخدم $A = \lambda N$ لربط **النشاط الإشعاعي** وعدد الأنوية في لحظة زمنية.
- استخدم $x = x_0\, e^{-\lambda t}$ لربط الكمية نفسها في أزمنة مختلفة؛ قد تكون (x) نشاطًا إشعاعيًا أو عدد الأنوية غير المنحلة أو معدّل العد.

انتبه لوحدات الزمن فمثلًا إذا تم قياس عمر النصف بالساعات، فسيكون ثابت الانحلال بـ (h^{-1}) وإذا استخدمت بعد ذلك $A = \lambda N$، فإن النشاط الإشعاعي (A) سيكون بعدد الانحلالات لكل ساعة.

١. أكمل الجدول ٩–٢، مع تضمين وحدات القياس لكل عمود. يمكنك استخدام المعادلة $x = x_0\, e^{-\lambda t}$ لحساب الكميات في آخر عمودَين، ولكن قد تتمكّن من استخدام أفكار بسيطة حول الوصول إلى نصف الكمية خلال زمن يساوي عمر نصف واحد، خصوصًا في الجزئيتَين (أ) و (هـ).

	عمر النصف (s)	ثابت الانحلال (s^{-1})	عدد الأنوية الابتدائي	النشاط الإشعاعي الابتدائي (.....)	عدد الأنوية غير المنحلة بعد 10 s	النشاط الإشعاعي بعد 10 s (.....)
أ	5.0		1000			
ب		0.0020		10		
ج	100		100			
د			10000	1000		
هـ			4000		1000	

الجدول ٩–٢ للسؤال ١.

٢. عيّنة من نظير مشع عمر النصف له 300 دقيقة، كانت مكوّنة في البداية من 1.8×10^6 ذرّة مشعّة.

أ. احسب ثابت انحلال النظير بوحدة الـ (min^{-1}).

.....

.....

ب. احسب النشاط الإشعاعي الابتدائي للعيّنة بوحدة الـ (min^{-1}).

.....

.....

مصطلحات علمية

عمر النصف Half-life: عمر النصف ($t_{\frac{1}{2}}$) لنظير ما هو متوسط الزمن الذي يستغرقه نصف الأنوية النشطة في العيّنة حتى تنحلّ.

الانحلال الأسّي Exponential decay: التناقص في كمية ما بحيث يكون معدّل التناقص متناسبًا مع مقدار الكمية.

الانحلال العشوائي Random decay: الانحلال لنواة ما والذي لا يمكن التنبؤ به، فينتج عنه تعدادات مختلفة قليلًا، أعلى أو أقل من قيمة متوسطة، خلال الفترة الزمنية نفسها.

الانحلال التلقائي Spontaneous decay: الانحلال لنواة ما الذي لا يتأثر بعوامل خارجية، ويحدث بسبب عوامل داخلية.

ثابت الانحلال Decay constant: احتمال انحلال نواة ما خلال فترة زمنية.

النشاط الإشعاعي Activity: معدل انحلال أنوية مصدر مشع. وحدة النشاط الإشعاعي هي بيكريل Bq.

ج. احسب النشاط الإشعاعي الابتدائي بوحدة الـ (Bq).

.....

.....

٣. عمر النصف للبوتاسيوم–42 يساوي 12 ساعة.

أ. احسب ثابت الانحلال بوحدة الـ (h^{-1}).

.....

.....

ب. احسب ثابت الانحلال بوحدة الـ (s^{-1}).

.....

.....

ج. احسب النسبة المئوية للبوتاسيوم المشع المتبقي من العيّنة الأصلية بعد 12 ساعة.

.....

.....

د. احسب النسبة المئوية للبوتاسيوم المشع المتبقي من العيّنة الأصلية بعد 20 ساعة.

.....

.....

٤. تحتوي عيّنة عظم على (5.0×10^{-14} g) من الكربون–14 وكان نشاطها الإشعاعي (30 Bq).

أ. استخدم عدد أفوجادرو لإيجاد عدد ذرات الكربون–14 في العيّنة.

.....

.....

ب. احسب ثابت الانحلال.

.....

.....

ج. احسب عمر النصف.

.....

.....

مهمّ

تذكّر أن N_A هو عدد الذرات في مول واحد، وكتلة مول واحد تساوي عدد النيوكليونات بالغرام (العدد الكتلي)، وفي هذه الحالة (14 g) أو أن كتلة ذرة كربون–14 واحدة تساوي (14 u) تقريبًا.

د. احسب الزمن المستغرق لانخفاض النشاط الإشعاعي إلى (6.0 Bq).

.....

.....

الاستقصاءات العملية

استقصاء عملي ٩-١: تحليل البيانات
إيجاد ثابت الانحلال الإشعاعي

أهداف الاستقصاء العملي

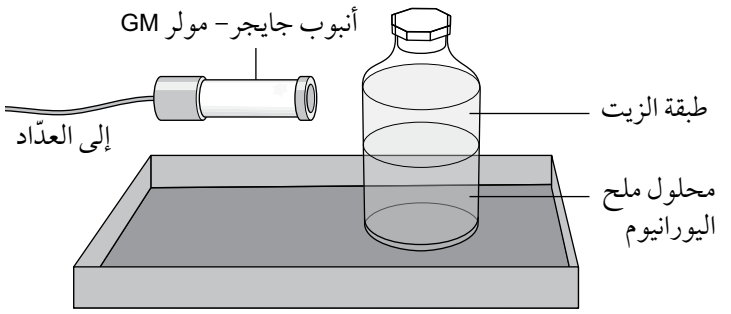
- تخطيط التجارب والاستقصاءات.
- جمع الملاحظات والقياسات والتقديرات وتسجيلها وتقديمها.
- تحليل البيانات الناتجة من التجارب للوصول إلى استنتاجات وتفسيرها.
- تقييم الأساليب واقتراح التحسينات.

مصطلحات علمية

ثابت الانحلال الإشعاعي Radioactive decay constant: احتمال انحلال نواة ما خلال فترة زمنية.

في هذا الاستقصاء سوف تستخدم نتائج تجربة على الانحلال الإشعاعي لإيجاد **ثابت الانحلال الإشعاعي** لنظير البروتكتينيوم (protactinium).

يوضح الشكل ٩-٢ إعدادات التجربة.



الشكل ٩-٢: عداد الإشعاع وزجاجة تحتوي على محلول ملح اليورانيوم.

تحتوي العبوة البلاستيكية على ملح يورانيوم مذاب في الماء، والبروتكتينيوم هو أحد منتجات انحلال اليورانيوم، وهو ناتج الانحلال الوحيد الذي يذوب في الزيت، فعندما ترجّ العبوة، يذوب البروتكتينيوم المشع والموجود في المحلول في الزيت ويرتفع إلى السطح، فتمرّ جسيمات بيتا التي يبعثها البروتكتينيوم المشع عبر العبوة البلاستيكية.

بعد استقرار الزيت في الأعلى، يتم قياس معدّل العدّ المسجّل خلال فترة (10 s) ويتكرر هذا كل (20 s). تظهر القراءات في جدول تسجيل النتائج ٩-٣. بعد زمن طويل - عندما ينحل كل البروتكتينيوم في الطبقة العليا - يتم أخذ عدّ الخلفية لمدة (100 s). تظهر قراءة الخلفية هذه أيضًا في قسم النتائج.

لا يمكن تكرار التجربة بدءًا من العد الابتدائي نفسه، وبالتالي تم حساب قيمة عدم اليقين باعتباره الجذر التربيعي للقراءة، وهو تقدير مناسب في هذه الحالة.

⚠ احتياطات الأمان والسلامة

- تأكد من قراءة إرشادات الأمان والسلامة الواردة في بداية هذا الكتاب، واستمع لنصائح معلمك قبل إجراء هذا الاستقصاء.
- ما الاحتياطات التي يجب اتخاذها للتأكد من إجراء التجربة بأمان؟

.....

.....

.....

النتائج

عدّ الخلفية المأخوذ خلال أكثر من (100 s) = 50

الزمن (t (s))	العد خلال 10 s	معدل العد المصحح C (s^{-1})	$\ln C$ (s^{-1})
0	123 ± 11	11.8 ± 1.1	2.47 ± 0.09
20	100 ± 10	± 1.0	±
40	80 ± 9	± 0.9	±
60	68 ± 8	± 0.8	±
80	52 ± 7	± 0.7	±
100	45 ± 7	± 0.7	±
120	34 ± 6	± 0.6	±
140	31 ± 6	± 0.6	±

الجدول ٩–٣: جدول تسجيل النتائج.

التحليل والاستنتاج والتقييم

أ. احسب عدّ الخلفية لمدة (10 s) واستخدم القيمة التي حصلت عليها للحصول على معدل العدّ المصحح (C) في ثانية واحدة لجميع القراءات في جدول تسجيل النتائج ٩–٣ (تم إدراج قيمة واحدة في الجدول).

ب. احسب قيم $\ln C$ (s^{-1}) وقيمة عدم اليقين، ثم سجّلها في جدول تسجيل النتائج ٩–٣.

مهمّ

انتبه: هذه اللوغاريتمات للأساس e وليس للأساس 10.

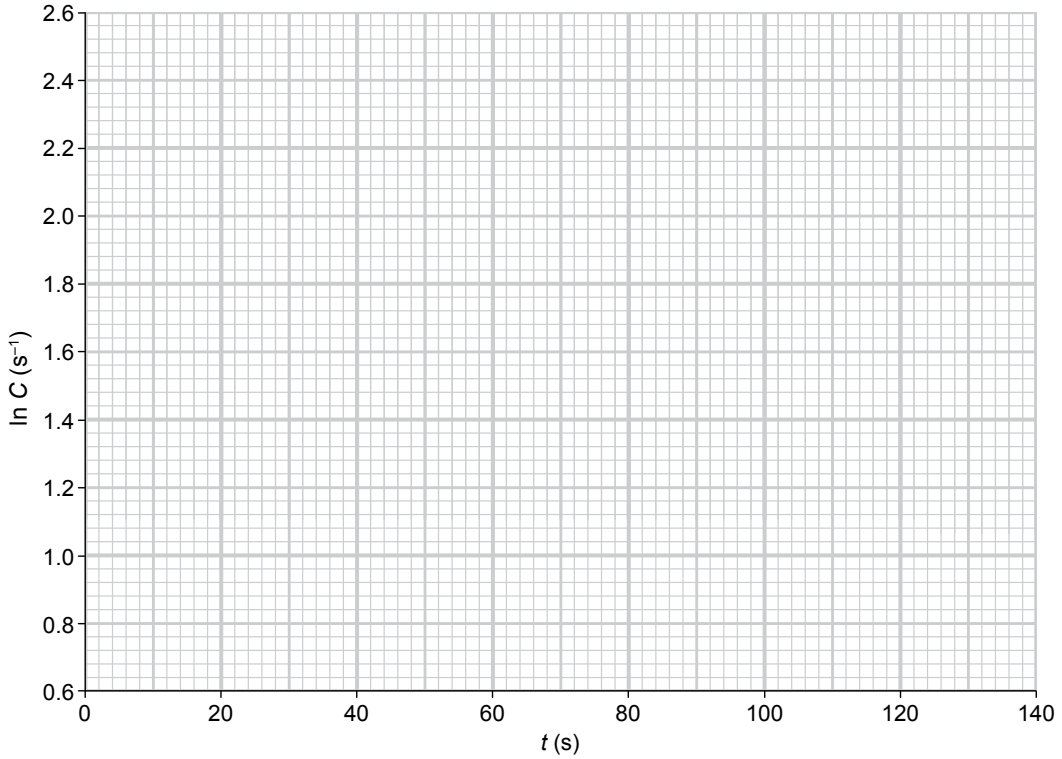
مهمّ

تحقق من صحة حسابات الصف الأول لمعدل العد المصحح و $\ln C$ (s^{-1}). سيُظهر هذا أنك تعرف كيفية إيجاد كلتا القيمتَين بشكل صحيح.

مهمّ

يمكن بسهولة إيجاد قيمة عدم اليقين في $\ln C$ من خلال إيجاد $\ln C$ لأكبر عدّ (والأخذ بالاعتبار عدم اليقين له) وطرح $\ln C$ من هذه القيمة. في أول صف على سبيل المثال:
$\ln(11.8 + 1.1) - \ln(11.8)$

ج. ارسم تمثيلًا بيانيًا لـ $\ln C\ (s^{-1})$ على المحور الصادي (y) مقابل t (s) على المحور السيني (x) باستخدام ورقة الرسم البياني أدناه. أدخل أشرطة الخطأ لـ $\ln C\ (s^{-1})$، وارسم على التمثيل البياني الخط المستقيم الأفضل ملاءمة والخط المستقيم الأسوأ ملاءمة.



د. احسب ميل الخط المستقيم الأفضل ملاءمة والخط المستقيم الأسوأ ملاءمة.

ميل الخط المستقيم الأفضل ملاءمة = ...

ميل الخط المستقيم الأسوأ ملاءمة = ...

هـ. إن معدل العد المصحح (C) يتناقص بشكل كبير مع الزمن (t) وفقًا للمعادلة:

$$C = C_0\, e^{-\lambda t}$$

حيث (λ) هو ثابت الانحلال الإشعاعي؛ بأخذ اللوغاريتمات للأساس (e)، أكمل الخطوات للحصول على $\ln C$:

$\ln C$ = ...

و. استخدم قيمتَي الميلَين لتحديد قيمة ثابت الانحلال (λ) وقيمة عدم اليقين الخاص بها، وأعطِ وحدة لإجابتك.

ثابت الانحلال:

..... ± ..... = λ

ز. تُكرّر التجربة من دون استخدام الزيت لإذابة البروتكتينيوم في اليورانيوم؛ صِف سبب عدم نجاح التجربة في هذه الحالة.

.....

.....

.....

.....

.....

أسئلة نهاية الوحدة

١. يوجد عدد قليل من ذرات نظير التريتيوم ${}^{3}_{1}H$ في الغلاف الجوي. هذه الذرات غير مستقرة وانحلالها الإشعاعي عشوائي وتلقائي.

أ. ١. اشرح المقصود بالانحلال التلقائي.

٢. اشرح المقصود بالانحلال العشوائي.

٣. ما الملاحظة التجريبية التي تشير إلى أن الانحلال الإشعاعي عشوائي؟

ب. نواة التريتيوم ${}^{3}_{1}H$ تتحل عن طريق انبعاث جسيم (β^-) لتشكيل نظير الهيليوم (He).

يوضح الجدول ٩-٤ الكتل السكونية لنواة التريتيوم، ونواة الهيليوم المتشكلة، وجسيم بيتا، والبروتون، والنيوترون.

الجسيم	الكتلة (u)
نواة التريتيوم	3.016050
نواة الهيليوم-3	3.014932
جسيم بيتا	0.000549
البروتون	1.007277
النيوترون	1.008665

الجدول ٩-٤

١. اكتب معادلة التفاعل النووي الذي يمثل انحلال التريتيوم.

٢. احسب النقص في كتلة نواة التريتيوم.

٣. ما المقصود بمصطلح طاقة الربط النووي؟

٤. احسب طاقة الربط النووي لنواة التريتيوم بوحدة الجول.

٥. احسب الطاقة المتحررة من انحلال نواة التريتيوم.

تابع

٢. نظير الصوديوم–22 ($^{22}_{11}Na$) يخضع لانحلال (β^+) لتشكيل نواة نيون–22 ($^{22}_{12}Ne$)، وهي نواة مستقرة.
عمر النصف للصوديوم–22 يساوي 2.60 سنة.

أ. اكتب المعادلة النووية للانحلال.

ب. ١. عرف ثابت الانحلال الإشعاعي.

٢. احسب ثابت الانحلال للصوديوم–22.

٣. اشرح السبب في أن النواة ذات ثابت الانحلال الصغير يكون لها عمر نصف طويل.

ج. لعيّنة نقية من الصوديوم–22 نشاط إشعاعي ابتدائي يبلغ (1.7×10^3 Bq).

١. احسب العدد الابتدائي لأنوية الصوديوم–22 في العيّنة.

٢. احسب عدد أنوية الصوديوم–22 المتبقية في العيّنة بعد 5.0 سنوات.

٣. بعد 5.0 سنوات، تحتوي العيّنة على أنوية الصوديوم–22 وأنوية النيون–22 فقط؛ استخدم إجابتك عن الجزئيتين (١) و (٢) لحساب النسبة:

$$\frac{\text{عدد أنوية الصوديوم–22 بعد 5.0 سنوات}}{\text{عدد أنوية النيون–22 بعد 5.0 سنوات}}$$

٣. **أ.** اشرح المقصود بعبارة النشاط الإشعاعي عشوائي.

ب. كان اليورانيوم–235 موجودًا منذ خلق الأرض. من عيّنة أصلية من اليورانيوم–235، يوجد اليوم 1.1% فقط من الكمية الأصلية في الصخور. عمر النصف لليورانيوم–235 ($^{235}_{92}U$) هو 7.0×10^8 سنوات. احسب عمر الأرض من خلال هذه البيانات.

ج. ١. ارسم تمثيلًا بيانيًا لطاقة الربط لكل نيوكليون مقابل عدد النيوكليونات.

٢. استخدم التمثيل البياني لشرح كيفية تحرير طاقة عندما تخضع بعض الأنوية للانشطار، وعندما تخضع أنوية أخرى للاندماج.

تابع

٤. في عام 2011م وقع حادث في محطة للطاقة النووية في اليابان أدى إلى إطلاق اليود–131 المشع في البيئة المحيطة. عمر النصف لليود–131 هو (8.0) أيام.

أ. عرّف النشاط الإشعاعي للمواد المشعّة.

ب. تم قياس العد لعيّنة من الأعشاب البحرية بالقرب من محطة الطاقة في مختبر بعيد عن محطة الطاقة على مدى 20 دقيقة. كانت قراءات العد التي تم الحصول عليها، والتي تم تصحيحها آخذين بالاعتبار إشعاع الخلفية هي (3940) ، (4020) ، (3860).

١. اشرح سبب اختلاف القراءات بعضها عن بعض.

٢. قدّر العد الذي تم الحصول عليه خلال 20 دقيقة عند تحليل العيّنة نفسها من الأعشاب البحرية بعد 10 أيام.

ج. يتكوّن اليود–131 في مفاعل نووي أثناء الانشطار النووي لليورانيوم–235.

١. اشرح المقصود بالانشطار النووي لليورانيوم–235.

٢. اشرح باستخدام طاقة الربط لكل نيوكليون، سبب تحرّر الطاقة أثناء الانشطار النووي.



رقم الإيداع : ٧٢١٩ / ٢٠٢٣ م

طبع بالمطابع العالمية - سلطنة عُمان - ت : ٢٤٨١٥٧٧١

الفيزياء – كتاب التجارب العملية والأنشطة

صمّم كتاب التجارب العملية والأنشطة هذا لدعم كتاب الطالب؛ الأمر الذي يساعد المعلّم على الربط بين التدريس النظري والتطبيق العملي إذ يتضمّن موضوعات تم اختيارها خصيصًا للاستفادة من المزيد من الفرص لتطبيق المهارات العملية، مثل التطبيق والتحليل والتقييم، إضافة إلى تطوير المعرفة والفهم. كما يتضمن هذا الكتاب أنشطة بنائية، وضعت لتدعم المواضيع والمفاهيم الدراسية في كل وحدة تضمّنها كتاب الطالب، كما أنه يحتوي على أفعال إجرائية لمساعدتك على التعرف على كيفية استخدامها، وأسئلة للتركيز على المهارات التي تمنحك فرصًا لرسم التمثيلات البيانية أو تقديمها.

توفر الاستقصاءات العملية الموجهة خطوةً بخطوة، فرصًا لتطوير المهارات العملية، مثل: التخطيط، وتحديد المواد والأدوات والأجهزة، ووضع الفرضيات، وتسجيل النتائج، وتحليل البيانات، وتقييم النتائج، كما تمنح الأسئلة فرصة لاختبار معرفتك والمساعدة في بناء ثقتك في التحضير للامتحانات.

- تحقّق لك الأسئلة التركيبية الموجودة في نهاية كل وحدة تدريبًا مكثفًا ضمن تنسيق مألوف يراعي مكتسباتك.
- يرتفع مستوى الأنشطة بشكل تدريجي، مع وجود تلميحات ونصائح ضمن فقرة «مهم» تمنحك القدرة على بناء المهارات اللازمة.
- أسئلة نهاية الوحدة والأسئلة الموجودة ضمن الأنشطة تساعدك على قياس فهمك، كما تكون معينة لك على استخدام الأفعال الإجرائية بفاعلية استعدادًا لعملية التقييم، حيث تتوافر إجابات هذه الأسئلة في دليل المعلم.

يشمل منهج الفيزياء للصف الثاني عشر من هذه السلسلة أيضًا:

- كتاب الطالب
- دليل المعلّم

ISBN 978-99992-56-15-5



www.moe.gov.om

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS