سلطنة عُمان
وزارة التربية والتعليم

رؤية عُمان 2040
نتقدم بثقة
Moving Forward with Confidence

الفيزياء

الصف الثاني عشر

دليل المعلّم

الفصل الدراسي الثاني

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

الطبعة التجريبية
1445 هـ - 2023 م

سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

الفيزياء

الصف الثاني عشر

دليل المعلّم

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

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

تمت مواءمة الكتاب

بموجب القرار الوزاري رقم ٢٠٢٣/٣٦ واللجان المنبثقة عنه

جميع حقوق الطبع والتأليف والنشر محفوظة لوزارة التربية والتعليم

ولا يجوز طبع الكتاب أو تصويره أو إعادة نسخه كاملًا أو مجزّأ 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.

حضرة صاحب الجلالة

السلطان هيثم بن طارق المعظم

-حفظه اللّه ورعاه-

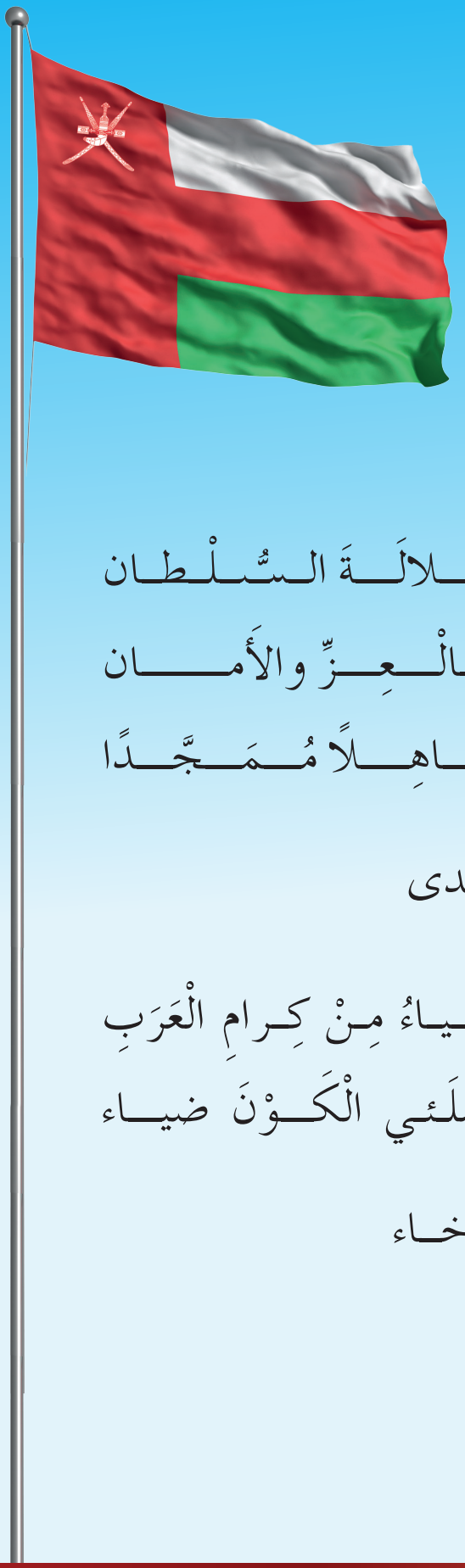
المغفور له

السلطان قابوس بن سعيد

-طيّب اللّه ثراه-

سلطنـــــة عُمـــــان

(المحافظات والولايات)



النَّشيدُ الْوَطَنِيُّ

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

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

تقديم

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

وبعد:

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

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

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

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

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

والله ولي التوفيق

د. مديحة بنت أحمد الشيبانية

وزيرة التربية والتعليم

المحتويات

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

الوحدة السادسة: الموجات

نظرة عامة ٢٧
مخطط التدريس ٢٨
الموضوع ٦-١: وصف الموجات ٢٨
الموضوعان ٦-٢: طاقة الموجة و ٦-٣: سرعة الموجة ٣٢
الموضوع ٦-٤: تأثير دوبلر للموجات الصوتية ٣٧
إجابات كتاب الطالب ٤١
إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة ٤٤

الوحدة السابعة: تراكب الموجات

نظرة عامة ٤٨
مخطط التدريس ٤٩
الموضوعان ٧-١: مبدأ تراكب الموجات و ٧-٢: حيود الموجات ٥٠
الموضوعان ٧-٣: التداخل و ٧-٤: تجربة الشق المزدوج ليونج ٥٣
الموضوع ٧-٥: محزوز الحيود ٥٦
الموضوع ٧-٦: الموجات المستقرة ٦١
الموضوع ٧-٧: المزيد عن الموجات المستقرة ٦٤
إجابات كتاب الطالب ٧٢
إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة ٧٩

الوحدة الثامنة: فيزياء الكم

نظرة عامة ٩٠
مخطط التدريس..... ٩١
الموضوع ٨–١: النموذج الجسيمي والنموذج الموجي ٩١
الموضوعان ٨–٢: التأثير الكهروضوئي و ٨–٣: للفوتونات كمية تحرّك أيضًا..... ٩٨
الموضوع ٨–٤: الأطياف الخطية..... ١٠٠
الموضوع ٨–٥: ثنائية (ازدواجية) الموجة والجسيم ١٠٣
إجابات كتاب الطالب ١٠٦
إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة..... ١١٣

الوحدة التاسعة: الفيزياء النووية

نظرة عامة ١١٨
مخطط التدريس..... ١١٩
الموضوعات ٩–١: المعادلات النووية، ٩–٢: الكتلة والطاقة، ٩–٣: الطاقة المنبعثة
في الانحلال الإشعاعي ١١٩
الموضوع ٩–٤: طاقة الربط النووي واستقرار النواة..... ١٢٢
الموضوعات ٩–٥: العشوائية والانحلال الإشعاعي، ٩–٦: نمذجة الانحلال الإشعاعي رياضيًا، ٩–٧: التمثيلات البيانية للانحلال ومعادلاته، ٩–٨: ثابت الانحلال λ وعمر النصف $t_{1/2}$ ١٢٦
إجابات كتاب الطالب ١٣٤
إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة..... ١٤٠

المقدمة

مرحبًا بك في منهج الفيزياء للصف الثاني عشر.

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

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

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

مقدمة إلى الاستقصاءات العملية

الاستقصاء العملي جزء أساسي لأي كتاب فيزياء.

لقد أختيرت الاستقصاءات العملية بدقّة في هذا الكتاب بهدف:

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

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

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

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

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

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

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

كيف تستخدم هذه السلسلة

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

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

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

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

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

كيف تستخدم هذا الدليل

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

طرائق للتدريس والتعلم

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

التعلم النشط

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

التقويم من أجل التعلم

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

التفكير ما وراء المعرفة (توسيع التفكير)

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

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

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

مهارات للحياة

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

الأمان والسلامة في مختبر الفيزياء

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

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

الجدول ١ احتياطات الأمان والسلامة في مختبر الفيزياء

استراتيجيات التدريس

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

التقويم

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

تقويم الأقران

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

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

التقويم الذاتي

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

التقويم النهائي أو الختامي

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

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

العمل ضمن مجموعات (العمل الجماعي)

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

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

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

مهمات القدرات المتفاوتة

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

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

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

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

أنشطة تشخيصية

اختبار الإجابات السريعة

تحتوي هذه الأسئلة على جملة واحدة تتطلب إجابة قصيرة.

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

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

استخدام السبورة البيضاء

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

إشارات المرور

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

طريقة الإكمال (CLOZE)

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

الخريطة المفاهيمية

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

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

الخرائط الذهنية

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

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

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

كتابة أسئلة الاختبار

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

الأهداف التعليمية

الأهداف التعليمية	
الوحدة السادسة: الموجات	
٦-١ وصف الموجات	
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.
٦-٢ طاقة الموجة و ٦-٣ سرعة الموجة	
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.
٦-٤ تأثير دوبلر للموجات الصوتية	
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.
الوحدة السابعة: تراكب الموجات	
٧-١ مبدأ تراكب الموجات و ٧-٢ حيود الموجات	
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.

الأهداف التعليمية

٧-٣ التداخل و ٧-٤ تجربة الشق المزدوج ليونج

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.

٧-٥ محزوز الحيود

٧-٨	يستخدم المعادلة: $d \sin\theta = n\lambda$.
٧-٩	يصف استخدام محزوز الحيود لتحديد طول الموجة لضوء ما.

٧-٦ الموجات المستقرة

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

٧-٧ المزيد عن الموجات المستقرة

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

الوحدة الثامنة: فيزياء الكم

٨-١ النموذج الجسيمي والنموذج الموجي

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.

٨-٢ التأثير الكهروضوئي و ٨-٣ للفوتونات كمية تحرّك أيضًا

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.

الأهداف التعليمية

٨–٧	يشرح الانبعاث الكهروضوئي باستخدام طاقة الفوتون وطاقة دالة الشغل.
٨–٨	يستخدم المعادلة: $hf = \phi + \frac{1}{2} m v^2_{max}$.
٨–٩	يشرح أن طاقة الحركة القصوى للإلكترونات الضوئية تعتمد على تردد الضوء الساقط ولا تعتمد على شدته، في حين أن شدة التيار الكهروضوئي تتناسب طرديًا مع شدة الضوء.
٨–١٠	يذكر أن الفوتون له كمية تحرك، ويستخدم المعادلة: $p = \frac{E}{c}$.

٨–٤ الأطياف الخطية

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: $hf = E_1 - E_2$.

٨–٥ ثنائية (ازدواجية) الموجة والجسيم

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 أنه الطول الموجي المصاحب للجسيم المتحرك.
٨–١٧	يستخدم المعادلة: $\lambda = \frac{h}{p}$.

الوحدة التاسعة: الفيزياء النووية

٩–١ المعادلات النووية، ٩–٢ الكتلة والطاقة، ٩–٣ الطاقة المنبعثة في الانحلال الإشعاعي

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: $\Delta E = \Delta mc^2$.

٩–٤ طاقة الربط النووي واستقرار النواة

٩–٣	يعرّف مصطلحَي النقص في الكتلة Δm وطاقة الربط النووي ΔE ويستخدمهما.
٩–٥	يمثل برسم تخطيطي ويصف تباين طاقة الربط النووي لكل نيوكليون مع عدد النيكليونات في النوى.

الأهداف التعليمية	
٦–٩	يقارن أوجه التشابه والاختلاف بين الاندماج النووي والانشطار النووي.
٧–٩	يشرح أهمية طاقة الربط النووي لكل نيوكليون في التفاعلات النووية، بما في ذلك الاندماج النووي والانشطار النووي.
٥–٩ العشوائية والانحلال الإشعاعي، ٦–٩ نمذجة الانحلال الإشعاعي رياضيًا، ٧–٩ التمثيلات البيانية للانحلال ومعادلاته، ٨–٩ ثابت الانحلال λ وعمر النصف $t_{\frac{1}{2}}$	
٨–٩	يصف الدليل على الطبيعة العشوائية للانحلال الإشعاعي، بدلالة معدّل العدّ.
٩–٩	يذكر أسباب اعتبار أن الانحلال الإشعاعي يكون تلقائيًا وعشوائيًا.
١٠–٩	يعرّف النشاط الإشعاعي وثابت الانحلال، ويستخدم المعادلتين: $A = \lambda N$ و $A = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$.
١١–٩	يعرّف عمر النصف ويستخدم المعادلة: $\lambda = \frac{0.693}{t_{\frac{1}{2}}}$.
١٢–٩	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.

الوحدة السادسة

الموجات

نظرة عامة

- تغطي هذه الوحدة من المنهج الفهم الأساسي للموجات المسافرة المستعرضة والطولية، بما في ذلك إيجاد تردد الموجات الصوتية عمليًا.
- توفر معادلات حساب فرق الطور وسرعة الموجة فرصًا للطلبة لممارسة مزيد من المهارات الرياضية ومهارات التمثيل البياني، وبالتحديد عند تطبيقها على كل من التمثيلات البيانية (الإزاحة – المسافة) والتمثيلات البيانية (الإزاحة – الزمن).
- سيكون مفهوم فرق الطور مفيدًا في العديد من الموضوعات اللاحقة من المنهج الدراسي، وبالتحديد فيما يتعلق بتراكب الموجات وتكوّن الموجات المستقرة (الواقفة).
- ستكون هناك حاجة إلى معرفة الأفكار الأساسية للطيف الكهرومغناطيسي بالإضافة إلى الخبرة العملية لنتائج تأثير دوبلر في الصوت، وينطبق هذا أيضًا على فكرة الانزياح نحو اللون الأحمر في موجات الضوء في علم الفلك وعلم الكون.
- يتوقع من الطالب خلال هذه الوحدة أن:

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

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

– يحلّل التمثيل البياني لموجات مستعرضة وطولية ويفسره.

– يستخدم المعادلة: شدة الموجة = $\frac{\text{القدرة}}{\text{المساحة}}$.

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

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

– 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).

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

- ثمّة فرص لتغطية جميع أهداف التقويم الثلاثة: AO1 (المعرفة والفهم)، AO2 (معالجة المعلومات وتطبيقها وتقييمها) و AO3 (المهارات والاستقصاءات التجريبية). وهدف التقويم الثالث يتحقق من خلال قياس تردد الموجات الصوتية باستخدام جهاز رسم إشارة الأشعة المهبطية الأوسيلوسكوب (CRO) المعاير (وهناك تجارب أخرى في كتاب التجارب العملية والأنشطة أيضًا).

مخطط التدريس

أهداف الموضوع	الموضوع	عدد الحصص	المصادر في كتاب الطالب	المصادر في كتاب التجارب العملية والأنشطة
٦-١، ٦-٢، ٦-٣	٦-١ وصف الموجات	٥	الأسئلة من ١ إلى ٣ أسئلة نهاية الوحدة: ٢ و ٦	نشاط ٦-١ المصطلحات الأساسية والتمثيلات البيانية للموجات نشاط ٦-٢ المزيد حول فرق الطور أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٦-٤، ٦-٥، ٦-٦	٦-٢ طاقة الموجة ٦-٣ سرعة الموجة	٦	الأسئلة من ٤ إلى ٩ أسئلة نهاية الوحدة: ١، ٤، ٥	نشاط ٦-٣ شدة الموجة، وقياس الزمن والطيف الكهرومغناطيسي الاستقصاء العملي ٦-١: قانون التربيع العكسي للموجات من مصدر نقطي أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٦-٧، ٦-٨	٦-٤ تأثير دوبلر للموجات الصوتية	٤	السؤال ١٠ أسئلة نهاية الوحدة: ٣ و ٧	نشاط ٦-٤ تأثير دوبلر أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع

الموضوع ٦-١: وصف الموجات

الأهداف التعليمية

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.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذا الموضوع ٥ حصص دراسية (٣ ساعات و ٢٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٦-١ وصف الموجات	• المثال ١ • الأسئلة من ١ إلى ٣
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٦-١ المصطلحات الأساسية والتمثيلات البيانية للموجات نشاط ٦-٢ المزيد حول فرق الطور	• تركّز أسئلة النشاط ٦-١ على فهم المصطلحات المتعلقة بالموجات واستخدامها، وتوفر تدريبًا على التمثيلات البيانية للموجات. • تركّز أسئلة النشاط ٦-٢ على فرق الطور وكيف يمكن توضيحه في التمثيلات البيانية للموجات.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- يعتقد الطلبة في كثير من الأحيان أن الموجات تنقل المادة من المصدر إلى مكان آخر، وبالرجوع إلى الأنشطة التمهيدية فإنه عندما يرى الطلبة موجة تتحرك على طول زنبرك مرن، يكتشفون أن الحلقات تهتز حول مواضع اتزانها؛ فهي لا تتحرك مع الموجة، وتنطبق الفكرة نفسها على جسيمات أي وسط عندما تنتشر الموجات عبره، حيث تنتقل الطاقة فقط من نقطة إلى أخرى.
- يجب أن تكون المصطلحات المتعلقة بالموجات ومعانيها واضحة للطلبة، كما عليك التأكّد من أنهم يفهمون الفرق بين مصطلحَي «الإزاحة» و «السعة» بشكل واضح، حتى لا يحدث خلط بينهما، واستخدم التمثيل البياني (الإزاحة – المسافة) للموجة الجيبية لتوضيح الفرق بين المصطلحَين.

أنشطة تمهيدية

درس الطلبة حركة الموجة من قبل، لذا يمكنك مواءمة ذلك مع المعرفة التي اكتسبوها من خلال مناقشة مصطلح «الموجة المسافرة»، فذكّرهم بتعريفات المصطلحات المرتبطة بالموجات مثل «الإزاحة» و «السعة» و «طول الموجة» و «الزمن الدوري» و«التردد»؛ ويجب أن يكونوا قادرين على قياس تردد الموجات الصوتية تجريبيًا باستخدام جهاز رسم إشارة الأشعة المهبطية (الكاثودية) (الأوسيلوسكوب).

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

فكرة أ (١٥ دقيقة)

- زوّد الطلبة بحبال وزنبركات مرنة وطويلة، واطلب إليهم توضيح الحركة الموجية باستخدام هذه الأدوات البسيطة، وبعد ذلك يمكن للطلبة في مجموعات أن:
  - يناقشوا كيفية إنتاج نبضة موجية وموجة مستمرة.
  - يصفوا حركة النبضة الموجية في أثناء تحركها على طول الحبل أو الزنبرك المرن.
  - يصفوا حركة حلقة واحدة من الزنبرك المرن.
- تأكّد من أن الطلبة يستخدمون أكبر عدد ممكن من المصطلحات المناسبة (المصدر، الاهتزاز، النبضة، الموجة المستمرة، الإزاحة، الطاقة، وغير ذلك).

› **فكرة للتقويم:** يدوّن الطلبة ملاحظاتهم على دفاترهم، ويجب عليهم أن يفهموا أن الموجات عبارة عن اضطراب ينتج عن مصادر مهتزة في وسط ما يؤدي إلى انتقال الطاقة من دون انتقال لجسيمات ذلك الوسط (إن وجد)، وعليهم أن يفهموا أيضًا أن الطاقة تنتقل باتجاه انتشار الموجة، ويمكنك معرفة ما إذا كان لدى الطلبة فهم لأساسيات الحركة الموجية من خلال استخدامهم للمصطلحات العلمية المناسبة.

فكرة ب (١٥ دقيقة)

- اطلب إلى الطلبة ضمن مجموعات في جلسة عصف ذهني أن يكتبوا كل ما يعرفونه عن الحركة الموجية وأهميتها، وادعُ كل مجموعة أن تعرض حقيقة مختلفة عن الحركة الموجية، بحيث يتضمن العرض حقائق مثل تعريف الموجة، وكيفية تكوين الموجات، والمقصود بالموجة المسافرة، وأهمية الموجات للذين يمارسون رياضة ركوب الأمواج، وكيف تستخدم الموجات الكهرومغناطيسية للاتصالات، وكيف تستخدم الموجات الصوتية في الطب، وغير ذلك.

- اعرض للطلبة مقطعًا قصيرًا من فيديو للأمواج المنكسرة على الشاطئ، واطلب إليهم أن يصفوا بالتعاون مع زملائهم، كيفية تكوين الموجات وكيفية انتقالها؛ يمكنك إذا أمكن استخدام حوض الموجات المائية لتوضيح كيفية رؤية الموجات وتحليلها بمزيد من التفصيل.

› **فكرة للتقويم:** يمكنك تقويم الفهم المسبق للطلبة من خلال الحقائق التي تعرضها كل مجموعة والتعليقات التي يقدمها الطلبة بحيث يتوجّب عليهم استخدام المصطلحات الأساسية (المصدر، الاهتزاز، الوسط، الطاقة، وغير ذلك) لوصف الحركة الموجية.

فكرة ج (١٥ دقيقة)

- وضّح الموجات الطولية والمستعرضة باستخدام زنبرك مرن طويل موضوع على طول سطح منضدة طويلة، واطلب إلى مجموعات الطلبة وصف الاختلاف في حركة الزنبرك، ثم اطلب إليهم أيضًا أن يخمّنوا نوعَي الموجات الناتجة، وأن يستخدموا في شرح الاختلافات بين الموجات الطولية والمستعرضة أكبر عدد ممكن من المصطلحات المناسبة (الاهتزاز، موازٍ، عمودي، سرعة الموجة، وغير ذلك).

› **فكرة للتقويم:** يرسم الطلبة رسومًا تخطيطية مُعنونة لتوضيح الاختلافات الرئيسية بين الموجات الطولية والمستعرضة. شجّعهم على تقديم أمثلة على هذه الموجات وشرح المصطلحات العلمية التي استخدموها.

الأنشطة الرئيسية

١ معنى الموجات المسافرة (٤٠ دقيقة)

- ناقش مصطلح «مسافرة» عند تطبيقه على الموجة، وعزّز فكرة أن الموجة تنقل الطاقة ولكنها لا تنقل المادة، ثم اطلب إلى الطلبة رسم تمثيل بياني (الإزاحة – المسافة) ورسم تمثيل بياني (الإزاحة – الزمن) للموجات الجيبية.
- ادمج الطلبة في نشاط «فكّر، زاوج، شارك» لذكر السمات الرئيسية للموجات وتوضيح مصطلحات وصف الموجة التي تشمل الإزاحة، والسعة، وطول الموجة، والزمن الدوري، والتردد. وجّه الطلبة للرجوع إلى الشكل ٦–١ الوارد في كتاب الطالب للتعرف على التسميات والمصطلحات الصحيحة.
- يمكن للطلبة بعد ذلك حل السؤال ١ الوارد في كتاب الطالب والنشاط ٦–١ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة.

› **فكرة للتقويم:** حفّز الطلبة على كتابة أقصر جملة ممكنة عند تعريف مصطلحات وصف الموجة، بحيث سيساعد ذلك على تطوير مهارات التفكير العليا لديهم، بدلًا من مجرد تذكّر المصطلحات. يمكنك أخذ بعض الوقت لإعادة النظر في التعريفات لما سيكون له من أهمية في المواضيع اللاحقة.

سؤال مفصلي: ما المعلومتان المهمتان اللتان يمكنك الحصول عليهما من التمثيل البياني (الإزاحة – المسافة) للموجة الجيبية؟

(الإجابة: سعة الموجة هي أقصى إزاحة عن موضع الاتزان، وطول الموجة هي المسافة بين قمّتَين أو قاعَين متتاليَين؛ ومن الأخطاء الشائعة عند الطلبة الاعتقاد بأن السعة هي المسافة من القمة إلى القاع).

٢ قياس تردد الموجات الصوتية (٤٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** راجع المهارة العملية ٦–١ من كتاب الطالب. يمكن تكرار التجربة باستخدام الشوكات الرنانة التي تنتج نغمات موسيقية ذات ترددات مختلفة أو مع مصادر صوتية أخرى، ويمكن للطلبة بعد ذلك ملاحظة شكل الموجات التي يتم إنتاجها على شاشة جهاز الأوسيلوسكوب.

- ينفذ الطلبة تجربة عملية لقياس تردد الموجات الصوتية، وإذا لم تكن الأدوات متوفرة يمكنك الحصول على محاكاة لجهاز الأوسيلوسكوب وكذلك مولد الإشارة لتكوين أصوات بترددات مختلفة عبر البحث على الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) باستخدام عبارتَي البحث "Virtual oscilloscope" و "online signal generator"، ويمكن إجراء القياسات من تلك المصادر عبر الإنترنت.
- يمكنك بعد ذلك عرض مثال لكيفية إيجاد تردد الموجات الصوتية وسعتها؛ على سبيل المثال، المثال ١ الوارد في كتاب الطالب. أعطِ الطلبة تدريبًا على العمليات الحسابية؛ على سبيل المثال، السؤال ٢ الوارد في كتاب الطالب، والنشاط ٦-١ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة.
- إذا كان الطلبة قادرين على تنفيذ التجربة بأنفسهم، فيمكنهم إيجاد تردد الموجات الصوتية وسعة الإشارة باستخدام جهاز الأوسيلوسكوب واقتراح تحسينات على التجربة.

› **فكرة للتقويم:** أتح للطلبة مناقشة كيفية إيجاد تردد وسعة الموجات الصوتية باستخدام جهاز الأوسيلوسكوب.

٣ تمثيلات بيانية للموجات الطولية والمستعرضة (٤٠ دقيقة)

- أظهر للطلبة منحنًى جيبيًا على محورَين، واطلب إليهم اقتراح ما يمكن أن يمثل كل من المحور السيني (x) والمحور الصادي (y). مشجّعًا الجميع على المشاركة في المناقشة، وشارحًا كيف يمكن تمثيل الموجات المستعرضة والطولية بيانيًا. يجب أن يأخذ الطلبة في الحسبان أنه بالنسبة إلى الموجات الطولية فإن الإزاحة تُمثّل عند نقطة ما باستخدام التضاغطات والتخلخلات، فيدركون أنه من الممكن تمثيل فرق الضغط عن قيمته المتوسطة بيانيًا مقابل المسافة أو الزمن.

› **فكرة للتقويم:** يمكنك تقويم ما إذا كان الطلبة قادرين على تذكّر معرفتهم الأساسية بالتضاغطات والتخلخلات من دراستهم السابقة للموجات.

٤ الطور وفرق الطور (٤٠ دقيقة)

- استخدم بندولَين بسيطَين لهما طولان مختلفان قليلًا لتوضيح كيف يهتزان بالطور نفسه وبفرق طور مختلف (نظرًا إلى أنه ليس لهما الزمن الدوري نفسه تمامًا)، ثم اطلب إلى الطلبة رسم تمثيلَين بيانيَّين (الإزاحة - الزمن) على المحورَين نفسَيهما لتمثيل حركة كلا البندولين، بحيث يقدرون أن هناك فرقًا في الطور بينهما، بعد ذلك أعطِ تعريف فرق الطور، واعرض مثالًا لحساب فرق الطور باستخدام المعادلة العامة $\phi = \frac{x}{\lambda} \times 360°$، إذ يجب أن يلاحظ الطلبة أنه يمكن حساب فرق الطور بين نقطتَين على موجة ما وبين موجتَين مستمرتَين. لا شك أنهم سيحتاجون إلى المزيد من الأمثلة التدريبية التي تتضمن فرق الطور، وقد يؤدي حل السؤال ٣ الوارد في كتاب الطالب والنشاط ٦-٢ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة إلى تعزيز استيعاب مفهوم فرق الطور والمهارات الرياضية المرتبطة به.

› **فكرة للتقويم:** يمكن للطلبة أن يتشاركوا في تصحيح أعمال بعضهم، ويضعوا عليها درجات ويقدموا تفسيرات واضحة حول أي أخطاء ويضيفوا تفصيلًا لأي نقص في التفسير، بعد ذلك يمكنك تقديم الإجابات الصحيحة ليتأكدوا من صحة أعمالهم.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

إذا كانت هناك حاجة إلى مزيد من التحدي، فاطلب إلى الطلبة إجراء بحث باستخدام الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) لاستقصاء كيفية تكوين الموجات بواسطة أجسام مختلفة وشرحها، ويجب أن يشمل ذلك تكوين الموجات

الصوتية بواسطة الآلات الموسيقية مثل الناي (الفلوت) والبوق والبيانو والطبل، سيفهم الطلبة أن الآلات المختلفة تنتج موجات بعدة أشكال، ومع ذلك يجب عليهم أن يستنتجوا أن جميع الموجات تنتج عن مصادر مهتزة في وسطٍ ما.

الدعم

يمكن مساعدة الطلبة الذين يحتاجون إلى مزيد من الدعم من قبل الآخرين في مجموعتهم في حال تعاملوا مع بعض الحسابات كمجموعة؛ ومع ذلك يجب عليك التأكّد من أن جميع الطلبة يرون أن هذه وسيلة إيجابية للتعلّم وطريقة إيجابية يمكنهم من خلالها تطوير أنفسهم.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اسأل الطلبة: ما قيم عدم اليقين المرتبطة بالزمن الدوري وسعة الموجات الصوتية في المهارة العملية ٦-١؟ اشرح كيف يمكنك حساب قيمة عدم اليقين للتردد. (الإجابة: النسبة المئوية لعدم اليقين في التردد تساوي النسبة المئوية لعدم اليقين في الزمن الدوري لأن $f = \frac{1}{T}$).
- اسأل الطلبة: بعد الاطلاع على المهارة العملية التي قمتم بإجرائها، ما الشيء الذي قد تحتاج إلى مزيد من المساعدة فيه؟

الموضوعان ٦-٢: طاقة الموجة و ٦-٣: سرعة الموجة

الأهداف التعليمية

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.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذين الموضوعين ٦ حصص دراسية (٤ ساعات).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٦-٢ طاقة الموجة ٦-٣ سرعة الموجة	• المثال ٢ • الأسئلة من ٤ إلى ٩
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٦-٣ شدة الموجة وقياس الزمن والطيف الكهرومغناطيسي الاستقصاء العملي ٦-١: قانون التربيع العكسي للموجات من مصدر نقطي	• تتضمن أسئلة النشاط ٦-٣ بعض الأفكار الأكثر تقدمًا حول الموجات، مثل الشدة والطيف الكهرومغناطيسي واستخدام مقياس الزمن لجهاز الأوسيلوسكوب لقياس الزمن. • يستقصي الطلبة في الاستقصاء العملي ٦-١ كيف يتبع تغير الطاقة قانون التربيع العكسي للموجات عندما تنتشر الموجات، من مصدر نقطي للضوء في جميع الاتجاهات.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- عادةً ما يخلط الطلبة بين علاقتَي كل من الشدة والسعة ($I \propto A^2$) وقانون التربيع العكسي ($I \propto \frac{1}{r^2}$)، لذا ذكّرهم بمعنى كل مصطلح، وارسم مخططات لتوضيح الفرق بينهما.

أنشطة تمهيدية

سيفكر الطلبة في كيفية نقل الموجات للطاقة والعلاقة بين سرعة الموجة وطول الموجة والتردد.

نقترح عليك فكرتَين كتمهيد لهذَين الموضوعَين وسيعتمد اختيارك على الموارد المتوفرة وعلى الزمن المتاح، وعلى كيفية تقدم الطلبة في فهم هذَين الموضوعَين.

فكرة أ (١٠ دقائق)

- اطلب إلى اثنين من الطلبة التناوب على رمي كرة تنس ليقوم الآخر بالتقاطها، ثم اطلب إلى طلبة الصف مناقشة ما إذا كانت الطاقة تنتقل بين الطالبَين (الإجابة هي نعم)، تمتلك الكرة طاقة على شكل طاقة حركة وطاقة أخرى بسبب كتلتها أيضًا، وتنتقل هذه الطاقة من طالب إلى آخر أثناء رمي الكرة وأثناء التقاطها. اشرح أن الموجات تنقل الطاقة، لكنها لا تنقل المادة، ثم استبدل كرة التنس بحبل أو زنبرك مرن واطلب إلى الطالبَين الإمساك بطرفَيه المتقابلَين، فإذا قام أحد الطالبَين بهزّ أحد طرفَي الحبل/الزنبرك المرن، فستنتقل الاهتزازات إلى الطالب الآخر؛ هذه هي الطريقة التي تنقل الموجة بها الطاقة.

› **فكرة للتقويم:** قد تكشف المناقشة مع طلبة الصف مفاهيم خاطئة تسمح لك بمعالجتها قبل التقدم في هذَين الموضوعَين.

فكرة ب (١٥ دقيقة)

- اطلب إلى الطلبة التفكير في كيفية قياس سرعة الصوت، وإذا كانت هناك حاجة إلى الدعم، فشجّعهم على التفكير في الزمن الذي رأوا فيه حدثًا قبل سماعه، كرؤية الألعاب النارية على مسافة بعيدة، ثم كتابة طريقة توضح كيف يمكنهم قياس سرعة الصوت.

› **فكرة للتقويم:** يمكن للطلبة مشاركة الطريقة التي كتبوها (حول قياس سرعة الصوت) مع زملائهم وتقويمها معًا لمناقشة كيفية تطويرها؛ يجب أن تتضمن الطرائق الأساسية تفاصيل عن المتغيرات المستقلة والتابعة والضابطة، والأدوات اللازمة لذلك، وكيف ستحلّل البيانات المجمّعة لتحديد سرعة الصوت.

الأنشطة الرئيسية

١ شدة الموجة (٤٠ دقيقة – ساعة)

- اطلب إلى الطلبة القراءة حول شدة الموجة والسعة في كتاب الطالب، بحيث يناقشون ضمن ثنائيات معنى الشدة ويدوّنون النقاط الرئيسية. قد تتضمن العناصر تعريف الشدة، ومعادلتها، ووحدتها، والعلاقة بين الشدة والسعة، وغير ذلك، كما يجب أن يحصل الطلبة على كثير من التدريب على الحسابات التي تتضمن شدة الموجة، ويقدم السؤالان ٤ و ٥ الواردان في كتاب الطالب والنشاط ٦–٣ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة أمثلة على ذلك.

› **فكرة للتقويم:** يمكن استخدام نتائج حسابات الطلبة لتقويم ما إذا كانوا قد فهموا معنى «شدة الموجة» كقدرة لكل وحدة مساحة مقطع عمودية على السرعة المتجهة للموجة، وقد يكون من المفيد إجراء نشاط شفوي قصير للتأكّد من أن الطلبة يعرفون معادلة شدة الموجة = $\frac{\text{القدرة}}{\text{المساحة}}$ وأيضًا العلاقة: الشدة $\propto$ مربع السعة.

سؤال مفصلي: سعة موجة ما (A) وشدتها (I). ما السعة اللازمة لمضاعفة الشدة إلى ($2I$)؟

أ. A^2

ب. $\sqrt{A}$

ج. $A\sqrt{2}$

د. $2A$

(الإجابة: (ج) صحيحة. يشير (أ) إلى أن الشدة (I) تتناسب طرديًا مع (A^2)؛ فهو لا يأخذ بالاعتبار حقيقة مضاعفة الشدة. يستخدم (ب) و (د) علاقات غير صحيحة لشدة الموجة).

٢ استنتاج معادلة سرعة الموجة (٤٠ دقيقة)

- يجب أن يكون الطلبة قادرين على استنتاج معادلة سرعة الموجة $v = f\lambda$ من تعريفات السرعة والتردد وطول الموجة.
- ضع الاستنتاج بطريقة منطقية – كما هي الحال في كتاب الطالب – مركّزًا على كل خطوة، وأعطِ الطلبة المزيد من الأمثلة التدريبية بما في ذلك الحالات التي تتطلب تحويل الوحدات؛ على سبيل المثال عندما تحدّد طول الموجة بالسنتيمتر أو النانومتر والتردد بوحدة kHz أو MHz أو GHz، ويمكنك الاستعانة بحل أمثلة على ذلك من خلال الأسئلة من ٦ إلى ٩ الواردة في كتاب الطالب.

› **فكرة للتقويم:** بعد متابعة استنتاجك وكتابته في دفاترهم، يمكن للطلبة من دون النظر إلى دفاترهم، أن يحاولوا شرح كيفية استنتاج معادلة سرعة الموجة لزملائهم، بحيث لا يمكنهم الاطلاع على ما كتبوه في الدفتر إلّا إذا توقفوا في إحدى خطوات الاستنتاج فقط، واستمع إلى التوضيحات التي يقدمها كل طالب لمعرفة ما إذا كان قد فهم أم لا.

٣ الاستقصاء العملي ٦-١: قانون التربيع العكسي للموجات من مصدر نقطي (ساعة واحدة)

تنشر الموجات الصادرة من مصدر ضوئي طاقتها في جميع الاتجاهات، وبالتالي تقل الطاقة التي تصل إلى وحدة المساحة مع زيادة البعد عن المصدر، وتسمى الطاقة الضوئية التي تصل إلى كل وحدة مساحة بالإضاءة، ووحدتها لكس (lux).

يمكن الحصول على الإضاءة باستخدام مقاومة ضوئية (LDR) وتستخدم نتائج هذه التجربة لاختبار العلاقة النظرية بين الطاقة الضوئية والبعد عن المصدر النقطي.

المدة

سيستغرق الاستقصاء العملي وحل أسئلة التحليل والتقييم ٦٠ دقيقة.

ستحتاج إلى

الموادّ والأدوات	
• ورق أسود حجم A4 ملفوف على شكل أنبوب بحيث يسمح لدفع مسطرة نصف مترية داخله، ثبت الورقة على هذا الشكل بواسطة شريط لاصق. • مصباح ذو فتيل صغير جدًا (6 V, 0.05 A) (مصباح يدوي) مثبت في نهاية أنبوب الورق الأسود من الداخل كما في الشكل ٦–٧ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة. استخدم اللاصق الأسود لإغلاق الأنبوب في موضع المصباح لاستبعاد الضوء غير المرغوب فيه.	• مصباح إضافي صغير جدًا، (يستخدم لتقدير موضع الفتيل داخل المصباح). • مصدر جهد كهربائي 9 V • سلكان موصلان. • مقاومة ضوئية LDR مركبة على نهاية مسطرة نصف مترية. • أوميتر. • مسطرة نصف مترية ذات تدريج بالمليمتر. • قدمة ذات ورنية رقمية.

⚠ احتياطات الأمان والسلامة

- المصابيح ذات الفتيل لها قباب زجاجية، ويجب التعامل معها بحذر، وإذا تم كسرها فقد تتسبب بحدوث جروح، لذا يجب تنفيذ الخطوة ٢ بعناية.

التحضير للاستقصاء

- انظر التفاصيل الواردة في كتاب التجارب العملية والأنشطة.

توجيهات حول الاستقصاء

- يُترك الطلبة في الخطوة ٤ ليختاروا المواقع الخاصة بالنسبة إلى المقاومة الضوئية LDR لأخذ القراءات، لذا انصحهم بتوزيع القراءات بحيث يُستخدم جزء كبير من المدى المتاح، ولكن مع تغييرات أكبر مع ازدياد B، ويؤدي هذا إلى تجنب تجمع الكثير من النقاط في أحد طرفَي التمثيل البياني. انظر أنموذج النتائج.
- قد تحتاج إلى تذكير الطلبة بتسجيل جميع قراءات الطول إلى أقرب mm (حتى قيم B التي يمكن للطلبة تحديدها لعدد صحيح من السنتيمترات).
- ستحتاج إلى تذكير بعض الطلبة بإدراج الكمية والوحدة الصحيحة لعناوين الأعمدة في جميع جداولهم.
- إذا كان الطلبة الأكثر ثقة قد أنهوا الاستقصاء وأصبحوا على معرفة بالتمثيلات البيانية اللوغاريتمية، فعندئذٍ يمكنهم التحقّق من المعادلة الواردة في الجزئية (ج) بواسطة استنتاجها بأنفسهم من البيانات المعطاة من الشركة المصنّعة للمقاومة الضوئية على صورة تمثيل بياني log-log (الشكل ٦–١٠ في كتاب التجارب العملية والأنشطة).

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- يُعدّ من الممارسات الجيدة إبقاء جهاز الأوميتر على مدى الإعداد نفسه (20 kΩ) طوال فترة التجربة، حتى عند المقاومة المنخفضة؛ لأن تغيير المدى يؤدي أحيانًا إلى حدوث قفزات في تسلسل البيانات.

أنموذج نتائج

A = 26.5 cm

E = 1.3 cm

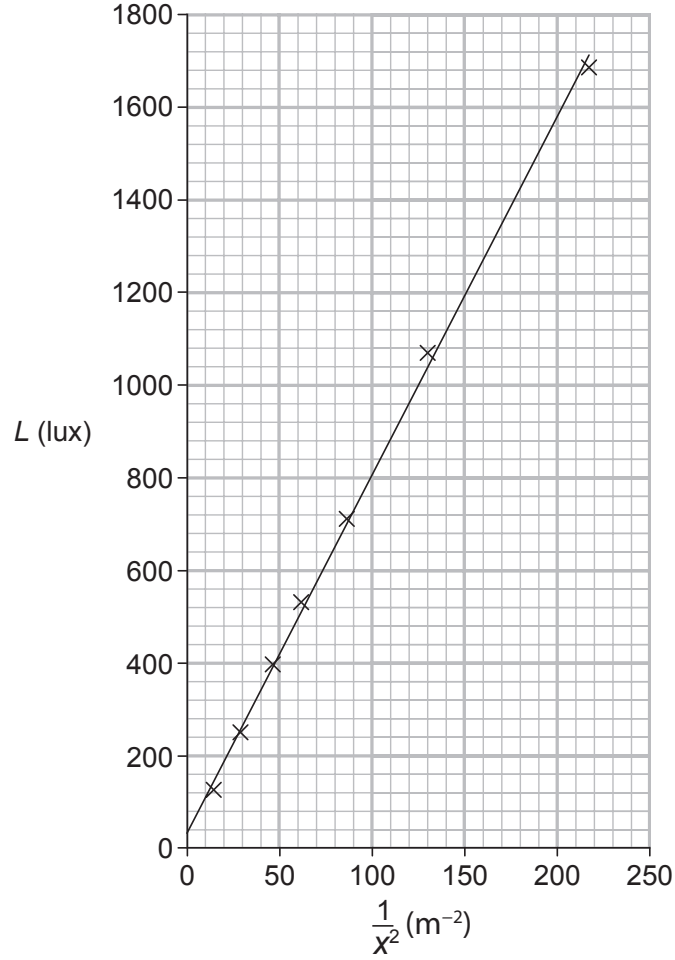
L (lux)	R (kΩ)	$\frac{1}{x^2}$ (m^{-2})	$\frac{1}{x^2}$ (cm^{-2})	x (cm)	B (cm)
1687	0.86	220	0.022	6.8	21.0
1071	1.22	130	0.013	8.8	19.0
712	1.67	85.7	0.00857	10.8	17.0
532	2.09	61.0	0.00610	12.8	15.0
398	2.61	45.7	0.00457	14.8	13.0
252	3.71	28.3	0.00283	18.8	9.0
128	6.26	13.9	0.00139	26.8	1.0

الجدول ٦-١: أنموذج نتائج للاستقصاء العملي ٦-١.

إجابات أسئلة الاستقصاء العملي ٦-١ الواردة في كتاب التجارب العملية والأنشطة (باستخدام أنموذج النتائج)

أ-ج. انظر الجدول ٦-١.

د، هـ. انظر الشكل ٦-١.



الشكل ٦-١

و. الميل $= \frac{1200 - 40}{150 - 0} = 7.73$

نقطة التقاطع = 40

ز. يتحقق التناسب في العلاقة إذا كانت النقاط قريبة من الخط المستقيم الذي يمر بالقرب من نقطة الأصل.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

إذا كانت هناك حاجة إلى مزيد من التحدي، فيمكن أن يُطلب إلى الطلبة ذوي المهارات الرياضية الجيدة عمل رسم تخطيطي لتوضيح كيف تنخفض الشدة لأي موجة مع زيادة البعد عن المصدر. هذه فرصة للطلبة للتفكير في فكرة قانون «التربيع العكسي» $(I \propto \frac{1}{r^2})$.

الدعم

سيحتاج الطلبة ذوو المهارات العملية الضعيفة إلى الدعم في أثناء إجراء الاستقصاء العملي.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اسأل الطلبة: هل وجدت أنه من الواضح أنّ طاقة الموجة ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالشدة وسرعة الموجة؟ اشرح السبب.
- اسأل الطلبة: ما الصعوبة التي واجهتك في التعامل مع معادلات فرق الطور، وشدة الموجة، وسرعة الموجة؟ ولماذا؟

الموضوع ٦-٤: تأثير دوبلر للموجات الصوتية

الأهداف التعليمية

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.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

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

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٦-٤ تأثير دوبلر للموجات الصوتية	• المثال ٣ • السؤال ١٠
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٦-٤ تأثير دوبلر	• تعزز هذه الأسئلة فهم الطلبة لما يسببه تأثير دوبلر وبخاصة في الصوت، كما سيوفر أيضًا تدريبًا على استخدام معادلة تأثير دوبلر عندما يتحرك المصدر.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- يصف بعض الطلبة تأثير دوبلر بدلالة علوّ الصوت (شدة الصوت) وهذا غير صحيح، إذ يجب تذكيرهم بأن التغيّر يكون في درجة الصوت (حدّة الصوت) ويعود ذلك إلى التغيّر في التردد المسموع.
- قد يجد الطلبة صعوبة في فهم أن سرعة الموجات أثناء انتقالها عبر الهواء (أو أي وسط آخر) لا تتأثر بحركة المصدر، لذا ذكّرهم بأن سرعة الموجة تعتمد على الوسط الذي تنتقل عبره فقط.

أنشطة تمهيدية

سيكون لدى الطلبة خبرة عملية بآثار (نتائج) تأثير دوبلر في الصوت. يجب على الطلبة استقصاء فكرة تغيير التردد من خلال رسوم تخطيطية مختلفة توضّح جبهات موجية (خطوط تبيّن نقاطًا في الموجة لها الطور نفسه، والمسافة بين جبهتَي موجة متجاورتين تساوي طول الموجة) دائرية لمصدر ثابت للموجات الصوتية وكذلك لمصدر متحرك، الأمر الذي يساعدهم على فهم أن هناك تغييرًا في التردد الملاحظ أو طول الموجة الملاحظ عندما يتحرك مصدر الموجات بالنسبة إلى المراقب.

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

فكرة أ (١٥ دقيقة)

- اربط خيطًا متينًا بقاعدة شوكة رنانة، واطرق الشوكة الرنانة لتكوين نغمة، ثم أمسك بالطرف الآخر من الخيط وحرّك الشوكة في الهواء على مسار دائري في مستوى أفقي. يمكن للطلبة العمل في مجموعات لوصف الصوت المسموع عندما تتحرك الشوكة الرنانة بمسار دائري أفقي وعندما تكون ثابتة.

فكرة للتقويم: يكون قياس معرفة الطلبة وتوسيع تفكيرهم من خلال الانتقال بين المجموعات. شجعهم على ملاحظة أن هناك تغييرًا في درجة (حدّة) نغمة الصوت المسموعة، وأن هذا مرتبط بالتردد، واذكر أن هذا مثال على تأثير دوبلر، واطلب إليهم التفكير في أمثلة أخرى.

فكرة ب (١٥ دقيقة)

- اعرض مقطع فيديو لتأثير دوبلر مع صوت، مثل صافرة سيارة الإسعاف التي تتحرك نحو شخص ما ثم تبتعد عنه، واطلب إلى الطلبة ضمن مجموعات أن يصفوا كيف يتغيّر الصوت المسموع عندما تتحرك سيارة الإسعاف نحوهم، أو تمر أمامهم، أو تبتعد عنهم، ثم اطلب إليهم تدوين ملاحظاتهم.

فكرة للتقويم: إن قراءة الملاحظات التي دوّنها الطلبة وتقديم الملاحظات عليها يقوّم فهمهم، ويقدّم المزيد من التوضيحات، ومن خلال تشجيع الطلبة كصف بأكمله على المشاركة في المناقشة، يمكنك إثبات أن التغيير في درجة (حدّة) الصوت يرجع

إلى التغيّر في التردد، واطلب إليهم إعطاء أمثلة على تأثير دوبلر في الحياة اليومية، مثل بوق سيارة الأجرة، وصافرة سيارة الشرطة، وغير ذلك.

الأنشطة الرئيسية

١ تعريف تأثير دوبلر (٤٠ دقيقة)

- أعطِ تعريفًا لتأثير دوبلر، معزّزًا فكرة أنه عندما يتحرك مصدر الموجات بالنسبة إلى مراقب ثابت، فإنه يحدث تغيّر في التردد الملاحظ أو طول الموجة الملاحظ للموجات الصوتية، ويمكن للطلبة إجراء مزيد من الاستقصاء لفكرة تغيّر التردد بواسطة رسم مخططات توضّح جبهات موجية دائرية لمصدر موجات صوتية ثابت وكذلك لمصدر متحرك، مثل الشكل ٦-٦ الوارد في كتاب الطالب، اطلب إليهم العمل في مجموعات واستخدام أكبر عدد ممكن من المصطلحات العلمية (طول الموجة، التردد، درجة الصوت، وغير ذلك) لوصف الصوت الذي يسمعه المراقبون عندما يكون مصدر الموجات التي ينبعث منها الصوت ثابتًا وكذلك عندما يكون متحركًا نحو أحد المراقبين.

› **فكرة للتقويم:** تجوّل في الصف مشاهدًا ومستمعًا لفهم قدرات الطلبة على رسم مخططات دقيقة واستخدام المصطلحات العلمية المناسبة.

٢ تدريب على استخدام معادلة التردد الملاحظ (ساعة واحدة)

- اكتب معادلة التردد الملاحظ $f_o = \frac{f_s v}{(v \pm v_s)}$ على اللوح، موضحًا دلالة الرموز المستخدمة، ثم اشرح أن إشارة الجمع تنطبق على المصدر المبتعد، في حين تنطبق إشارة الطرح على المصدر المقترب، وعلى الطلبة طرح أسئلة في أثناء الشرح والمناقشة. قم بحل المثال ٣ الوارد في كتاب الطالب مع الطلبة وأكّد على أهمية كل خطوة في الحل، ويجب عليهم التدرّب على العديد من الأمثلة للتأكّد من فهمهم للرموز الموجودة في المعادلة وقدرتهم على التطبيق. يوفر السؤال ١٠ الوارد في كتاب الطالب والنشاط ٦-٤ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة أمثلة جيدة على المفهوم وتدريبًا على المهارات الرياضية.

› **فكرة للتقويم:** يمكن للطلبة تصحيح أعمال بعضهم ووضع درجات عليها من خلال مقارنتها بعملهم وبالإجابة «الصحيحة» التي قدمتها لهم، كما يجب ملاحظة أي أخطاء وشرحها من قبل الطالب الذي يجد الخطأ، على أن يقوم الطالب الذي ارتكب الخطأ بتصحيحها. يجب أن تشمل طريقة الحل على الخطوات الموضّحة في المثال ٣ الوارد في كتاب الطالب، ويجب أن يدرك الطلبة أنه لا ترصد درجات لهذا النشاط لأن الهدف منه هو أن يتعلموا تجنب ارتكاب الأخطاء مرة أخرى.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

إذا كانت هناك حاجة إلى مزيد من التحدي، فيمكن للطلبة استنتاج المعادلة $f_o = \frac{f_s v}{(v \pm v_s)}$ للتردد الملاحظ. شجّعهم على توضيح خطوات الاستنتاج ورسم مخططات معنونة لتوضيح العملية بأكملها.

الدعم

يمكن مساعدة الطلبة الذين يحتاجون إلى مزيد من الدعم من قبل الآخرين في مجموعتهم إذا تعاملوا مع بعض الحسابات كمجموعة؛ ومع ذلك عليك التأكّد من أن جميع الطلبة ينظرون إلى هذا الأمر على أنه وسيلة إيجابية للتعلّم وطريقة إيجابية يمكنهم من خلالها تطوير فهمهم.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اسأل الطلبة: هل يمكنهم شرح المقصود بتأثير دوبلر من دون النظر إلى كتبهم؟ اطلب إليهم استخدام الكلمات الرئيسية المناسبة في شرحهم.
- اسأل الطلبة: كيف يمكنهم تذكّر متى تستخدم إشارة الجمع أو إشارة الطرح في معادلة التردد الملاحظ؟

إجابات كتاب الطالب

العلوم ضمن سياقها

الاهتزازات تصنع الموجات

- تنقل الموجات الطاقة من دون نقل المادة، فهي تتحرك خلال الوسط، حيث ينزاح الماء في موجات الماء رأسيًا إلى الأعلى وإلى الأسفل مؤقتًا في أثناء انتشار الموجة خلاله. تخيل مثلًا عوّامة تتحرك صعودًا وهبوطًا في أثناء عبور الموجة لها، في حين يبقى موقع العوّامة ثابتًا، فهي تتحرك إلى الأعلى وإلى الأسفل فقط.
- تبيّن الصورة ٦–١ الواردة في كتاب الطالب إزاحة الماء رأسيًا على الشاطئ في أثناء عبور الموجة له، حيث تكتسب قطرات الماء التي ترتفع طاقة وضع جاذبية؛ وفي أثناء سقوط قطرات الماء، فإن طاقة وضع الجاذبية تتحوّل إلى طاقة حركة في أثناء «تكسّرها» على الشاطئ.
- تعتمد الطاقة المنقولة بواسطة الموجة على عدد من العوامل، وتشمل طول الموجة والسرعة المتجهة والسعة.

إجابات أسئلة موضوعات الوحدة

١. **الموجة (أ)** طول الموجة 15 cm

السعة 4 cm

الموجة (ب) طول الموجة 20 cm

السعة 2 cm

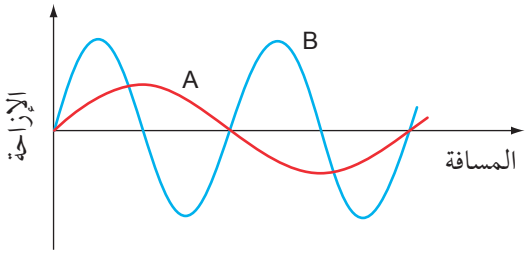
٢. تشغل الموجة الكاملة 2.5 مربعات، ويمثّل المربع الواحد (0.005 s)، لذلك فإن الزمن الدوري للموجة:

$$T = 2.5 \times 0.005 = 0.0125 \text{ s}$$

وبذلك يكون التردد:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.0125} = 80 \text{ Hz}$$

٣.



٤. **أ.** شدة الموجة $= \frac{\text{القدرة}}{\text{المساحة}} = \frac{P}{A}$

مساحة سطح الكرة $= 4\pi r^2$

لذلك، فإن شدة الإشعاع على بُعد 1.0 m من المصباح:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{100}{4 \times \pi \times (1.0)^2}$$

$$= 7.96 \text{ W m}^{-2} \approx 8.0 \text{ W m}^{-2}$$

ب. شدة الإشعاع على بُعد 2.0 m من المصباح:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{100}{4 \times \pi \times (2.0)^2}$$

$$= 1.99 \text{ W m}^{-2} \approx 2.0 \text{ W m}^{-2}$$

٥. **أ.** تتناسب الشدة طرديًا مع مربع السعة (A^2)، لذلك مضاعفة السعة تعطي 4 أمثال الشدة أو نقول الشدة مضروبة في 4، أي 1600 W m^{-2}

ب. تقل الشدة إلى ربع قيمتها، لذلك تتناقص السعة إلى النصف، أي (2.5 cm).

٦. بإعادة ترتيب معادلة سرعة الموجة $v = f\lambda$ نحصل على التردد:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{5060}{0.25} = 20240 \text{ Hz} \approx 20 \text{ kHz}$$

٧. سرعة الموجات المستعرضة:

$$v = f\lambda = 64 \times 1.40 = 89.6 \text{ m s}^{-1} \approx 90 \text{ m s}^{-1}$$

٨. **أ.** التردد:

$$f = 30 \text{ Hz}$$

ب. سرعة الموجة:

$$v = f\lambda = 30 \times 0.050 = 1.5 \text{ m s}^{-1}$$

٩.

المحطة	طول الموجة (m)	التردد (MHz)
راديو A (FM)	$\frac{v}{f} = \frac{3.00 \times 10^8}{97.6 \times 10^6} = 3.07$	97.6
راديو B (FM)	$\frac{v}{f} = \frac{3.00 \times 10^8}{94.6 \times 10^6} = 3.17$	94.6
راديو B (LW)	1515	$\frac{v}{\lambda} = \frac{3.00 \times 10^8}{1515} = 0.198$ MHz
راديو C (MW)	693	$\frac{v}{\lambda} = \frac{3.00 \times 10^8}{693} = 0.433$ MHz

١٠. أ. طول الموجة الملاحظ للصوت:

$$\lambda_o = \frac{(v + v_s)}{f_s} = \frac{340 + 80}{120} = 3.5 \text{ m}$$

ب. التردد الملاحظ لهذا الصوت:

$$f_o = \frac{f_s v}{(v + v_s)} = \frac{120 \times 340}{(340 + 80)} \approx 97 \text{ Hz}$$

بطريقة أخرى:

$$f_o = \frac{v}{\lambda_o} = \frac{340}{3.5} \approx 97 \text{ Hz}$$

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. د

٢. تشغل عدد 2.5 موجة عدد 6 مربعات، لذلك تشغل الموجة الواحدة 2.4 مربع.

زمن 2.4 مربع يساوي الزمن الدوري لذلك:

$$T = 2.4 \text{ div} \times 500 \text{ μs div}^{-1}$$

$$= 2.4 \times 500 \text{ μs} = 1200 \text{ μs}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1200 \times 10^{-6}} = 833 \text{ Hz} \approx 830 \text{ Hz}$$

٣. أ. تأثير دوبلر: تؤدي حركة مصدر الصوت مقتربًا من المراقب أو مبتعدًا عنه إلى انخفاض أو ازدياد طول الموجة، وبالتالي تغير تردد الصوت المسموع فتختلف حدته.

ب. يكون للتردد أقصى حد عندما يكون القارب متحركًا بسرعة متجهة مقتربًا من محمود.

التردد الملاحظ:

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

$$f_o = \frac{420 \times 340}{340 - 25} \approx 453 \text{ Hz}$$

يكون للتردد أدنى حد عندما تكون السرعة المتجهة للقارب متجهة بعيدًا عن محمود.

التردد الملاحظ:

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

$$f_o = \frac{420 \times 340}{340 + 25} \approx 391 \text{ Hz}$$

ج. عندما تكون السرعة المتجهة للقارب نحو محمود.

٤. أ. ١. تظهر جبهة الموجة التي تحتوي الجسيم A انضغاطًا.

٢. تظهر جبهة الموجة التي تحتوي الجسيم B تخلخلًا.

ب. يهتز الجسيم P موازيًا لاتجاه انتشار الموجة.

ج. يتحرك جسيم من موضع الاتزان إلى أقصى إزاحة، ثم يعود إلى موضع الاتزان، ثم يتحرك إلى أقصى إزاحة بالاتجاه المعاكس ثم يعود إلى موضع الاتزان وهكذا (240 مرة في الثانية).

د. من المعادلة $v = f\lambda$ يقود ذلك إلى أن طول الموجة:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{240} = 1.4 \text{ m}$$

بما أن المسافة (d) بين A و B تمثل نصف طول موجي، لذلك:

$$d = \frac{\lambda}{2} = \frac{1.4}{2} = 0.70 \text{ m}$$

٥. السرعة:

$v = f\lambda = 1000 \times 0.34 = 340 \text{ m s}^{-1}$

النسبة المئوية لعدم اليقين في f:

$= \frac{10}{1000} \times 100\% = 1.0\%$

النسبة المئوية لعدم اليقين في λ:

$= \frac{2}{34} \times 100\% = 5.88\%$

النسبة المئوية لعدم اليقين في v:

$= 1.0\% + 5.88\% = 6.88\%$

النسبة المئوية لعدم اليقين في $v = \frac{\text{عدم اليقين المطلق في } v}{v} \times 100\%$

وبإعادة ترتيب المعادلة نحصل على عدم اليقين المطلق في v:

عدم اليقين المطلق في v:

$= 0.0688 \times 340 = 23.4 \text{ m s}^{-1}$

بالتالي:

$v = (340 \pm 23) \text{ m s}^{-1}$

٦. أ. تهتز الجسيمات باتجاه موازٍ لاتجاه انتشار الموجة.

ب. تشغل 5 موجات 6 مربعات أي $6 \times 5 \times 10^{-3}$ s

لذلك الزمن الدوري:

$T = 6 \times 10^{-3} \text{ s}$

$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{6 \times 10^{-3}} = 167 \text{ Hz}$

ج. من المعادلة $v = f\lambda$ يقود ذلك إلى أن:

$v = 167 \times 1.98 = 330 \text{ m s}^{-1}$

٧. أ. أقل من التردد المنبعث؛ لأن الجسيمات تبتعد عن الكاشف.

يتحرك المصدر مبتعدًا خلال الفترة الزمنية بين إرسال موجة والموجة التي تليها، فيكبر طول الموجة أو تظهر جبهات الموجة متباعدةً.

وبما أن $v = f\lambda$، فكلما كان طول الموجة أكبر يكون التردد أصغر.

ب. التردد الملاحظ (المقاس بواسطة الكاشف):

$f_o = \frac{f_s \times v}{(v + v_s)} = \frac{4.000 \times 1500}{(1500 + 30)}$

$= 3.9216 \text{ MHz}$

الفرق بين التردد المنبعث والتردد المقاس بواسطة الكاشف:

$4.000 - 3.9216 = 0.078 \text{ MHz} \approx 78000 \text{ Hz}$

ج. يحدث تأثير دوبلر عندما يتحرك المراقب (الجسيمات) مبتعدًا عن المصدر (جهاز الإرسال).

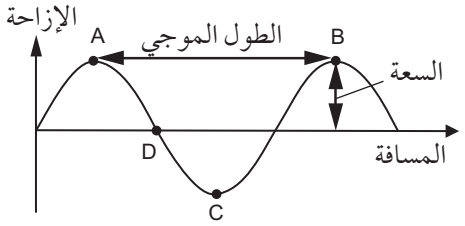
إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة

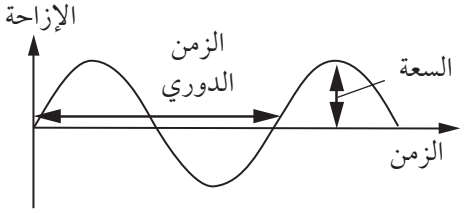
إجابات أسئلة الأنشطة

نشاط ٦-١: المصطلحات الأساسية والتمثيلات البيانية للموجات

١. أ-د. يظهر المخطط الأول إجابات: الجزئية (أ) المعنون بـ: السعة، طول الموجة، والجزئية (ب) المعنون بـ: B ، والجزئية (ج) المعنون بـ: C ، والجزئية (د) المعنون بـ: D .

ويظهر المخطط الثاني السعة والزمن الدوري.





٢. أ. متوازية

عمودية

ب.

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

ج. حرّك الزنبرك إلى الأمام وإلى الخلف على طول الزنبرك.

د. حرّك الزنبرك عموديًا على طول الزنبرك.

٣. المسافة بين مركزَي التضاغط والتخلخل المتجاورَين = نصف طول موجة

طول الموجة:

$\lambda = 16 \times 2 = 32 \text{ cm}$

سرعة الموجة:

$v = f\lambda = 2.0 \times 0.32 = 0.64 \text{ m s}^{-1} = 64 \text{ cm s}^{-1}$

٤. أ. طولان موجيان = 4.8 cm

لذلك: $\lambda = 2.4 \text{ cm}$

حل آخر:

$\frac{5\lambda}{4} = 3$

$\lambda = 2.4 \text{ cm}$

ب. تردد الموجة:

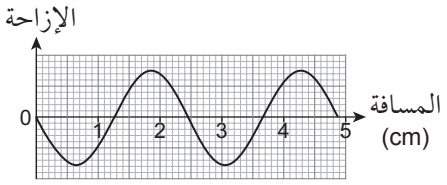
$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{6.0}{2.4} = 2.5 \text{ Hz}$

ج. الزمن الدوري للموجة:

$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2.5} = 0.40 \text{ s}$

د. $s = v \times t = 6.0 \times 0.20 = 1.2 \text{ cm}$

وهذه المسافة = نصف طول موجة



٥. أ. الزمن اللازم لإكمال موجتين = 5.0 s

وبالتالي فإن الزمن الدوري:

$T = 2.5 \text{ s}$

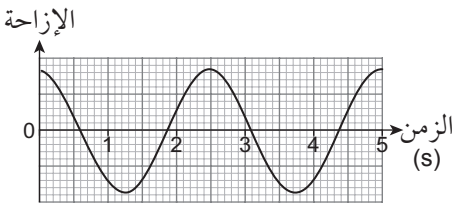
ب. التردد:

$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2.5} = 0.40 \text{ Hz}$

ج. الطول الموجي:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{16}{0.40} = 40 \text{ cm}$$

د.



نشاط ٦-٢: المزيد حول فرق الطور

١. أ. النقطتان A و E

ب. الزوجان: A و D

B و E

ج. ١. تتحرك A إلى الأعلى.

٢. تتحرك B إلى الأسفل.

٢. أ. الموجة الكاملة الواحدة هي:

$360° = 4 \times 90°$

لذلك المسافة لموجة كاملة هي:

$= 4 \times 25 = 100 \text{ cm}$

ب. وبإعادة ترتيب المعادلة $\phi = \frac{x}{\lambda} \times 360°$ فإن:

$$x = \frac{\phi}{360°} \times \lambda = \frac{270°}{360°} \times 100 = 75 \text{ cm}$$

ج. $$\phi = \frac{x}{\lambda} \times 360° = \frac{15}{100} \times 360° = 54°$$

٣. مدى تقدم أو تأخر نقطة (اهتزازة) عن أخرى خلال الموجة الواحدة معبّرًا عنه بزاوية (بالدرجات أو الراديان)، بحيث إذا فصل بين نقطتَين طول موجة واحد، فإن فرق الطور بينهما يكون 360°

٤. أ. لهما السعة نفسها.

ب. لهما التردد نفسه.

ج. A تسبق B بمقدار 90°

نشاط ٦-٣: شدة الموجة وقياس الزمن والطيف الكهرومغناطيسي

١. بما أن $I \propto A^2$ فإن:

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 = \left(\frac{1.5}{3.0}\right)^2 = 0.25$$

٢.

	السعة	الشدة
الموجة الابتدائية	A_0	I_0
الموجة A	$\frac{1}{2}A_0$	$\frac{1}{4}I_0$
الموجة B	$\frac{A_0}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{2}I_0$
الموجة C	$3A_0$	$9I_0$
الموجة D	$4A_0$	$16I_0$

٣. أ. القدرة = الشدة × المساحة

$$P = 2000 \times (0.50 \times 0.50) = 500 \text{ W}$$

ب. لأن المساحة التي تسقط عليها الموجة عموديًا تناقصت.

ج. $$\text{القدرة} = \frac{\text{الطاقة}}{\text{الزمن}}$$

$$P = \frac{6000}{30} = 200 \text{ W}$$

$$\text{المساحة} = \frac{\text{القدرة}}{\text{الشدة}}$$

$$A = \frac{200}{2000} = 0.1 \text{ m}^2$$

٤.

التردد (Hz)	طول الموجة (m)	منطقة الطيف
1.0×10^{10}	3.0×10^{-2}	الموجات الميكروية
6.0×10^{14}	5.0×10^{-7}	الضوء المرئي
5.0×10^{17}	6.0×10^{-10}	الأشعة السينية
5.0×10^{7}	6.0	موجات الراديو
6.0×10^{22}	5.0×10^{-15}	أشعة جاما
3.0×10^{13}	1.0×10^{-5}	الأشعة تحت الحمراء

٥. أ. هناك زمنان دوريان في 8 مربعات، لذلك توجد 4 مربعات للزمن الدوري الواحد.

الزمن الدوري الواحد:

$T = 4 \text{ div} \times 0.5 \text{ ms div}^{-1}$

$T = 4 \times 0.5 \text{ ms} = 2.0 \text{ ms}$

ب. التردد:

$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2.0 \times 10^{-3}} = 500 \text{ Hz}$

ج. للزمن الدوري الواحد توجد 4 مربعات:

$T = 4 \text{ div} \times 2.0 \text{ ms div}^{-1}$

$T = 4 \times 2.0 \text{ ms} = 8.0 \text{ ms}$

$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{8.0 \times 10^{-3}} = 125 \text{ Hz}$

نشاط ٦-٤: تأثير دوبلر

١. أ. تتكدس الموجات معًا لأن المصدر يتحرك نحو المراقب.

ب. يصدر مصدر الصوت دائمًا التردد نفسه، أي ينبعث العدد نفسه من الأطوال الموجية في كل ثانية ولكنها تنطبق على مسافة أصغر؛ لأن المصدر يتحرك نحو المراقب، وبالتالي يقل طول الموجة لهذه الموجات؛ وبما أن سرعة الصوت هي نفسها، فإنه يصل إلى المراقب عدد أكبر من الأطوال الموجية الكاملة في الثانية أي أن التردد يزيد.

٢. أ. $f_o = \frac{f_s v}{(v - v_s)} = \frac{400 \times 340}{(340 - 40)} = 453.3 \approx 450 \text{ Hz}$

ب. $f_o = \frac{f_s v}{(v + v_s)} = \frac{400 \times 340}{(340 + 40)} = 357.9 \approx 360 \text{ Hz}$

٣. $f_o = \frac{f_s v}{(v - v_s)} = \frac{2500 \times 340}{(340 - 30)} = 2741.9 \approx 2700 \text{ Hz}$

٤. الحد الأقصى للتردد:

$f_o = \frac{f_s v}{(v - v_s)} = \frac{300 \times 340}{(340 - 20)} = 318.8 \approx 320 \text{ Hz}$

الحد الأدنى للتردد:

$f_o = \frac{f_s v}{(v + v_s)} = \frac{300 \times 340}{(340 + 20)} = 283.3 \approx 280 \text{ Hz}$

٥. أ. $f_o = \frac{f_s v}{(v - v_s)}$

$300 = \frac{250 \times 340}{(340 - v_s)}$

$340 - v_s = 283.3$

$v_s = 340 - 283.3 = 56.7 \text{ m s}^{-1} \approx 57 \text{ m s}^{-1}$

ب. $f_o = \frac{f_s v}{(v + v_s)} = \frac{250 \times 340}{(340 + 57)} = 214 \approx 210 \text{ Hz}$

٦. أ. بما أن التردد الملاحظ أكبر من تردد صوت بوق القطار معنى ذلك أن القطار يتجه نحو المراقب.

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

$660 = \frac{600 \times 340}{(340 - v_s)}$

$340 - v_s = 309.1$

$v_s = 340 - 309.1 = 30.9 \text{ m s}^{-1} \approx 31 \text{ m s}^{-1}$

ب. يسمع تردد أقل من المراقب السابق لكنه لا يزال أكبر من 600 Hz؛ لأن مركّبة السرعة المتجهة للقطار نحو المراقب أقل.

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. أ. الطول الموجي للموجة = مربعَين

$\lambda = 2 \times 4.0 = 8.0 \text{ cm}$

ب. تحركت الموجة مسافة تساوي $\frac{1}{2}$ مربع أي تحركت 2.0 cm في 0.10 s

$v = \frac{x}{t} = \frac{2.0}{0.10} = 20 \text{ cm s}^{-1}$

بافتراض أن كل قمة في المخطط العلوي تحركت $\frac{1}{4}$ طول موجة فقط من مخطط (1) إلى المخطط (2) في زمن 0.10 s (أو تحركت لمسافة أكبر من ذلك وهي $1\frac{1}{4}$ ، $2\frac{1}{4}$ أطوال موجية وهكذا).

ج. تردد الموجة:

$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{20}{8.0} = 2.5 \text{ Hz}$

د. السعة نفسها (عند مقارنتها على المخطط نفسه).

هـ. فرق الطور بين اهتزازات P و Q:

$$\phi = \frac{x}{\lambda} \times 360° = \frac{6.0}{8.0} \times 360° = 270°$$

و. بما أن $I \propto A^2$ فإن:

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 = \left(\frac{6.0}{4.0}\right)^2 = 2.25$$

٢. **أ.** ١. كلاهما يتضمن نقل طاقة من دون أن ينتقل الوسط ككل، وكلاهما يرتبط بالاهتزاز ويختلفان في أن الاهتزاز يكون موازيًا لاتجاه انتقال الطاقة في الموجة الطولية، وعموديًا على اتجاه انتقال الطاقة في الموجة المستعرضة.

٢. الموجات الطولية مثل: الموجات الصوتية، أو بعض الموجات الزلزالية أو الزنبركية.
الموجات المستعرضة: أي موجات كهرومغناطيسية، أو موجات الحبل أو موجات الماء.

ب. ١. عدد الأطوال الموجية الكاملة التي تمر بنقطة في وحدة الزمن.

٢. A و D

٣. المسافة بين A و B تعادل نصف طول موجة وبالتالي طول الموجة يساوي:

$$\lambda = 2 \times 14.0 = 28.0 \text{ cm}$$

$$v = f\lambda = 3.0 \times 28.0 = 84 \text{ cm s}^{-1}$$

٤. $$\phi = \frac{x}{\lambda} \times 360° = \frac{14.0}{28.0} \times 360° = 180°$$

٣. **أ.** هو التغيّر في التردد أو طول الموجة الملاحظ لموجة عندما يتحرك مصدر الموجة باتجاه المراقب أو بعيدًا عنه (أو يتحرك المراقب بالنسبة إلى المصدر).

ب. ١. الطول الموجي للصوت:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{200} = 1.7 \text{ m}$$

٢. $$t = T = \frac{1}{f} = \frac{1}{200} = 0.005 \text{ s}$$

٣. المسافة التي يقطعها مصدر الصوت:

$$s = vt = 20 \times 0.005 = 0.10 \text{ m}$$

٤. المسافة القصوى:

$$= 1.7 + 0.10 = 1.8 \text{ m}$$

المسافة الدنيا:

$$= 1.7 - 0.10 = 1.6 \text{ m}$$

٥. التردد الذي يسمعه الشخص إلى اليمين:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{1.6} = 212.5 \approx 210 \text{ Hz}$$

التردد الذي يسمعه الشخص إلى اليسار:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{1.8} = 188.9 \approx 190 \text{ Hz}$$

الوحدة السابعة

تراكب الموجات

نظرة عامة

- سيدرس الطلبة في هذه الوحدة من المنهج مبدأ تراكب الموجات وسيستخدمون مفهوم جمع المتجهات لفهم كيفية جمع الموجات وإلغائها من خلال التمثيل البياني، وسيستخدم الطلبة أيضًا مبدأ تراكب الموجات لفهم تكوين موجات مستقرة باستخدام طرائق الرسم التخطيطي لتحديد العقد والبطون.
- سيتم دراسة حيود الموجات وتداخلها، بما في ذلك التداخل ثنائي المصدر ومحزوز الحيود.
- توفر معادلات فرق المسار والمسافة الفاصلة بين الأهداب ومحزوزات الحيود فرصًا للطلبة لممارسة المهارات الرياضية وتعزيز الاستيعاب المفاهيمي للتداخل والحيود.
- يساعد مبدأ تراكب الموجات الطلبة على تطوير فهم الموجات المستقرة في الموضوعات اللاحقة من المنهج.
- يدرس الطلبة التجارب التي توضّح الموجات المستقرة باستخدام الموجات الميكروية والأوتار المشدودة وأعمدة الهواء.
- تساعد دراسة الموجات المستقرة الطلبة على فهم مصطلح تكميم طول الموجة وكيف يبدو الإلكترون في الذرة في الموضوعات اللاحقة من فيزياء الكم (طول موجة دي بروي).
- يتوقع من الطالب خلال هذه الوحدة أن:

– يشرح مبدأ تراكب الموجات ويستخدمه.

– يعرّف مصطلح الحيود ويستخدمه.

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

– يعرّف مصطلحَي التداخل والترابط ويستخدمهما.

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

– يصف الشروط المطلوبة لملاحظة أهداب التداخل ثنائي المصدر.

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

– يستخدم المعادلة: $d \sin\theta = n\lambda$.

– يصف استخدام محزوز الحيود لتحديد طول الموجة لضوء ما.

– 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).

– يشرح بيانيًا طريقة تكوّن موجة مستقرة، ويحدّد العُقد والبطون.

– يصف كيف يمكن تحديد طول موجة مستقرة من مواقع العُقد أو البطون.

- ثمّة فرص لتغطية جميع أهداف التقويم الثلاثة: AO1 (المعرفة والفهم)، AO2 (معالجة المعلومات وتطبيقها وتقييمها) و AO3 (المهارات والاستقصاءات التجريبية)، وهدف التقويم الثالث يتحقق من خلال إيجاد طول الموجة لضوء أحادي اللون في تجربة الشق المزدوج ليونج وإيجاد طول الموجة وسرعة الصوت باستخدام الموجات المستقرة.

مخطط التدريس

أهداف الموضوع	الموضوع	عدد الحصص	المصادر في كتاب الطالب	المصادر في كتاب التجارب العملية والأنشطة
٧-١، ٧-٢، ٧-٣	٧-١ مبدأ تراكب الموجات ٧-٢ حيود الموجات	٣	السؤالان ١ و ٢ أسئلة نهاية الوحدة: ٢-٤	نشاط ٧-١ تراكب الموجات والتداخل (السؤال ١) نشاط ٧-٤ الحيود ومحزوز الحيود (الأسئلة ١-٣) أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٧-٤، ٧-٥، ٧-٦، ٧-٧	٧-٣ التداخل ٧-٤ تجربة الشق المزدوج ليونج	٦	الأسئلة من ٣ إلى ١٠ أسئلة نهاية الوحدة: ١، ٥، ٦، ٨، ١٠، ١١	نشاط ٧-١ تراكب الموجات والتداخل (السؤال ٢) نشاط ٧-٢ تجارب التداخل ثنائي المصدر نشاط ٧-٣ تجربة الشق المزدوج: الوصف والحسابات أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٧-٨، ٧-٩	٧-٥ محزوز الحيود	٤	الأسئلة من ١١ إلى ١٥ أسئلة نهاية الوحدة: ٧ و ٩	نشاط ٧-٤ الحيود ومحزوز الحيود (الأسئلة ٤-٧) الاستقصاء العملي ٧-١: التخطيط لقياس طول موجة ليزر باستخدام محزوز الحيود أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٧-١١	٧-٦ الموجات المستقرة	١	أسئلة نهاية الوحدة: ١٤	نشاط ٧-٥ كيف يؤدي مبدأ تراكب الموجات إلى موجات مستقرة أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٧-١٠، ٧-١٢	٧-٧ المزيد عن الموجات المستقرة	٥	الأسئلة من ١٦ إلى ٢١ أسئلة نهاية الوحدة: ١٢، ١٣، ١٥، ١٦، ١٧، ١٨، ١٩	نشاط ٧-٦ استخدام أنماط الموجات المستقرة نشاط ٧-٧ استخدام المصطلحات الصحيحة لشرح الموجات المستقرة نشاط ٧-٨ تخطيط التجارب على الموجات المستقرة الاستقصاء العملي ٧-٢: الموجات المستقرة على سلك يحمل تيارًا كهربائيًا أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع

الموضوعان ٧-١: مبدأ تراكب الموجات و ٧-٢: حيود الموجات

الأهداف التعليمية

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.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذين الموضوعين ٣ حصص دراسية (ساعتان).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٧-١ مبدأ تراكب الموجات ٧-٢ حيود الموجات	• المثال ١ • السؤالان ١ و ٢
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٧-١ تراكب الموجات والتداخل (السؤال ١) نشاط ٧-٤ الحيود ومحزوز الحيود (الأسئلة ١-٣)	• يساعد السؤال ١ من النشاط ٧-١ الطلبة على التفكير في التداخل وفرق المسار. • تساعد الأسئلة ١-٣ في النشاط ٧-٤ الطلبة على فهم الحيود.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- يعتقد بعض الطلبة أنه يمكن استخدام مبدأ تراكب الموجات لجمع موجة مستعرضة وموجة طولية، ارجع إلى العرض التوضيحي في الأنشطة الرئيسية لنبضتَين موجيتَين منفردتَين تتحركان على طول زنبرك مرن أو حبل للتأكيد على أن مبدأ تراكب الموجات لا يمكن استخدامه إلا لموجات من النوع نفسه، وفي المكان نفسه وفي الزمن نفسه.

أنشطة تمهيدية

أصبح الطلبة على معرفة بالأفكار المتعلقة بسلوك الموجات الواردة في الوحدة السادسة، كما أنهم على معرفة بمفهوم الكميات المتجهة وكيفية جمعها، يمكنك الاستفادة من ذلك مع المعرفة السابقة للطلبة من خلال دمج جمع المتجهات بطرائق التمثيلات البيانية لتطوير فهم مبدأ تراكب الموجات، وقد تعرّض الطلبة لمفهوم حيود الموجات من قبل، ومن المفيد التأكيد على حقيقة أن تأثيرات الحيود تكون أكثر وضوحًا عندما يكون عرض الفجوة مساوٍ تقريبًا لطول الموجة.

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

فكرة أ (١٥ دقيقة)

- اطلب إلى الطلبة العمل في مجموعات لمناقشة استخدام سماعات إلغاء الضوضاء، حيث تشارك كل مجموعة أفكارها مع المجموعات الأخرى أمام طلبة الصف، وقد تتضمن عناصر المناقشة استخدام سماعات الرأس هذه في المطارات للمساعدة في النوم وحماية الأذنَين، ووجّه الطلبة إلى استخدام مصطلحات علمية لوصف كيفية عمل سماعات إلغاء الضوضاء، مثل مصطلحات فرق الطور، وشدة الضوضاء، والطور المعاكس.

› **فكرة للتقويم:** يمكنك تقويم المعرفة السابقة من خلال شرح الطلبة الذين يجب عليهم إظهار فهمهم لشدة الصوت، وفرق الطور أو الطور المعاكس والمصطلحات المرتبطة بالموجة.

فكرة ب (١٠ دقائق)

- أعطِ الطلبة نشاطًا سريعًا يتعيّن عليهم فيه:
  - تقديم شرح مختصر لمعنى فرق الطور.
  - إعطاء فرق الطور بين جُسيمَين يهتزان بالطور نفسه وجُسيمَين يهتزان بالطور المعاكس.
  - ذكر المعادلة العامة لفرق الطور: $\phi = \frac{x}{\lambda} \times 360°$
  - ذكر ما تمثله (x) و (λ).

› **فكرة للتقويم:** يجب عليك التأكّد من أن جميع الطلبة قادرون على ذكر معادلة فرق الطور، وقد يكون من المفيد أخذ بضع دقائق لإعادة النظر في مفهوم فرق الطور ومعالجة أي مفاهيم خاطئة.

الأنشطة الرئيسية

١ مبدأ تراكب الموجات (٤٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** أرسل نبضتَين من طرفَي زنبرك مرن أو حبل في زمن واحد، بحيث يمكن للطلبة أن يلاحظوا بعناية ما يُرى عندما تتقاطع النبضتان وعندما تستمران في التحرك على طول الزنبرك أو الحبل.

- اجعل الطلبة يناقشون في نشاط «فكر، زاوج، شارك» ما سيحدث عندما تلتقي نبضتان موجيتان منفردتان تسيران في اتجاهَين متعاكسَين في حبل. اطلب إلى الطلبة رسم مخططات للنظر في الحالات المختلفة، على سبيل المثال عندما تلتقي القمة بالقمة، وعندما تلتقي القمة بالقاع، ويمكنك بعد ذلك استخدام زنبرك مرن طويل أو حبل طويل لعرض الموجة المحصلة التي تنتج عندما تتفاعل النبضتان.
- اطلب إلى الطلبة رسم موجتَين جيبيتَين على المحورَين نفسَيهما، واستخدام مبدأ تراكب الموجات لجمعهما معًا، وقد يقدم السؤال ١ الوارد في كتاب الطالب مزيدًا من التدريب للطلبة لتعزيز فهمهم لتراكب الموجات.

› **فكرة للتقويم:** يفهم الطلبة أن مبدأ تراكب الموجات يوضح الطبيعة المتجهة للإزاحة، وأن الإشارات مهمة عند إيجاد الإزاحة المحصلة للموجات الفردية، ويجب عليهم رسم مخططات دقيقة لتعزيز مهاراتهم في الرسم.

٢ حيود الموجات (٤٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** استخدم ساقًا تهتز لتوليد موجات، ثم استخدم فجوة في حاجز لتوضيح حيود الموجات وتأثير تغير عرض الفجوة.

- ابدأ الموضوع بتوضيح لتأثير حيود موجات الماء في حوض الموجات المائية، يلاحظ الطلبة بعناية نمط الحيود أثناء تغيير عرض الفجوة، ويمكنهم العمل في مجموعات صغيرة واستخدام أكبر عدد ممكن من المصطلحات العلمية (طول الموجة، وجبهة الموجة، وعرض الفجوة، وغير ذلك) لسرد العوامل التي تؤثر على مدى الحيود الذي يحدث ووصفها. يرسم الطلبة عدة مخططات لتوضيح أنماط الحيود، مثل الشكل ٧-٥ الوارد في كتاب الطالب، وإذا لم تكن الأدوات متوفرة، فسيكون البحث على الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) عن عمليات المحاكاة أو مقاطع فيديو خاصة بالحيود أمرًا بسيطًا ما يسهّل عليهم فهم الموضوع. يمكن للطلبة حل السؤال ٢ الوارد في كتاب الطالب لتحقيق فهم أفضل حول حيود الموجات الميكروية.

سؤال مفصلي: أي حالة مما يأتي يحدث فيها حيود؟

أ. انتقال الموجة من وسط إلى وسط آخر.

ب. ارتداد الموجة عن حاجز.

ج. مرور موجة عبر فجوة.

د. تراكب موجتَين صادرتَين من مصدرَين متماثلَين.

(الإجابة: (ج) صحيحة. تشير العبارة (أ) إلى انكسار الموجة. وتشير العبارة (ب) إلى انعكاس الموجة، في حين تتطرّق العبارة (د) إلى مبدأ تراكب الموجات).

› **فكرة للتقويم:** تأكّد من أن الطلبة قد فهموا معنى الحيود، وفهموا أن التأثيرات تكون أكبر عندما يكون عرض الفجوة مساويًا تقريبًا لطول الموجة.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

إذا كانت هناك حاجة إلى مزيد من التحدي، فاسأل الطلبة عن سبب عدم ملاحظتهم حيود الضوء حول الأجسام، وعن خاصية الضوء التي تجعل من الصعب اكتشاف هذا التأثير، ويمكنك عرض بعض الصور للضوء الذي يحيد حول أجسام صغيرة جدًا.

الدعم

قد يحتاج الطلبة إلى مزيد من الدعم لرسم تمثيل بياني دقيق للموجة المحصلة عند التقاء موجتَين؛ وعليهم أن يتذكروا أن مبدأ تراكب الموجات يوضّح جمع المتجهات لإزاحات الموجات الفردية، وتُعدّ الإشارات مهمة عندما نريد الحصول على الإزاحة المحصلة.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اسأل الطلبة:

  هل يمكنهم تذكّر مبدأ تراكب الموجات؟

  هل يمكنهم استخدام مبدأ تراكب الموجات لشرح حيود الموجات؟
- تُعدّ الإشارات مهمة عند جمع إزاحات الموجات الفردية للحصول على الإزاحة المحصلة.

الموضوعان ٧-٣: التداخل و ٧-٤: تجربة الشق المزدوج ليونج

الأهداف التعليمية

٧-٤ يعرّف مصطلحَي 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.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذين الموضوعين ٦ حصص دراسية (٤ ساعات).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٧-٣ التداخل ٧-٤ تجربة الشق المزدوج ليونج	• المثال ١ • الأسئلة من ٣ إلى ١٠
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٧-١ تراكب الموجات والتداخل (السؤال ٢) نشاط ٧-٢ تجارب التداخل ثنائي المصدر نشاط ٧-٣ تجربة الشق المزدوج: الوصف والحسابات	• يساعد السؤال ٢ من النشاط ٧-١ الطلبة على فهم مصطلحَي التداخل البنّاء والتداخل الهدّام والتمييز بينهما. • تساعد أسئلة النشاط ٧-٢ الطلبة على التفكير في الجهاز المستخدم والنتائج التي تم العثور عليها في تجارب التداخل ثنائي المصدر. • تساعد أسئلة النشاط ٧-٣ الطلبة في التدرب على استخدام معادلة تداخل ضوء من شق مزدوج وتطبيقها على التجارب.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- كثيرًا ما يختلط على الطلبة مفهوم فرق المسار وعلاقته بفرق طور الموجات، يمكنك استخدام فكرة الطور من الدوران حول دائرة الوحدة لمساعدتهم على فهم العلاقة بين مدى انتقال الموجة وطور الموجة، إذ يألف الطلبة استخدام دائرة الوحدة في قياس الزوايا الأساسية في دراستهم للمعادلات المثلثية في الرياضيات.
- يجب أن يستخدم الطلبة المصطلحات الصحيحة بعناية عند شرح الترابط، فلا يتم تفسيره على أنه «التردد نفسه أو السعة نفسها أو طول الموجة نفسه»، بل عليهم أن يفهموا أن المصادر المترابطة تبعث موجات لها فرق طور ثابت، وهذا الترابط ممكن فقط إذا كان تردد الموجات هو نفسه ويبقى ثابتًا في جميع الأوقات.

أنشطة تمهيدية

سيكون لدى الطلبة معرفة بالخصائص العامة للموجات بالإضافة إلى مبدأ تراكب الموجات، وبالتالي يمكنهم استخدام معرفتهم السابقة لفهم تكوين أنماط التداخل في حوض الموجات، كما يمكنك مساعدتهم على فهم المقصود بالترابط من خلال التفكير في التغيّرات في فرق الطور، ثم الانتقال إلى تحديد طول الموجة لضوء أحادي اللون باستخدام شقَّي يونج.

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

فكرة أ (١٥ دقيقة)

- اطلب إلى الطلبة في جلسة عصف ذهني العمل في مجموعات ثلاثية لكتابة كل ما يعرفونه عن شدة الموجة، على أن تعطي كل مجموعة حقيقة مختلفة عن الشدة على شكل خرائط ذهنية. قد تتضمن العناصر معنى الشدة، وكيفية حسابها، ووحدتها، والعلاقة بين الشدة والسعة، وغير ذلك.

› **فكرة للتقويم:** تأكّد من أن جميع الطلبة يفهمون معنى الشدة، ومن أنهم قادرون على ذكر معادلتها، وأن عليهم إظهار فهم للعلاقة بين الشدة والسعة (الشدة $\propto$ مربع السعة)؛ لأن ذلك سيكون ضروريًا لتطوير فهمهم للتداخل البنّاء والتداخل الهدّام في الأنشطة الرئيسية.

فكرة ب (١٥ دقيقة)

- يعمل الطلبة في مجموعات لتذكّر الخصائص العامة للموجات، بما في ذلك الموجات الكهرومغناطيسية، فعلى الطلبة كتابة أكبر عدد ممكن من الخصائص، ويمكنك تشجيع طالب أو طالبين من كل مجموعة على المشاركة في كتابة «خريطة ذهنية» على السبورة، ويمكن للطلبة الرجوع إلى ملاحظاتهم أو كتاب الطالب للتحقّق من صحة عملهم.

› **فكرة للتقويم:** تجوّل بين الطلبة في الصف لتطوّر فهمًا عن قدراتهم، طارحًا أسئلة إضافية للتأكّد من أنهم يفهمون معنى الخصائص.

الأنشطة الرئيسية

١ تداخل الموجات والترابط (ساعة واحدة)

› **إرشادات عملية:** ضع كرتَين مهتزّتَين في حوض الموجات بحيث تلامسان سطح الماء فقط.

- استخدم الكرتَين المهتزّتَين لعرض التداخل في حوض الموجات، واطلب إلى الطلبة ملاحظة نمط التداخل ووصفه عندما تتداخل مجموعتا الموجات الدائرية، وإذا لم تكن الأدوات متوفرة، فاعرض مقطع فيديو أو استخدم الشكل ٧-٨ والصورة ٧-٥ من كتاب الطالب للشرح، يعتمد الطلبة على مخطط مُعدّ مسبقًا يبيّنون فيه مجموعتَين من جبهات الموجات الدائرية (مثل الشكل ٧-١٠ الوارد في كتاب الطالب) ومبدأ تراكب الموجات لفهم تشكّل نمط التداخل. شارك طلبة الصف بأكمله في المناقشة، شارحًا مصطلحَي التداخل البنّاء والتداخل الهدّام، واستعن برسم تمثيلات بيانية (الإزاحة - الزمن) للموجات الجيبية لفهم كيف ينشأ التداخل، مثل الشكل ٧-٩ الوارد في كتاب الطالب. ناقش مع الطلبة مفهوم فرق المسار وأعطِ المعادلتين الخاصتين بفرق المسار ($n\lambda$) للتداخل البنّاء (التداخل الأقصى) وللتداخل الهدّام (التداخل الأدنى) يكون $\left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$، طالبًا إليهم وصف ما سيحدث إذا لم يكن فرق الطور صفرًا، ثم اسألهم عمّا إذا تغيّر فرق الطور، الأمر الذي يساعدهم على فهم مصطلح الترابط.
- يجب على الطلبة طرح الأسئلة أثناء الشرح؛ وقد يساعد حلّ الأسئلة من ٣ إلى ٥ الواردة في كتاب الطالب في تعزيز فهم الطلبة لفكرة التداخل.

› **فكرة للتقويم:** على الطلبة أن يكونوا قادرين على تطبيق معرفتهم لفرق الطور ومبدأ تراكب الموجات لفهم التداخل البنّاء والتداخل الهدّام، لذا تأكّد من أنهم يفهمون أن المصادر المترابطة تبعث موجات بينها فرق طور ثابت، وذكّرهم بأن تجربة الكرتَين المهتزّتَين توضّح التداخل ثنائي المصدر.

٢ استخدم معادلتَي فرق المسار لحل المسائل (٣٠ دقيقة)

- أعطِ الطلبة المزيد من الأمثلة التدريبية مع حسابات تتضمن معادلتَي فرق المسار للتداخل البنّاء والتداخل الهدّام، كما يمكنك تقديم مسائل تدريبية تتعلق بالموجات الصوتية أيضًا؛ لأن ذلك يعزّز من استيعابهم المفاهيمي للتداخل بالإضافة إلى المهارات الرياضية الأساسية، ويوفر النشاط ٧–١ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة أمثلة على ذلك.

› **فكرة للتقويم:** استخدم نتائج حسابات الطلبة لتقويم ما إذا كانوا قد فهموا متى يجب عليهم تطبيق المعادلتين الخاصتين بفرق المسار. يمكن للطلبة أن يقوم بعضهم بتصحيح أعمال بعضهم الآخر، مع تقديم تغذية راجعة وتفسيرات واضحة حول أي أخطاء وأي نقص في التفسير، وبعد ذلك يمكنك تقديم الإجابات الصحيحة لهم للتأكّد من صحة أعمالهم.

٣ تحديد طول الموجة لضوء أحادي اللون باستخدام تجربة شقَّي يونج (ساعة واحدة)

› **إرشادات عملية:** استخدم مصدر ضوء أبيض ومرشحًا أحادي اللون يوضع أمام شق مفرد بحيث يصل الضوء الحائد في الطور نفسه إلى الشق المزدوج. لمزيد من التفاصيل حول إعداد التجربة ارجع للمهارة العملية ٧–٤ الواردة في هذه الوحدة.

- اطلب إلى الطلبة قراءة «الموضوع ٧–٤: تجربة الشق المزدوج ليونج» الوارد في كتاب الطالب، وكتابة ملاحظات قصيرة حول الإعداد التجريبي للتجربة، ثم يناقشون في مجموعات كيف توضّح هذه التجربة الطبيعة الموجية للضوء. ومن خلال تشجيع طلبة الصف بأكمله على المشاركة في المناقشة، يمكنك شرح الشروط المطلوبة لملاحظة أهداب تداخل ثنائي المصدر، وهي:
  - أن يكون المصدران مترابطَين.
  - أن يكون عرض الشق مناسبًا لكي تتداخل الأشعة بشكل كافٍ، ويجب أن يكون أحدهما على مسافة مناسبة من الآخر.
  - أن تكون المسافة بين المصدرَين والشاشة مناسبة.
- اطلب إلى الطلبة وصف الصعوبات التي يواجهونها في التجربة عند استخدام الضوء، واكتب المعادلة $\lambda = \frac{ax}{D}$ على السبورة أمامهم، مذكّرًا إيّاهم بدلالة الرموز، وموضّحًا لهم أن هذه المعادلة قابلة للتطبيق على جميع الموجات.
- أشِر إلى أن $D >> a$. يجب على الطلبة في هذه المرحلة إجراء تجربة لتحديد طول الموجة لضوء أحادي اللون باستخدام شقَّي يونج؛ وإذا لم تكن الأدوات متوفرة، فاطلب إليهم دراسة المثال ١ الوارد في كتاب الطالب، كما يجب عليهم التدرّب على حلّ العديد من الأمثلة لتعزيز استيعابهم المفاهيمي ومهاراتهم الرياضية لتجربة شقَّي يونج. يقدّم السؤالان ٦ و ٧ الواردان في كتاب الطالب والنشاط ٧–٢ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة أمثلة على ذلك.

› **فكرة للتقويم:** يجب أن يكون الطلبة قادرين على ذكر الشروط اللازمة لنمط التداخل ثنائي المصدر، لذلك ذكّرهم بأهمية استخدام الضوء أحادي اللون في التجربة، وبالتالي تشكيل أهداب مضيئة ومعتمة على الشاشة. يجب أن يكون جميع الطلبة قادرين على استخدام المعادلة $\lambda = \frac{ax}{D}$ بشكل صحيح؛ وعليك التأكيد على أهمية كل خطوة في الحساب، كما هو موضّح في المثال ١ الوارد في كتاب الطالب.

سؤال مفصلي: عند ملاحظة التداخل الناشئ عن الشق المزدوج لضوء أحادي اللون، أي تغيير في الأدوات يؤدي إلى زيادة المسافة بين الأهداب المتجاورة على الشاشة؟

أ. تقليل المسافة بين الشقَّين.

ب. تقليل عرض كل شق.

ج. استخدام ضوء ذي تردد أعلى.

د. تحريك الشاشة لتقترب من الشق المزدوج.

(الإجابة: (أ) صحيحة. بإعادة ترتيب المعادلة $\lambda = \frac{ax}{D}$ لتصبح $x = \frac{\lambda D}{a}$ ، نلاحظ أن (x) تتناسب عكسيًا مع (a)، فإذا كانت (λ) و (D) ثابتَين فعندما تقل (a) تزداد (x). ومن المفيد تذكير الطلبة بدلالة كل رمز في المعادلة).

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدي

إذا كانت هناك حاجة إلى مزيد من التحدي، فيمكن للطلبة ذوي المهارات الرياضية والاستيعاب المفاهيمي الجيد البحث في استنتاج معادلتَي فرق المسار للتداخل البنّاء والتداخل الهدّام، على أن يتمتعوا بخلفية قوية حول استخدام معادلات الزاوية المزدوجة في علم المثلثات (حيث $\sin(2\theta) = 2\sin\theta\cos\theta$) التي سيحتاجون إليها لإضافة معادلتَين موجيتَين توافقيتَين بشكل تحليلي. يمكنك مساعدة الطلبة على فهم المعادلات الرياضية للموجات المسافرة بشكل أفضل، كما يمكن للطلبة أيضًا البحث في استنتاج $\lambda = \frac{ax}{D}$ لتجربة الشق المزدوج ليونج، على الرغم من أن هذا الاستنتاج ليس مطلوبًا منهم في هذه المرحلة.

الدعم

من المحتمل أن يواجه بعض الطلبة صعوبة في استيعاب مفهوم فرق المسار، وسيحتاجون إلى الإعادة والتكرار قبل أن يتمكنوا من تطبيق المعادلات بسرعة، وهذا أمر طبيعي يتطلّب التدريب والتشجيع.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اسأل الطلبة: ما الأمر الأكثر تحديًا في التعامل مع معادلات تحديد طول الموجة (λ) باستخدام شقَّي يونج؟
- اسأل الطلبة: كيف يمكنكم تقليل النسبة المئوية لعدم اليقين في قياس (a) و (x) و (D) عند تحديد طول الموجة (λ) باستخدام شقَّي يونج؟

الموضوع ٧-٥: محزوز الحيود

الأهداف التعليمية

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

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

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذا الموضوع ٤ حصص دراسية (ساعتان و٤٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٧-٥ محزوز الحيود	• المثال ٢ • الأسئلة من ١١ إلى ١٥
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٧-٤ الحيود ومحزوز الحيود (الأسئلة ٤-٧) الاستقصاء العملي ٧-١: التخطيط لقياس طول موجة ليزر باستخدام محزوز الحيود	• تمنح الأسئلة ٤-٧ في النشاط ٧-٤ الطلبة تدريبًا على استخدام معادلة محزوز الحيود، كما تأخذ أيضًا بعين الاعتبار التشتت الناتج عن محزوز الحيود ومختلف رتب الطيف الذي ينتجه. • سيساعد الاستقصاء العملي الطلبة على تصميم تجربة مخبرية لتحديد طول الموجة لضوء من الليزر يقع على محزوز حيود باستخدام نمط الحيود الناتج على الشاشة.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- قد يرتبك الطلبة في بعض الأحيان بسبب مصطلح «تباعد المحزوز»، وضّح لهم أن «تباعد المحزوز» أو «تباعد شقوق المحزوز» هو أقصر مسافة بين الخطوط المتجاورة لمحزوز حيود النفاذ، فتباعد المحزوز يساوي $d = \frac{1}{N}$، حيث (N) هو عدد الشقوق لكل cm أو mm، وقد تكون هذه العلاقة البسيطة مفيدة للطلبة عند حل المسائل.
- غالبًا ما يواجه الطلبة صعوبات في تحديد متى يستخدمون المعادلة $d \sin\theta = n\lambda$ أو المعادلة $\lambda = \frac{ax}{D}$ في حلّ الأسئلة، حيث أنهم يحتاجون إلى فهم أن المعادلة الأولى تُطبق على محزوز الحيود، في حين تُطبق المعادلة الثانية على تجربة الشق المزدوج ليونج. تكون الزوايا أكبر بكثير في حالة محزوز الحيود مقارنة مع الشق المزدوج، ولا تكون أهداب التداخل متباعدة بالتساوي، لذلك من المعتاد قياس الزاوية θ التي تتشكل عندها الأهداب المضيئة أو التداخلات القصوى بدلًا من قياس مسافة التباعد. تكون الأهداب متساوية التباعد في الشق المزدوج، وكذلك تكون الزوايا صغيرة جدًا، لذلك يكون من المناسب قياس المسافة الفاصلة بينها (x).

أنشطة تمهيدية

سيكون الطلبة قد درسوا حيود الموجات في وقت سابق من هذه الوحدة، لذا يمكنك الاستفادة من المعرفة السابقة للطلبة من خلال دمج استخدام محزوز الحيود كأداة مهمة في تحليل الضوء (التحليل الطيفي). ويجب أن يقدّر الطلبة فكرة أن محزوز الحيود يُستخدم بشكل أساسي لقياس طول الموجة لضوء ما.

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

فكرة أ (١٥ دقيقة)

- أمسك قرصًا مضغوطًا (CD) أو قرص DVD في يدك ووجّه السطح اللامع نحو مصدر ضوء مثل مصباح، ثم اطلب إلى الطلبة وصف ما يلاحظونه لزملائهم، باستخدام أكبر عدد ممكن من المصطلحات العلمية: الحيود، الانعكاس، التشتت، وغير ذلك، ويجب أن يذكر الطلبة أن الضوء الأبيض المنبعث من المصباح ينعكس ويحيد عن السطح اللامع للقرص المضغوط (CD)، ما ينتج عنه عرض للألوان الطيفية، وقد تطلب إلى الطلبة إجراء بحث عن هذه الظاهرة على الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) أو الرجوع إلى المقدمة في الموضوع ٧-٥ محزوز الحيود الواردة في كتاب الطالب.

› **أفكار للتقويم:** اختبر معرفة الطلبة بالمفاهيم السابقة ووسّع نطاق تفكيرهم من خلال توزيع أقراص مدمجة على المجموعات.

فكرة ب (١٥ دقيقة)

- يعمل الطلبة في مجموعات ثلاثية لتذكّر معنى حيود الموجات، فيكتبون ملاحظات قصيرة، ثم يرسمون رسومًا تخطيطية لأنماط الحيود. يمكنك أن تطلب إلى طالب أو طالبين في كل مجموعة المشاركة في كتابة «خريطة ذهنية» على السبورة، بعد ذلك يمكن للطلبة الرجوع إلى كتاب الطالب للتحقّق من إجاباتهم.

› **أفكار للتقويم:** اقرأ الملاحظات التي كتبها الطلبة لتقويم الفهم السابق لهم، ووضّح أي مفاهيم خاطئة. يجب على الطلبة استخدام مصطلح «الانحناء (الانثناء)» لوصف حيود الموجات، وعليهم أيضًا إثبات فهمهم للعلاقة بين عرض الفجوة ومقدار الحيود.

الأنشطة الرئيسية

١ فهم استخدام محزوز الحيود (ساعة واحدة)

› **إرشادات عملية:** يجب أن يسقط ضوء ليزر أحادي اللون عموديًا على محزوز الحيود من أجل الحصول على أهداب التداخل (التداخلات القصوى) والتي تكون حادةً ومضيئة على الشاشة.

- بداية يمكن للطلبة فحص محزوز الحيود تحت المجهر من أجل ملاحظة العدد الكبير والدقيق من الخطوط المتباعدة بشكل متساوٍ، ثم سلّط ضوءَ ليزرٍ أحادي اللون على محزوز حيود النفاذ، واطلب إلى الطلبة في مجموعات ملاحظة أهداب التداخل التي تظهر على الشاشة ووصفها، إذا لم تكن الأدوات متوفرة، فإن البحث على الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) عن مقاطع فيديو حول أنماط الحيود «متعددة المصادر» يمكن أن يوفر أمثلة لعرضها لهم، ويمكنك استخدام الشكلَين ٧-١٩ و ٧-٢٠ الواردَين في كتاب الطالب لتوضيح الحزم الحائدة وشرح تكوّن التداخل الأقصى ذي الرتبة الأولى، يمكن أن يساعد حلّ السؤال ١١ الوارد في كتاب الطالب على تأكيد فهم الطلبة لرتب الحيود الأقصى. اطلب إلى الطلبة أن يتناقشوا مع زملائهم حول ما يحدث عندما يحيد الضوء الأبيض من خلال محزوز النفاذ. استعن بكتاب الطالب حيث يقدّم الشكل ٧-٢١ الوارد في كتاب الطالب مثالًا على الأطياف الناتجة.

› **فكرة للتقويم:** يجب أن يفهم الطلبة أن المبدأ هو نفسه كما في تجربة الشق المزدوج ليونج، لكن في محزوز الحيود يمر الضوء عبر عدة شقوق، لذا تأكّد من أنهم يفهمون فكرة رتبة الحيود الأقصى باستخدام مخططات الأشعة ومفهوم فرق المسار.

٢ استخدم المعادلة $d \sin\theta = n\lambda$ لحل المسائل (ساعة واحدة)

- اكتب المعادلة $d \sin\theta = n\lambda$ على السبورة في الصف، واذكر ما تمثله الرموز (d) و (θ) و (n) و (λ)، طالبًا إلى الطلبة دراسة المثال ٢ الوارد في كتاب الطالب، ومؤكّدًا على أهمية كل خطوة في الحساب. يجب على الطلبة التدرّب على العديد من الأمثلة للتأكّد من الفهم الصحيح للحيود من خلال محزوز النفاذ، وتوفر الأسئلة ١٢-١٥ الواردة في كتاب الطالب والنشاط ٧-٤ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة دعمًا مهمًا للطلبة لمفهوم الحيود والمهارات الرياضية المتعلقة به.

› **فكرة للتقويم:** يمكن للطلبة أن يصححوا أعمال بعضهم من خلال مقارنتها بعملهم وبالإجابات الصحيحة التي قدمتها لهم، وبالتالي ملاحظة أي أخطاء وشرحها من قبل الطالب الذي وجد الخطأ أولًا، ثم يصححها الطالب الذي ارتكب

الخطأ، ويجب أن تشمل إجابات الطلبة الخطوات الموضّحة في المثال ٢ الوارد في كتاب الطالب، ويجب أن لا تعطى أي درجة لهذا النشاط، بل الهدف هو أن يتعلّموا تجنّب ارتكاب الخطأ مرة أخرى.

٣ الاستقصاء العملي ٧-١: التخطيط لقياس طول موجة ليزر باستخدام محزوز الحيود (٤٠ دقيقة)

المدّة

سيستغرق هذا الاستقصاء العملي ٤٠ دقيقة.

⚠ احتياطات الأمان والسلامة

التقييم المناسب للمخاطر هو كما يأتي:

الخطر: استخدام ضوء الليزر عالي الشدة.

الضرر: حدوث ضرر للعينَين.

الاحتياطات:

- استخدم علامات تحذيرية تدل على استخدام الليزر في التجربة.
- احرص على تجنب النظر مباشرة إلى الليزر، ووجه الطلبة إلى الانتباه لذلك.
- احرص على تجنب توجيه الليزر نحو الأسطح العاكسة، ووجه الطلبة إلى الانتباه لذلك.
- يمكن استخدام نظارات الوقاية الخاصة بالليزر إذا كانت متوفرة.

التحضير للاستقصاء

يحتاج الطلبة إلى فهم النظرية التي يُستند إليها في تفسير كيف ينتج محزوز الحيود نمط تداخل على الشاشة والمعادلة التي تربط تباعد المحزوز بزوايا الحيود لكل تداخل أقصى.

يحتاج الطلبة إلى:

- التعرّف إلى أنواع المتغيّرات المختلفة والتحكّم في الكمّيات.
- القدرة على كتابة تقييم للمخاطر المرتبطة بالتجربة.
- معرفة كيفية تصميم جدول النتائج المناسب.
- القدرة على استخدام طرائق الرسم التخطيطي لتحليل النتائج.

المتغيّرات

يجب على الطلبة تحديد:

- المتغيّر التابع وهو زاوية الحيود (θ)، وبدلًا من ذلك قد يذكر الطلبة أن المسافة من التداخل الأقصى $n = 0$ إلى التداخل الأقصى (n) هي المتغيّر التابع، اعتمادًا على الطريقة المستخدمة.
- المتغيّر المستقل وهو رتبة التداخل الأقصى (n). قد يذكر الطلبة أيضًا أن عدد الخطوط لكل mm على محزوز الحيود هو المتغيّر المستقل، اعتمادًا على الطريقة المستخدمة.
- المتغيران الضابطان هما الطول الموجي للّيزر والمسافة بين محزوز الحيود والشاشة.

الطريقة

تتضمن الطريقة المقترحة ما يأتي:

- ضع إحدى محزوزات الحيود على مسافة (D) عن الشاشة، وقِس (D).
- وجّه الليزر نحو المحزوز بحيث يكون عموديًا على سطحه.
- قِس المسافة (x) بين التداخل الأقصى $n = 0$ والتداخل الأقصى $n = 1$.
- احسب زاوية الحيود θ باستخدام علم المثلثات.
- كرّر ذلك بالنسبة إلى التداخل الأقصى $n = 1$ على الجانب الآخر من نمط الحيود لحساب القيمة المتوسطة لـ θ.
- كرّر العملية لقيم (n) الأخرى.
- يمكن بعد ذلك تكرار التجربة باستخدام محزوزات مختلفة للحصول على مجموعات إضافية من البيانات.

إجابات أسئلة الاستقصاء العملي ٧-١ في كتاب التجارب العملية والأنشطة

(النتائج)

من الممكن أن يكون جدول النتائج المناسب كما يلي:

	n	D (m)	x (m)		θ (°)			sinθ
			القراءة الأولى	القراءة الثانية	القراءة الأولى	القراءة الثانية	متوسط القراءتين	
100 lines mm^{-1}								
300 lines mm^{-1}								
600 lines mm^{-1}								

أو افصل الجداول لكل محزوز حيود (علمًا بأن D لا تتغير هنا)، على سبيل المثال:

n	D (m)	x (m)		θ (°)			sinθ
		القراءة الأولى	القراءة الثانية	القراءة الأولى	القراءة الثانية	متوسط القراءتين	

(التحليل والاستنتاج والتقييم)

أ. تُعدّ هذه الخطوات بمثابة تحليل شامل للنتائج لتحديد طول الموجة.

- احسب $\sin\theta$ لكل قيمة متوسطة لـ θ تم قياسها.
- ارسم تمثيلًا بيانيًا منفصلًا لكل محزوز حيود بحيث تكون (n) على المحور السيني (x) و $\sin\theta$ على المحور الصادي (y). ارسم الخط المستقيم الأفضل ملاءمة والذي يجب أن يمر عبر نقطة الأصل.
- احسب ميل الخط المستقيم الأفضل ملاءمة.
- قارن المعادلة $d\sin\theta = n\lambda$ بالمعادلة $y = mx + c$، لتعطي $\sin\theta = \frac{\lambda}{d} \times n$. لذلك فإن ميل الخط يساوي $\lambda N = \frac{\lambda}{d}$ (حيث N = عدد الخطوط لكل متر من المحزوز).
- يمكن حساب طول الموجة بواسطة قسمة الميل على عدد الخطوط لكل متر من المحزوز.
- يمكن تكرار ذلك بالنسبة إلى محزوزات حيود أخرى، للحصول على قيم إضافية لطول الموجة، ومن ثم يمكن حساب القيمة المتوسطة.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

يمكن للطلبة الذين يحتاجون إلى المزيد من التحدي استنتاج المعادلة $d\sin\theta = n\lambda$، فشجّعهم على تقديم تفسيرات شفهية ورسم مخططات معنوَنة لتوضيح كافة العملية، بحيث يمكنهم تقدير الارتباط الوثيق بين معادلتَي شقَّي يونج ومحزوز الحيود.

الدعم

يمكن مساعدة الطلبة الذين يحتاجون إلى مزيد من الدعم من قبل الآخرين في مجموعتهم إذا تعاملوا مع بعض الحسابات؛ ومع ذلك، يجب عليك التأكّد من أن جميع الطلبة ينظرون إلى هذا الأمر على أنه طريقة إيجابية للتعلّم ولتحسين كل من الاستيعاب المفاهيمي وكذلك المهارات الرياضية.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اسأل الطلبة: هل يمكنكم مقارنة استخدام محزوز الحيود لتحديد الطول الموجي لضوء أحادي اللون مع تجربة الشق المزدوج ليونج؟ اكتبوا إجاباتكم في قائمة من عدة نقاط.
- اسأل الطلبة: بعد دراسة محزوزات الحيود، ما الشيء الذي قد تحتاجون فيه إلى مزيد من المساعدة؟

الموضوع ٧-٦: الموجات المستقرة

الأهداف التعليمية

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

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذا الموضوع حصة دراسية واحدة (٤٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٦-٧ الموجات المستقرة	• توضح كيفية تكوين الموجات المستقرة وسبب عدم نقل هذا النوع من الموجات للطاقة كما في الموجات المسافرة.
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٥-٧ كيف يؤدي مبدأ تراكب الموجات إلى موجات مستقرة	• تدرّب أسئلة النشاط ٥-٧ الطلبة على استخدام التمثيلات البيانية للموجات المستقرة وتطبيق مبدأ تراكب الموجات.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- يخلط بعض الطلبة بين الموجات المسافرة والموجات المستقرة (الواقفة)، لذا ارجع إلى عرض الموجات على طول الزنبرك المرن لتوضيح أن الموجة المسافرة تنتقل على طول الزنبرك حتى تصل إلى النهاية الثابتة له حيث تنعكس عائدة بعد ذلك، في حين تتداخل الموجتان المسافرتان فتشكّلان موجة مستقرة. يجب على الطلبة ملاحظة أن الموجة المستقرة تتكوّن عندما تتراكب موجتان مسافرتان لهما السعة وطول الموجة نفساهما، وتنتقلان باتجاهَين متعاكسَين.
- غالبًا ما يعتقد الطلبة أنه لا يوجد تغيير في الطور عندما تنعكس موجة مسافرة عن حاجز، وضّح لهم أن هناك تغيرًا في الطور في حالة الزنبرك المرن مقداره (180°) عندما تصل موجة مسافرة تتحرك على طوله إلى نهايته الثابتة، ووفقًا للقانون الثالث لنيوتن في الحركة، تشكل القوى المهتزة عند الطرف الثابت للزنبرك زوج قوى قانون نيوتن الثالث ما يتسبب بعودة الموجة على طول الزنبرك بفرق طور مقداره (180°). ومع ذلك فإذا كانت نهاية الزنبرك الثابتة مربوطة بحلقة يمكنها الانزلاق من دون احتكاك على ساق إلى الأعلى وإلى الأسفل، فإن الموجة المسافرة تنعكس عندئذٍ من دون أن تنقلب؛ وعليه لا يوجد حينها تغيير في الطور.

أنشطة تمهيدية

يستخدم الطلبة معرفتهم السابقة بمبدأ تراكب الموجات لفهم الشرط الأساسي لتكوين الموجات المستقرة (الواقفة)، فيرسمون مخططات دقيقة على ورق رسم بياني ليبيّنوا بوضوح كيف تتّحد الموجات المسافرة لتشكّل تداخلًا بنّاء وتداخلًا هدّامًا في لحظات زمنية مختلفة، كما يستخدمون معرفتهم السابقة بالإزاحة والسعة للوصول إلى معرفة حول العُقد والبطون. يحتاج الطلبة إلى تقوية المهارات العملية من خلال تحديد تردد الموجات الميكروية أيضًا.

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

فكرة أ (١٥ دقيقة)

- اعرض مقطع فيديو أو صورة فوتوغرافية لتدمير جسر تاكوما نارو في أكتوبر 1940م، واطلب إلى الطلبة العمل في مجموعات مكوّنة من ثلاثة طلبة لمناقشة كيف انهار الجسر. يمكن للطلبة أيضًا استخدام الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) للبحث عن العوامل التي يجب على المهندسين الإنشائيين مراعاتها عند تصميم الجسور، ويمكن بعد ذلك دعوة كل مجموعة لمشاركة أفكارها مع المجموعات الأخرى أمام طلبة الصف.

› **فكرة للتقويم:** تجوّل بين الطلبة في الصف لتطوّر فهمًا عن قدراتهم على استخدام المعرفة السابقة للموجات المسافرة، طارحًا أسئلة توسّع فيها الربط بين مفهومَي تراكب الموجات والموجات المستقرة، كمقدمة للموضوع.

فكرة ب (١٥ دقيقة)

- اطلب إلى الطلبة كتابة بعض الملاحظات حول مبدأ تراكب الموجات، بحيث يمكنهم استخدام المخططات أو التمثيلات البيانية لإظهار فهم تراكب الموجات، ثم يقوم كل منهم بمقارنة ملاحظاته مع زميله، وذلك للتحقّق من مدى جودة أعمالهم، ليقوم بعدها بعض الطلبة بتصحيح أعمال بعضهم الآخر ووضع علامات عليها، على أن يقدموا تفسيرات واضحة حول أي أخطاء قد ترد، ويشرحوا بالتفصيل أي نقص في التفسيرات، ويمكن للطلبة بعد ذلك الرجوع إلى كتاب الطالب للحصول على التفسيرات الصحيحة.

› **فكرة للتقويم:** يجب أن يكون جميع الطلبة قادرين على كتابة عبارة صحيحة عن مبدأ تراكب الموجات باستخدام المصطلحات العلمية مثل الإزاحة، وجمع المتجهات، والموجة المحصلة، وغيرها، ويمكنك معالجة أي مفاهيم خاطئة لدى الطلبة خلال ذلك.

الأنشطة الرئيسية

١ تشكيل الموجات المستقرة (الموجات الواقفة) (٤٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** ثبّت أحد طرفَي زنبرك بإحكام، ثم حرّك الطرف الآخر من جانب إلى آخر بحيث تنتقل الموجات المستعرضة على طول الزنبرك وتنعكس عند الطرف الثابت، لإنتاج أنماط موجية مستقرة مختلفة اعتمادًا على تردد الاهتزاز.

- اعرض تكوين موجات مستقرة في زنبرك مرن أو حبل طويل، على أن يلاحظ الطلبة بعناية أشكال الأنماط عندما تقوم بضبط تردد الاهتزاز، ويجب أن تكون قادرًا على تحقيق نمط مستقر، مثل الصورة ٧–٨ الواردة في كتاب الطالب، وعلى الطلبة تحديد العُقد والبطون، كما عليهم أن يلاحظوا أن هناك نقاطًا لا تتحرك، فاطلب إليهم أن يرسموا، في مجموعات صغيرة وعلى ورق رسم بياني، لقطات سريعة للمواقع النسبية للموجتَين المسافرتَين في عدة مراحل من التداخل، بحيث يستخدمون مبدأ تراكب الموجات للحصول على الموجة المحصلة في كل حالة، مثل الشكل ٧–٢٣ الوارد في كتاب الطالب.

› **فكرة للتقويم:** استخدم الأسئلة الموجّهة المباشرة للتأكّد من فهم الطلبة للشروط الأساسية لتكوين الموجات المستقرة. يجب على الطلبة رسم مخططات دقيقة تبيّن بوضوح كيف تتحد الموجات لتشكّل تداخلًا بنّاء وتداخلًا هدّامًا في لحظات زمنية مختلفة.

سؤال مفصلي: اذكر سمتَين للموجة المستقرة تميّزانها عن الموجة المسافرة.

(الإجابة: الموجة المستقرة لا تنقل الطاقة، بل تتكوّن من موجتَين مسافرتَين تنقلان الطاقة في اتجاهَين متعاكسَين، وبالتالي فإن الموجة المستقرة نفسها لا تنقل أي طاقة. علاوة على ذلك، فإن سعة الاهتزازة تختلف على امتداد طولها؛ **فالنقاط المتجاورة في الحلقة بين العقد تهتز بالطور نفسه**).

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

إذا كانت هناك حاجة إلى مزيد من التحدي، فاطلب إلى الطلبة نمذجة تكوين الموجات المستقرة باستخدام جدول بيانات مثل برنامج (Excel) الذي يساعد على استيعاب الطلبة للمفهوم، كما يعزّز أهمية استخدام تكنولوجيا المعلومات كأداة لنمذجة الظواهر الفيزيائية.

الدعم

قد يحتاج بعض الطلبة إلى التذكير بالأفكار الأساسية المتعلقة بتراكب الموجات، على سبيل المثال الظروف اللازمة للحصول على تداخل بنّاء وتداخل هدّام.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها
• اسأل الطلبة: ما أوجه التشابه وأوجه الاختلاف بين الموجات المستقرة والموجات المسافرة؟

الموضوع ٧-٧: المزيد عن الموجات المستقرة

الأهداف التعليمية

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

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

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذا الموضوع ٥ حصص دراسية (٣ ساعات و ٢٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٧-٧ المزيد عن الموجات المستقرة	• الأسئلة من ١٦ إلى ٢١
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٧-٦ استخدام أنماط الموجات المستقرة نشاط ٧-٧ استخدام المصطلحات الصحيحة لشرح الموجات المستقرة نشاط ٧-٨ تخطيط التجارب على الموجات المستقرة الاستقصاء العملي ٧-٢: الموجات المستقرة على سلك يحمل تيارًا كهربائيًا	• تساعد أسئلة النشاط ٧-٦ الطلبة على استخدام أنماط الموجات المستقرة لحساب الأطوال الموجية والترددات والسرعة. • تمنح أسئلة النشاط ٧-٧ الطلبة القدرة على استخدام مصطلحات بشكل صحيح مثل السعة والطور وإجراء المقارنات. • تمنح أسئلة النشاط ٧-٨ الطلبة القدرة على وصف التجارب والتخطيط لها حيث يحتاجون إلى ممارسة ومهارة ذهنية، كما يتضمن هذا النشاط عددًا من الأساليب المنظمة للتجارب التي تتضمن موجات مستقرة. • سوف يساعد الاستقصاء العملي في إيجاد العلاقة بين قوة الشد في السلك والطول الموجي لموجة مستقرة.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- غالبًا ما يرتبك الطلبة من فكرة أن العقدة تتشكّل في نهاية الوتر المتصل بجسم مهتز في تجربة ميلد، لذا يجب التأكيد على أن الطرف المتصل بالجسم المهتز لا يمكن أن يتحرك إلا بمقدار صغير جدًا، ولذلك يُعدّ بمثابة عقدة لتسهيل الحساب.
- يعتقد الطلبة أحيانًا أن طول الموجة في الأوتار المشدودة قد يأخذ قيمًا متصلة (مستمرة)، لذا استخدم العرض التوضيحي في النشاط الرئيسي الأول لمساعدتهم على فهم العلاقة بين طول الوتر والأطوال الموجية للموجات المسافرة، وذكّرهم بأن قيمًا معيّنة فقط للطول الموجي هي الممكنة، وهذه الأطوال الموجية المسموح بها مكمّاة (لها مقادير محدّدة)، وغالبًا ما يستخدم علماء الرياضيات عبارة «قيم ذاتية» أو «مجموعة ذاتية» عند الإشارة إلى عائلة من الأطوال الموجية المكمّاة.

أنشطة تمهيدية

يمكنك استخدام المعرفة السابقة للطلبة حول تكوين الموجات المستقرة لمساعدتهم في فهم كيفية تكوين الموجات المستقرة في الأوتار المشدودة. من المهم أن يدرك الطلبة أن الموجات تنعكس عند الأطراف الثابتة، حيث هناك موجتان مسافرتان تنتقلان في اتجاهَين متعاكسَين.

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

فكرة أ (١٥ دقيقة)

- يمكن إعطاء الطلبة نشاطًا سريعًا يتعيّن عليهم فيه:
  - شرح كيف تتكوّن الموجة المستقرة بإيجاز.
  - تعريف مصطلحَي العُقد والبطون.
  - إعطاء المسافة الفاصلة بين عقدتَين متجاورتَين أو بطنَين متجاورَين، والمسافة الفاصلة بين عقدة وبطن متجاورَين بدلالة الطول الموجي للموجة.

› **أفكار للتقويم:** يمكنك تقويم المعرفة السابقة من خلال شرح الطلبة، وقد يكون من المفيد إعادة النظر في مفهوم الموجات المستقرة وتوضيح أي مفاهيم خاطئة لدى الطلبة.

فكرة ب (١٥ دقيقة)

- يعمل الطلبة مع زملائهم لتلخيص بعض الخصائص الرئيسية للموجة المسافرة والموجة المستقرة الناتجة عنها، بحيث يجب عليهم كتابة أكبر عدد ممكن من الخصائص التي قد تشمل طول الموجة، والتردد، والسرعة، والطاقة المنقولة، وغيرها، لذلك شجّعهم على كتابة الخصائص في جدول لتسهيل المقارنة، ليتمكّنوا بعد ذلك من الرجوع إلى ملاحظاتهم أو إلى كتاب الطالب للتأكّد من إجاباتهم.

› **فكرة للتقويم:** تجوّل في الصف لملاحظة تطوّر فهم الطلبة لقدراتهم على سرد الخصائص الرئيسية، واطرح أسئلة إضافية للتأكّد من أنهم يظهرون فهمًا واضحًا لأوجه التشابه وأوجه الاختلاف بين الموجات المسافرة والمستقرة.

الأنشطة الرئيسية

١ الموجات المستقرة على الأوتار (٤٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** إذا كانت حركة الوتر غير واضحة، فاستخدم الومّاض (stroboscope)، واضبط تردده حتى يظهر الوتر مستقرًا.

> **⚠ احتياطات الأمان والسلامة**
>
> - قد يعاني بعض الطلبة صرعًا ناتجًا عن الصور (photo-induced epilepsy)، وبالتالي فمن المهم أن يتحقق المعلم من هذا الأمر قبل البدء باستخدام الومّاض.

- استخدم وترًا مطاطيًا أو خيطًا مشدودًا يمر فوق بكرة بحيث يتصل جسم مهتز بأحد طرفَي الوتر وتعلّق كتلة بالطرف الآخر الذي يتدلى من فوق البكرة لتوضيح تكوين الموجات المستقرة. هذه هي تجربة ميلد حيث تحدث الموجات المستقرة عند ترددات محدّدة من الاهتزاز. اطلب إلى الطلبة ملاحظة مجموعة الحلقات في الوتر في أثناء ضبط تردد الاهتزاز ووصفها، ثم العمل مع زملائهم لرسم الموجات الثلاثة الأولى، وحساب الأطوال الموجية المقابلة لها، بحيث يسمح لهم برؤية النمط الناشئ رياضيًا، مشجّعًا الجميع على المشاركة في المناقشة. واكتب معادلات الأطوال الموجية والترددات على السبورة. وإذا لم تتوفر الأدوات فاعرض مقطع فيديو لموسيقي يعزف على آلة وترية مثل الجيتار أو الكمان، مستخدمًا الصورة ٧–٩ الواردة في كتاب الطالب في الشرح. يجب على الطلبة طرح أسئلة في أثناء التقدم في الشرح.

› **فكرة للتقويم:** تأكّد من أن الطلبة يفهمون أن العُقد بالنسبة إلى الموجات المستقرة على الأوتار توجد في نهايات الأوتار، في حين يمكن الحصول على البطون على طول الوتر. يجب أن يكون الطلبة قادرين على تحديد العقد والبطون عندما يتم تكوين موجات مستقرة مختلفة على الوتر عبر تغيير تردد الاهتزاز. وينبغي أن يكونوا قادرين على استخدامها ليجدوا الأطوال الموجية للموجات المختلفة.

٢ تحديد تردد الموجات الميكروية في المختبر (ساعة واحدة)

› **إرشادات عملية:** حرك المسبار ببطء على طول الخط المباشر من جهاز إرسال الموجات الميكروية إلى اللوح العاكس للحصول على المواضع ذات الشدة المنخفضة والعالية (العُقد والبطون).

- يجب على الطلبة من أجل تنمية قدراتهم العملية تنفيذ تجربة لتحديد تردد الموجات الميكروية باستخدام الموجات المستقرة؛ على سبيل المثال، «المهارة العملية ٧–٥: الموجات الميكروية» الواردة في كتاب الطالب، واطلب إليهم أن يناقشوا مع زملائهم أي أسباب للأخطاء العشوائية والنظامية، وأن يقترحوا تحسينات على التجربة. وإذا لم تكن الأدوات متوفرة، فإن البحث في الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) عن مقاطع فيديو يمكن أن يوفر أمثلة لعرضها عليهم، ولإمكانية إجراء القياسات في بعض المقاطع. يقدم السؤالان ١٨ و ٢٠ الواردان في كتاب الطالب أمثلة للطلبة لتعزيز فهمهم للإعدادات التجريبية المختلفة لإنتاج موجات مستقرة.

› **فكرة للتقويم:** يجب أن يفهم الطلبة كيف تتشكّل الموجات المستقرة من إعدادات التجربة، وعليهم تكرار القياسات، ثم حساب قيمة عدم اليقين المرتبط بتردد الموجات الميكروية باستخدام معادلة الموجة ($c = f\lambda$).

٣ مسائل تدريبية (٤٠ دقيقة)

- أعطِ الطلبة المزيد من الأمثلة التدريبية المتعلقة بالموجات المستقرة. يعدّ هذا الأمر جيدًا لترسيخ الاستيعاب المفاهيمي للطلبة حول تكوين الموجات المستقرة في الآلات الوترية، كما أنه يعزّز المهارات الرياضية الأساسية. يقدّم السؤال ١٧ الوارد في كتاب الطالب، والأنشطة ٧–٦ و ٧–٧ و ٧–٨ الواردة في كتاب التجارب العملية والأنشطة أمثلة على ذلك.

› **فكرة للتقويم:** استخدم نتائج حسابات الطلبة لتقويم ما إذا كانوا قد فهموا كيفية تحديد العقد والبطون عندما يتم تكوين موجات مستقرة وتطبيقها في حالات مختلفة، بحيث يمكن للطلبة أن يعمد بعضهم إلى تصحيح أعمال بعضهم الآخر ووضع درجات عليها، ثم تقديم تفسيرات واضحة حول أي أخطاء وتفصيل أي نقص في التفسير، وبعد ذلك يمكنك تقديم إجابات للتأكّد من صحة أعمالهم.

٤ تشكيل موجات مستقرة في أنبوب الرنين (٤٠ دقيقة)

- وضّح كيف تتكوّن الموجة المستقرة في عمود هوائي مغلق من أحد طرفَيه، مستخدمًا أنبوبًا زجاجيًا مفتوحًا من كِلا الطرفَين. وثبّته بحيث يُغمس أحد طرفَيه في مخبار به ماء، كما في الشكل ٧–٢٧ . أمسك شوكة رنانة تهتز فوق الطرف المفتوح لتسبب اهتزازًا في عمود الهواء، واطلب إلى الطلبة الاستماع إلى ارتفاع صوت النغمة في أثناء ضبط طول عمود الهواء، مشجّعًا الجميع على المشاركة في المناقشة، وعندئذٍ تعمد إلى تفسير ظاهرة الرنين. يرسم الطلبة أنماط الموجات في مجموعات صغيرة، ويستنتجون المعادلات الخاصة بترددات بعض أنماط الاهتزاز لعمود الهواء، بحيث يمكنهم بعد ذلك أن يناقشوا مع زملائهم ما يحدث عندما يكون الأنبوب مفتوحًا من كلا الطرفَين. يقدم الشكل ٧–٣٠ (أ) و (ب) الوارد في كتاب الطالب أمثلة على نمط الموجات الذي تنتجه الأنابيب ذات النهاية الواحدة المغلقة والأنابيب ذات النهايتَين المفتوحتَين على التوالي، وإذا لم تكن الأدوات متوفرة فإن البحث في الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) عن مقاطع فيديو حول «أنبوب الرنين (resonance tube)» أو «أنبوب غبار كونت (Kundt's dust tube)» قد يوفر أمثلة للطلبة لمشاهدتها، كما يمكنك أيضًا استخدام الشكلَين ٧–٢٨ و ٧–٢٩ الواردَين في كتاب الطالب لتوضيح أنماط الموجات الممكنة للهواء في أنبوب مغلق من أحد طرفيه (ملاحظة: مصطلحات أوضاع الاهتزاز غير مطلوبة في المنهج الدراسي).

› **فكرة للتقويم:** يجب أن يفهم الطلبة أن المبدأ هو نفسه بالنسبة إلى الوتر المشدود، ولكن يتشكّل بطن في الجزء العلوي من الأنبوب مع عقدة تتشكل عند النهاية المغلقة.

٥ الاستقصاء العملي ٧–٢: الموجات المستقرة على سلك يحمل تيارًا كهربائيًا (ساعة واحدة)

تمّت مناقشة تشكيل الموجات المستقرة على سلك في هذه الوحدة من كتاب الطالب. في هذا الاستقصاء يتم وضع السلك في مجال مغناطيسي وجعله يهتز عن طريق تمرير تيار كهربائي متردد خلاله حيث يكون تردد الاهتزاز هو نفسه تردد التيار الكهربائي لمصدر الجهد الكهربائي. ستستقصي في التجربة العلاقة بين قوة الشد في السلك والطول الموجي للموجة المستقرة.

المدّة

سيستغرق الاستقصاء العملي وحل أسئلة التحليل والتقييم ٦٠ دقيقة.

ستحتاج إلى

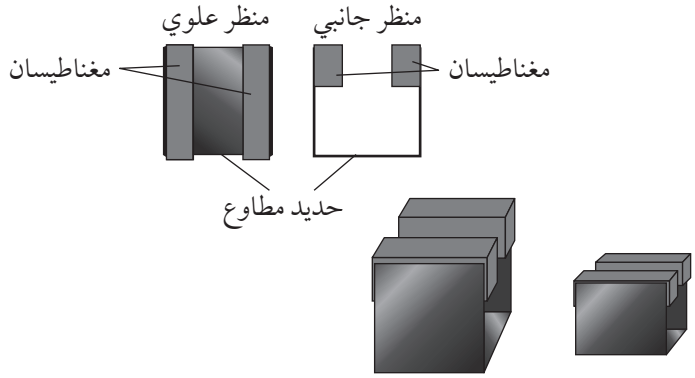
الموادّ والأدوات	
• بكرة لتثبيتها على حافة المنضدة. • سلك طوله (1.2 m) مثبّت من أحد طرفَيه على المنضدة. • منشور ثلاثي (زجاج أو خشب) بارتفاع يكفي لملامسة السلك عند أي موضع من طوله. • مغناطيسا ماجنادور وحامل من الحديد المطاوع على شكل U (انظر الشكل ٧-١). • مصدر تيار كهربائي متردد ذو فرق جهد (2 V). اكتب قيمة تردد المصدر بوضوح أعلى مصدر التيار.	• سلكان موصلان، كل منهما به مشبك في أحد طرفَيه. • حامل كتل (100 g). • كتلتان مشقوقتان (100 g) وكتلة مشقوقة (50 g). • مسطرة مترية مدرجة بالملّيمتر. • بطاقة من ورق A4 داكن اللون. • انظر الشكل ٧-٢٣ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة من أجل ترتيب الأدوات جزئيًا للطلبة. ثبّت السلك بين الكتلتَين الخشبيتَين، وأحكم ربط حامل الكتلة بالطرف الآخر من السلك.

⚠ احتياطات الأمان والسلامة

- ضع نظارات واقية عندما يكون السلك مشدودًا.
- لا توجد مشكلة تتعلق بالسلامة في الإمداد الكهربائي ذي الجهد الكهربائي المنخفض جدًا.

التحضير للاستقصاء

- يُعِدّ الطلبة في هذا الاستقصاء موجة مستقرة في سلك، بحيث يجعل السلك يهتز بواسطة وضعه في مجال مغناطيسي وتمرير تيار كهربائي متردد خلاله.
- يثبّت تردد التيار المتردد على تردد مصدر الجهد الكهربائي، لكن يمكن للطلبة تغيير قوة الشد في السلك لتغيير الطول الموجي للموجة المستقرة.
- يتم توليد المجال المغناطيسي بواسطة مغناطيسَين من نوع ماجنادور (Magnadur) متصلَين بحامل من الحديد المطاوع على شكل U، كما هو مبيّن في الشكل ٧-١.



الشكل ٧-١

توجيهات حول الاستقصاء

- قد يؤدي ضعف التوصيل بين المشبك وسلك الكونستنتان إلى اهتزازات ضعيفة يصعب ملاحظتها. وعادةً ما يؤدي الضغط على فكّي المقطع معًا إلى علاج هذه المشكلة.
- في الخطوة ٨، قد يقوم الطلبة بتحريك موضع المنشور بسرعة كبيرة جدًا عند البحث عن الموجة المستقرة، لذا يجب عليهم أن يفهموا أن السعة تستغرق زمنًا لتتكوّن عند طول مناسب للرنين.
- سوف تحتاج إلى تذكير بعض الطلبة بإدراج الكمية والوحدة الصحيحة لعناوين الأعمدة في جميع جداولهم.
- إذا أكمل بعض الطلبة المهمة بسرعة، فقد تطلب إليهم كتابة وصف خطوات أبسط بكثير للحصول على قيمة μ للسلك.

أنموذج نتائج

تردد المصدر:

$f = 50$ Hz

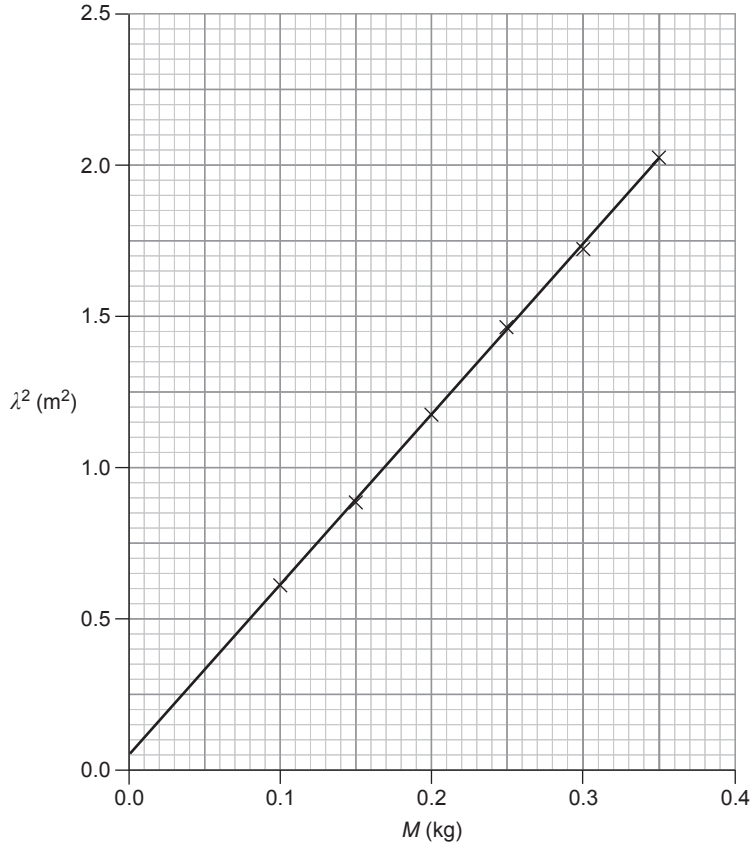
λ^2 (m^2)	λ (m)	L (m)	M (kg)
0.612	0.782	0.391	0.100
0.887	0.942	0.471	0.150
1.175	1.084	0.542	0.200
1.469	1.212	0.606	0.250
1.727	1.314	0.657	0.300
2.028	1.424	0.712	0.350

الجدول ٧-١: أنموذج نتائج للاستقصاء العملي ٧-٢.

إجابات أسئلة الاستقصاء العملي ٧-٢ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة (باستخدام أنموذج النتائج)

أ، ب. انظر الجدول ٧-١ (الجزء المظلل).

ج، د. انظر الشكل ٧-٢.



الشكل ٧-٢

هـ. الميل:

$$= \frac{2.02 - 0.05}{0.35 - 0.00} = 5.63$$

نقطة التقاطع = 0.05

و. يقوم عازف الجيتار بتغيير طول الموجة بواسطة الضغط باستمرار على الوتر. يتم تغيير الطول الموجي على الوتر عبر تغيير مكان المنشور على مسافات مختلفة من نهايته.

ز. $\mu = \frac{g}{\text{الميل} \times f^2} = \frac{9.81}{5.63 \times 50^2} = 6.97 \times 10^{-4}\ \text{kg m}^{-1}$

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدي

إذا كانت هناك حاجة إلى مزيد من التحدي، فاطلب إلى الطلبة بحث بعض تطبيقات الموجات المستقرة وشرحها؛ على سبيل المثال، أنبوب لهب روبنز (Rubens tube)، وأشكال متنوعة باستخدام لوح كلادني (Chladni plate experiment)، وغيرها. يمكن للطلبة بعد ذلك عمل ملصقات بذلك، وعرض ما وجدوه أمام طلبة الصف.

الدعم

- قد يحتاج الطلبة إلى مزيد من الدعم لرسم لقطات للموجة المحصلة الناتجة عندما تلتقي موجتان مسافرتان على طول زنبرك مرن بدقة، فمن الأفضل لهم أن يرسموا المواضع النسبية للموجات المسافرة على فترات زمنية مختلفة؛ على سبيل المثال، عندما: $t = 0$ و $t = \frac{T}{4}$ و $t = \frac{T}{2}$ و $t = \frac{3T}{4}$ و $t = T$، يمكنهم أيضًا استخدام ألوان مختلفة لتوضيح كيفية تداخل الموجات لتشكّل تداخلًا بنّاء وتداخلًا هدّامًا لإنتاج موجة مستقرة.
- من المحتمل أن يجد بعض الطلبة صعوبة في فهم تكوين الموجات المستقرة في الأوتار المشدودة، كما يمكنهم تفسير انعكاس الموجات المسافرة على الأوتار المشدودة باستخدام القانون الثالث لنيوتن. وقد تمّت مناقشة هذا الأمر في الموضوع السابق، لذا ذكّر الطلبة بأن العُقد تتشكل دائمًا عند النهايات الثابتة للوتر المشدود، في حين تتشكّل البطون على طول الوتر.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اسأل الطلبة: هل يمكنكم استخدام ترتيب مماثل لذلك المستخدم في المهارة العملية على الموجات الميكروية من أجل قياس سرعة الصوت في الهواء؟ ولماذا؟

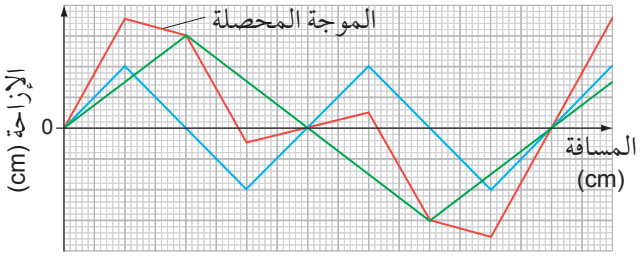
إجابات كتاب الطالب

العلوم ضمن سياقها

- هناك عدد من الوظائف وأماكن عمل تحدث فيها ضوضاء مستمرة بأصوات صاخبة عالية الخطورة؛ على سبيل المثال، مواقع البناء والمصانع والعمل بالمركبات ذات الضجيج العالي.
- مستويات الصوت التي تُعدّ عالية الخطورة تكون في المدى 85 ديسيبل وأكثر.
- أصبحت سماعات إلغاء الضجيج مألوفة جدًا للمسافرين خصوصًا الذين يركبون الطائرات لمسافات طويلة، حيث إن قلة الضوضاء تعمل على تحسين نوعية نوم الركاب. لقد تمّت تجربة سماعات إلغاء الضجيج في وحدة العناية المركّزة أيضًا، حيث يكون للنوم المضطرب تأثير سلبي على طول فترة شفاء المرضى، وقد ثبت أن سماعات إلغاء الضجيج (مع الضوء الخافت) تساعد في علاج ذلك. ربما لا تحتاج إلى استخدام سماعات إلغاء الضجيج في الحالات التي لا يكون فيها سماع الأصوات من حولك أمرًا خطِرًا. على سبيل المثال، عند ركوب الدراجة على الطريق العام.

إجابات أسئلة موضوعات الوحدة

١.

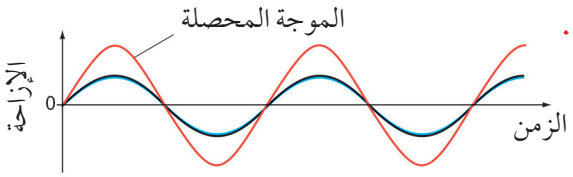


٢. لأن عرض الفجوات في الشبكة الفلزية لباب الفرن أصغر بكثير من الطول الموجي للموجات الميكروية، لذلك لا تنفذ من خلالها الموجات الميكروية، وبالمقابل فإن الطول الموجي للضوء أصغر بكثير من عرض تلك الفجوات، لذلك فهو يمر من خلالها من دون أن يتأثر، الأمر الذي يسمح لنا برؤية الطعام الموجود بداخل الفرن.

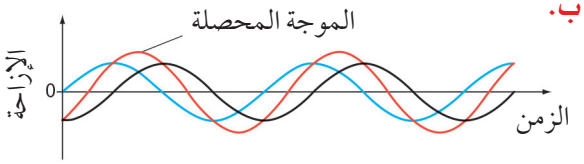
٣. قد يبدأ مكبرا الصوت المختلفان قليلًا في التردد بالكيفية نفسها (الطور نفسه)، ولكن سرعان ما سيختلف الطور بينهما، فتراكب الموجتَين في نقطة معيّنة يشكّل تداخلًا بنّاءً في البداية، ولكنه بعد ذلك يصبح هدّامًا، لأنه لا يمكن أن يكون هناك نمط ثابت للتداخل بينهما.

٤. ستزداد الشدة (لأنه لم يعد هناك تداخل هدام).

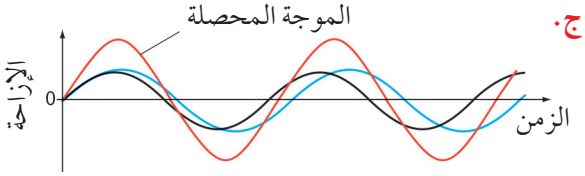
٥. أ.



ب.



ج.



٦. D: هدب معتم لأن الأشعة من الشق 1 والشق 2 لهما فرق مسار مقداره $1\frac{1}{2}\lambda$

E: هدب مضيء لأن الأشعة من الشق 1 والشق 2 لهما فرق مسار مقداره 2λ

٧. طول الموجة (λ) والمسافة (a) الفاصلة بين الشقَّين تبقى ثابتة كما هي.

لكن $x \propto D$، لذلك مضاعفة (D) تعني بالضرورة مضاعفة (x).

لذلك ستكون المسافة الفاصلة بين هدبَين متجاورَين (3.0 mm).

٨. أ. $x = \frac{\lambda D}{a}$ لذلك $x \propto \frac{1}{a}$، وبالتالي تقليل (a) يزيد (x).

ب. الضوء الأزرق له طول موجة أقصر.
$x \propto \lambda$، لذلك (x) تقل.

ج. يتناسب (x) طرديًا مع (D)، فعندما تكون (D) أكبر تكون (x) أكبر، لذلك تكون النسبة المئوية لعدم اليقين في (x) أقل.

٩. بإعادة ترتيب المعادلة $\lambda = \frac{ax}{D}$ نحصل على:

$$x = \frac{\lambda D}{a} = \frac{589 \times 10^{-9} \times 1.20}{0.0002} = 3.5 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

١٠. D و a قيم ثابتة، لذلك $x \propto \lambda$

المسافة الجديدة الفاصلة بين الأهداب:

$$= \frac{4.5 \times 10^{-7}}{6.0 \times 10^{-7}} \times 2.4 = 1.8\ \text{mm}$$

(أو طول الموجة للضوء الأزرق يساوي $\frac{3}{4}$ طول موجة الضوء الأحمر، لذلك، فإن المسافة الفاصلة بين الأهداب في حالة الضوء الأزرق هي $\frac{3}{4}$ المسافة السابقة الفاصلة بين الأهداب للضوء الأحمر).

١١. من أجل التداخل الأقصى من الرتبة الثانية، فإن الأشعة من الشقَّين يكون بينها فرق مسار مقداره 2λ، لذلك فهما في الطور نفسه.

(ملاحظة: تكون الزاوية التي يلاحظ عندها التداخل الأقصى من الرتبة الثانية أكبر منها في حالة التداخل الأقصى من الرتبة الأولى، لأن فرق المسار بين الأشعة المتجاورة أكبر: 2λ بدلًا من λ).

١٢. أ. بإعادة ترتيب $d \sin\theta = n\lambda$، لتصبح:

$$\sin\theta = \frac{n\lambda}{d} = \frac{2 \times 580 \times 10^{-9}}{3.33 \times 10^{-6}} = 0.348$$

$$\theta = 20.4°$$

ب. لـ $n = 3$ ، $\sin\theta = 0.522$ ، أي أن:

$$\theta = 31.5°$$

لـ $n = 4$ ، $\sin\theta = 0.697$ ، أي أن:

$$\theta = 44.2°$$

لـ $n = 5$ ، $\sin\theta = 0.871$ ، أي أن:

$$\theta = 60.6°$$

لا يمكنك الحصول على $\sin\theta > 1$، لذلك يوجد 11 تداخلًا أقصى، أي التداخل الأقصى ذو الرتبة الصفرية وخمسة على كل من جانبَيه.

١٣. أ. تزداد θ، لذلك يزداد انتشار التداخل الأقصى، وقد يكون هناك عدد أقل من التداخلات (لاحظ أن: $\sin\theta \propto \lambda$).

ب. تنقص d، لذلك تزداد θ مرة أخرى، فيزداد انتشار التداخل الأقصى، وقد يكون هناك عدد أقل من التداخلات (لاحظ أن: $\sin\theta \propto \frac{1}{d}$).

١٤. أ. بواسطة الحساب، استخدم $\lambda = \frac{ax}{D}$، ستكون المسافة الفاصلة بين الأهداب المتجاورة:

$$x = \frac{\lambda D}{a} = \frac{546 \times 10^{-9} \times 0.80}{0.50 \times 10^{-3}} = 8.7 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

$$= 0.87\ \text{mm}$$

لذلك سيكون عرض الأهداب يساوي 8.7 mm، ولكن باستخدام مسطرة مليمترية (mm) سيقيس الطالب 9 mm

ب. المسافة الفاصلة بين الخطوط المتجاورة في المحزوز:

$$d = \frac{1}{3000}\ \text{cm} = 3.33 \times 10^{-6}\ \text{m}$$

بواسطة الحساب، وبإعادة ترتيب $d \sin\theta = n\lambda$، لذلك فإن:

$$\sin\theta = \frac{n\lambda}{d} = \frac{2 \times 546 \times 10^{-9}}{3.33 \times 10^{-6}} = 0.328$$

$$\theta = 19.1°$$

(أو 38.2° إذا قيست بين التداخلين الأقصيين ذوَي الرتبة الثانية).

ج. بالنسبة إلى تجربة الشق المزدوج سيكون قياس عرض الـ 10 أهداب (9 mm)، وهذا يعطي طول موجة مقداره (562 nm).

سيعطي قياس التداخل الأقصى ذي الرتبة الثانية لتجربة محزوز الحيود زاوية 19° بطول موجة 543 nm. لذلك طريقة محزوز الحيود هي أكثر ضبطًا من الشق المزدوج. وعمليًا فهي تعطي نتائج أكثر دقة، لأن الأهداب المضيئة أكثر سطوعًا وحدّة (واضحة بالتحديد).

١٥. أ. بالنسبة إلى الضوء الأحمر، وبإعادة ترتيب المعادلة $d \sin\theta = n\lambda$، فإن:

$$\sin\theta = \frac{n\lambda}{d} = \frac{1 \times 700 \times 10^{-9}}{2.00 \times 10^{-6}} = 0.350$$

$$\theta_{red} = 20.5°$$

بالنسبة إلى الضوء البنفسجي، وبإعادة ترتيب المعادلة $d \sin\theta = n\lambda$، فإن:

$$\sin\theta = \frac{n\lambda}{d} = \frac{1 \times 400 \times 10^{-9}}{2.00 \times 10^{-6}} = 0.200$$

$$\theta_{violet} = 11.5°$$

أي أن الزاوية الفاصلة بينهما:

$$= 20.5° - 11.5° = 9.0°$$

ب. ينحرف التداخل الأقصى للضوء البنفسجي ذو الرتبة الثالثة بزاوية:

$$\sin\theta_{violet} = \frac{n\lambda}{d} = \frac{3 \times 400 \times 10^{-9}}{2.00 \times 10^{-6}} = 0.6$$

$$\theta_{violet} = 36.87°$$

ينحرف التداخل الأقصى للضوء الأحمر ذو الرتبة الثانية بزاوية:

$$\sin\theta_{red} = \frac{n\lambda}{d} = \frac{2 \times 700 \times 10^{-9}}{2.00 \times 10^{-6}} = 0.7$$

$$\theta_{red} = 44.43°$$

$$\theta_{red} > \theta_{violet}$$

لذلك ينحرف التداخل الأقصى للضوء البنفسجي ذو الرتبة الثالثة بزاوية أصغر من التداخل الأقصى للضوء الأحمر ذي الرتبة الثانية، وبالتالي يتداخل طيفا الرتبة الثانية والثالثة.

١٦. أ. الطول الموجي للموجة المسافرة = 2 × المسافة بين عقدتَين متجاورتَين:

$$= 25 \times 2 = 50 \text{ cm}$$

ب. المسافة من العقدة إلى البطن المجاور لها = 0.5 × المسافة بين عقدتين متجاورتَين:

$$= 25 \times 0.5 = 12.5 \text{ cm}$$

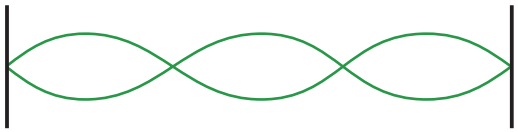
١٧. أ. طول الموجة الكامل مبيّن في الشكل أدناه

لذلك طول الموجة = 60 cm

المسافة الفاصلة بين بطنَين متجاورَين:

$$= \frac{\lambda}{2} = 30 \text{ cm}$$

ب. ١.



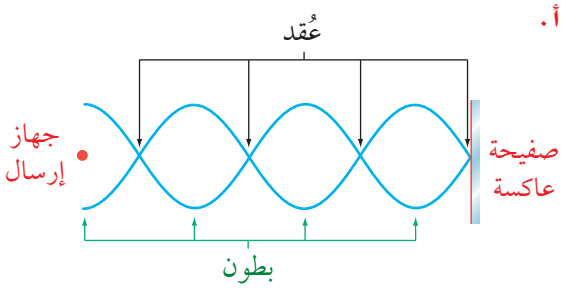
٢. طول الوتر = 60 cm، لذلك لإنتاج ثلاثة بطون يجب أن يكون:

$$\frac{3\lambda}{2} = 60 \text{ cm}$$

وهذا يعني أن:

$$\lambda = 40 \text{ cm}$$

١٨. أ.



ب. المسافة بين بطنَين متجاورَين:

$$\frac{\lambda}{2} = 14 \text{ mm}$$

لذلك يكون طول الموجة:

$$\lambda = 28 \text{ mm}$$

التردد:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8}{0.028} = 1.07 \times 10^{10}\ \text{Hz}$$

$$\approx 11\ \text{GHz}$$

١٩. في كِلا الحالتين تنعكس الموجات إما بواسطة الصفيحة الفلزية أو بواسطة الماء، فالموجة المسافرة والموجة المنعكسة تتّحدان لتنتجا نمط موجة مستقرة.

٢٠. أ. من السهل كثيرًا اكتشاف ما إذا كانت شدة الصوت هبطت إلى الصفر أكثر من اكتشاف أنها في حالة قصوى.

ب. لزيادة الضبط: فإذا كان طول الموجة قصيرًا فمن الصعب قياس طول موجي واحد.

٢١. أ. ثلاثة بطون بين عقدتَين تعني أن المسافة المقاسة بين العقدتَين هي:

$$\frac{3\lambda}{2} = 20\ \text{cm}$$

لذلك يكون طول الموجة:

$$\lambda = 13.3\ \text{cm} \approx 13\ \text{cm}$$

ب. السرعة:

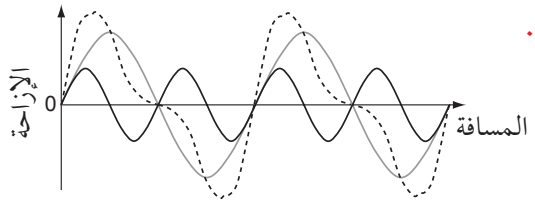
$$v = f\lambda = 2500 \times 0.13 = 325\ \text{m s}^{-1}$$

$$\approx 330\ \text{m s}^{-1}$$

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. ب

٢. أ.



يمثل الخط المنقط الموجة المحصلة، يجب أن يظهر المخطط الخاص بك محاولة أفضل لجمع الموجتَين.

ب. يكون طول الموجة المحصلة يساوي الطول الموجي الأطول للموجتَين.

٣. أ. ينثني (ينحني) أكثر.

ب. أكثر تسطّحًا.

٤. تمتلك موجات الراديو طولًا موجيًا طويلًا بما يكفي لأن تحيد حول الجبال، إذ يصل طولها الموجي إلى أكبر من كيلومتر واحد.

في حين أن موجات التلفاز لها طول موجي قصير (سنتيمترات أو مليمترات)، لذلك لا يمكنها أن تحيد حول الجبال.

٥. أ. باستخدام $ax = \lambda D$، الطول الموجي للصوت:

$$\lambda = \frac{ax}{D} = \frac{1.5 \times 1.2}{8.0} = 0.225\ \text{m} \approx 0.23\ \text{m}$$

ب. بما أن $v = f\lambda$، إذًا تردد الصوت:

$$330 = f \times 0.225$$

$$f = 1470\ \text{Hz} \approx 1500\ \text{Hz}$$

٦. عندما تكون الموجتان في الطور نفسه فإنهما تُجمعان لينتج عن ذلك صوتٌ عالٍ، وتدريجيًا تخرجان من الطور، وعندما تصبحان في الطور المعاكس يكون الصوت أخفت (أخفض) ما يمكن.

وتعود الموجتان تدريجيًا إلى الطور نفسه فيصبح الصوت عاليًا من جديد وهكذا.

٧. المسافة الفاصلة بين خطَّين متجاورَين في محزوز الحيود:

$$d = \frac{1}{5000} = 2.0 \times 10^{-4}\ \text{cm} = 2.0 \times 10^{-6}\ \text{m}$$

التداخل الأقصى ذو الرتبة الأولى عندما $n = 1$:

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{d} = \frac{656 \times 10^{-9}}{2.0 \times 10^{-6}} = 0.328$$

$$\theta = \sin^{-1} 0.328 = 19.1°$$

التداخل الأقصى ذو الرتبة الثانية عندما $n = 2$:

$$\sin\theta = \frac{2\lambda}{d} = \frac{2 \times 656 \times 10^{-9}}{2.0 \times 10^{-6}} = 0.656$$

أي أن:

$\theta = \sin^{-1} 0.656 = 41.0°$

٨. أ. تراكب الموجات هو الجمع الجبري لإزاحات الموجات الفردية عندما تلتقي موجتان أو أكثر عند نقطة ما.

ب. من المعادلة $\lambda = \frac{ax}{D}$ نحصل على:

$$a = \frac{\lambda D}{x} = \frac{590 \times 10^{-9} \times 1.8 \times 12}{16.8 \times 10^{-3}}$$

$= 7.6 \times 10^{-4}$ m

ج. ١. يظهر مزيد من الأهداب على الشاشة أو إضاءة الأهداب تتناقص بشكل أقل من منتصف الشاشة إلى حافتها.

٢. تصبح الأهداب أعرض وتتباعد مع بقاء الإضاءة نفسها.

٩. أ. مترابط: وصف لموجتين صادرتَين من مصدرَين لهما فرق طور ثابت.

ضوء أحادي اللون: ضوء له طول موجة أحادي بدلًا من طيف لأطوال موجات مختلفة.

ب. ١. التداخل من الرتبة الأولى ينتج عن تداخل الموجات التي لها فرق مسار يساوي طولًا موجيًا واحدًا.

التداخل من الرتبة الثانية ينتج عن تداخل الموجات التي لها فرق مسار يساوي طولَين موجيَّين.

٢. أيّ اثنين ممّا يأتي:

تكون الخطوط في نهاية A متباعدة، أو تكون الخطوط في نهاية B متقاربة.

تكون الخطوط في نهاية A أرفع، أو تكون الخطوط في نهاية B أعرض.

تكون الخطوط في نهاية A أكثر سطوعًا، أو تكون الخطوط في نهاية B أخفت.

٣. $n\lambda = d \sin\theta$

في حالة $n = 1$، تقود المعادلة إلى:

$$\lambda = \frac{\sin 19.5°}{5000 \times 10^2} = 6.68 \times 10^{-7}$$

$\approx 6.7 \times 10^{-7}$ m

٤. من المعادلة $\sin\theta = \frac{n\lambda}{d}$ نحصل على:

$\sin\theta = 2 \times 6.68 \times 10^{-7} \times 5000 \times 10^2$

$\theta = 41.8° \approx 42°$

١٠. أ. عندما تلغي موجتان إحداهما الأخرى لإعطاء سعة منخفضة (أو صفرية) عند نقطة ما في حيّز.

ب. من المعادلة $\lambda = \frac{ax}{D}$ نحصل على المسافة بين الأهداب:

$$x = \frac{D\lambda}{a} = \frac{1.2 \times 1.5 \times 10^{-2}}{12.5 \times 10^{-2}} = 0.144 \text{ m}$$

عدد الأهداب في مسافة 45 cm:

$$\frac{45 \times 10^{-2}}{0.144} = 3.125$$

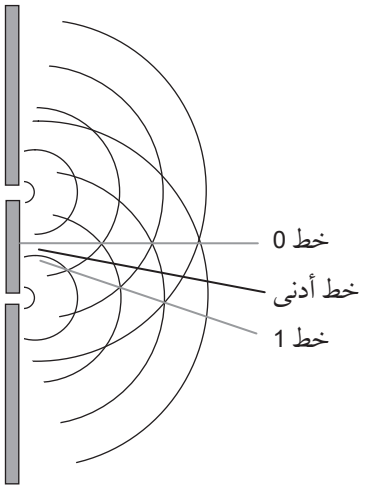
أي ثلاثة تداخلات قصوى (ثلاثة أهداب).

ج. من المعادلة $c = f\lambda$ نحصل على:

$$f = \frac{3.0 \times 10^8}{1.5 \times 10^{-2}} = 2.0 \times 10^{10} \text{ Hz}$$

١١. أ. انحناء الموجة عندما تمر عبر فجوة ما أو تتجاوز حافة وانتشارها.

ب. ١-٣.



قد يكون خط التداخل الأدنى ذو الرتبة الأولى (خطًا أدنى)، أو التداخل الأقصى ذو الرتبة الأولى (خط 1) فوق خط التداخل الأقصى المركزي أيضًا.

ج. $\lambda = \frac{ax}{D} = \frac{12 \times 10^{-2} \times 18 \times 10^{-2}}{60 \times 10^{-2}}$

$= 3.6 \times 10^{-2}\ \text{m} = 3.6\ \text{cm}$

١٢. الإجابة (أ)، لأن الموجات الطولية كالموجات الصوتية يمكنها أن تنتج موجات مستقرة، لهذا فإن العبارة غير صحيحة.

جميع العبارات الأخرى صحيحة فيما يتعلق بالموجة المستقرة.

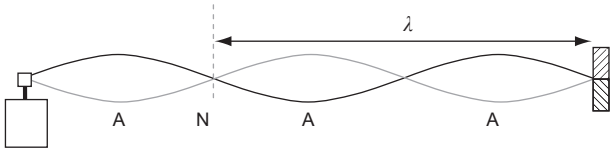
١٣. الإجابة (ج).

$\lambda = 39.0\ \text{cm}$

$v = f\lambda = 120 \times 0.390 = 46.8\ \text{m s}^{-1}$

١٤. أ. العقد والبطون مسماة على الشكل.

ب. الطول الموجي مشار إليه.



ج. سيتضاعف عدد الحلقات (البطون) فيصبح عددها (6) ويقل الطول الموجي.

١٥. أ. الرنين هو تطابق تردد مصدر مهتز مع التردد الطبيعي لاهتزاز جسم ما، الأمر الذي يؤدي إلى اهتزاز ذلك الجسم بسعة أكبر.

ب. $\frac{\lambda}{4} = 0.312\ \text{m}$

$v = f\lambda = 256 \times 4 \times 0.312 = 319 \approx 320\ \text{m s}^{-1}$

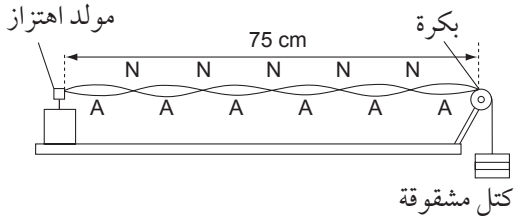
١٦. أ. **التشابه:**

- تهتز النقاط في النوعَين.
- سرعة الموجة = $f\lambda$

الاختلاف:

- تنقل الموجة المسافرة الطاقة، في حين لا تنقل الموجة المستقرة الطاقة.
- النقاط على الموجة المسافرة لها سعات اهتزاز مختلفة بالنسبة إلى الزمن، في حين أن النقاط على الموجة المستقرة لها السعات نفسها بالنسبة إلى الزمن.

ب. ١.



تم إظهار العقد والبطون على الشكل.

٢. طول الموجة:

$\lambda = \frac{75}{3}\ \text{cm}$

$c = f\lambda = \frac{120 \times 0.75}{3} = 30\ \text{m s}^{-1}$

ج. تتغيّر سرعة الموجات على الوتر مع تغير الشدّ، لذلك يجب تغيير التردد لتثبيت الطول الموجي.

١٧. أ. ١. تهتز إلى الأمام وإلى الخلف بشكل موازٍ للأنبوب.

٢. مستقرة.

ب. $\frac{3\lambda}{4} = 63.8\ \text{cm}$

$v = f\lambda = 400 \times \frac{4}{3} \times 0.638 = 340\ \text{m s}^{-1}$

١٨. أ. ١. مصدران ينتج عنهما موجات بينهما فرق طور ثابت ولهما التردد نفسه.

٢. مقدار التأخر أو التقدم بين جسمين في موجة ما أو المقدار الذي تتقدم به الموجة أو تتأخر عن الموجة الأخرى، ويعبّر عنه بزاوية.

ب. ١. تحدث التداخلات القصوى عندما تكون الموجة المنعكسة في الطور نفسه مع الموجة الساقطة (المرسلة).

بينما تحدث التداخلات الدنيا عندما تكون الموجة المنعكسة بطور 180° مع الموجة الساقطة (المرسلة).

٢. في كل مرة تهبط فيها السعة إلى الصفر، تكون الصفيحة قد تحركت بمقدار $\frac{\lambda}{2}$ وبما أن هذه الدورة تكررت 5 مرات فإن هذا يعني أن المسافة من A إلى B تساوي $2.5\ \lambda$ وبالتالي فإن الطول الموجي:

$$\lambda = \frac{42.0}{2.5} = 16.8\ \text{cm}$$

من المعادلة $c = f\lambda$ نحصل على:

$$f = \frac{3.0 \times 10^{8}}{16.8 \times 10^{-2}} = 1.78 \times 10^{9}\ \text{Hz}$$

$$\approx 1.8 \times 10^{9}\ \text{Hz}$$

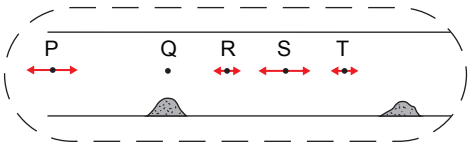
ج. انزياح الطور بزاوية 180° في الانعكاس (فرق الطور بين الموجتين = 180° عند الانعكاس).

١٩. أ. $\frac{3\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4} = \frac{7}{4} \times \lambda = 90\ \text{cm}$

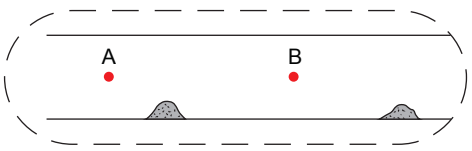
$\lambda = 51.4\ \text{cm}$

$c = f\lambda = 512 \times 51.4 \times 10^{-2} = 263\ \text{m s}^{-1}$

ب. Q لا تتحرك، في حين P و R و S و T تهتز من جانب إلى جانب آخر بشكل موازٍ للأنبوب. P و S لهما أكبر سعة.



ج. أي نقطتَين مسمّاة A و B ومتواجدة (أو موضوعة) على إحدى جانبَي العقدة (كومة الغبار) على سبيل المثال:

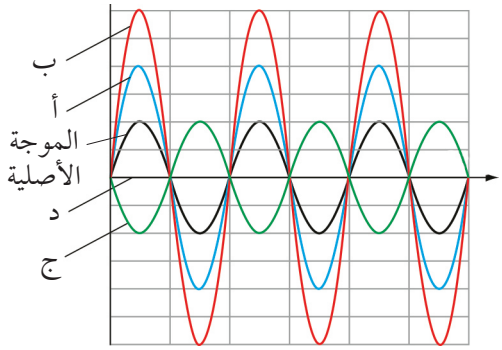


إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة

إجابات أسئلة الأنشطة

نشاط ٧-١: تراكب الموجات والتداخل

١. أ-د.



الموجة المحصلة في الجزئية (د) هي في خط مستقيم على طول المحور الأفقي.

٢. أ. تصل الموجات من دون أي اختلاف في المسار، وبالتالي فهي متطابقة في الطور.

ب. تصل الموجات بطول نصف موجي إضافي في المسار الذي تسلكه موجة واحدة، فتكون الموجات بعكس الطور، وبالتالي تلغي بعضها بعضًا؛ لأن الإزاحة التي تسببها موجة واحدة تكون دائمًا بالمقدار نفسه ولكنها معاكسة للإزاحة التي تسببها الموجة الأخرى.

ج.

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	4λ	4λ	0λ	بنّاء
D	5λ	3λ	2λ	بنّاء
E	5λ	$3\frac{1}{2}\lambda$	$1\frac{1}{2}\lambda$	هدّام
F	4λ	$3\frac{1}{2}\lambda$	$\frac{1}{2}\lambda$	هدّام
G	$4\frac{1}{2}\lambda$	3λ	$1\frac{1}{2}\lambda$	هدّام

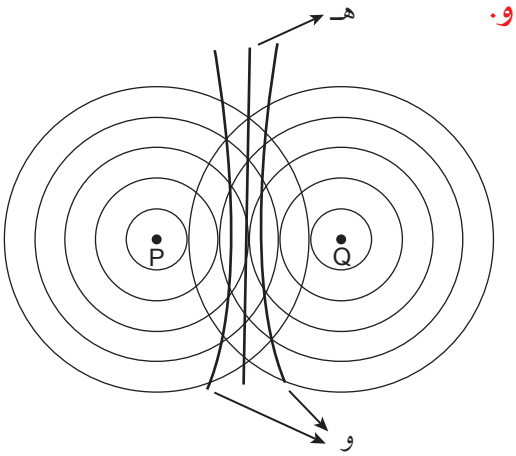
د. ١. 0 (أو عدد صحيح من الأطوال الموجية).

٢. متطابقة بنّاءً.

٣. $\frac{1}{2}\lambda$ أو $(1\frac{1}{2}\lambda)$ أو $\left(n+\frac{1}{2}\right)\lambda$ حيث n عدد صحيح.

٤. متعاكسة هدّامًا.

هـ، و.



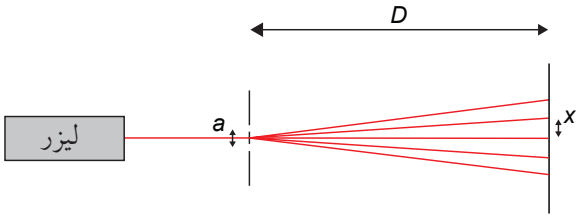
بالنسبة إلى الجزئية (و)، مطلوب واحد فقط من المنحنيَين المشار إليهما بالحرف «و» في الرسم التخطيطي.

نشاط ٧-٢: تجارب التداخل ثنائي المصدر

١. أ. a : المسافة الفاصلة بين الشقَّين.

x : المسافة الفاصلة بين الأهداب.

D : المسافة بين الشقَّين والشاشة.



ب. a : المجهر المتنقل أو مجهر القياس.

x : المسطرة (والاستعانة بعدسة للتكبير إذا كانت الأرقام غير واضحة).

D : مسطرة مترية أو شريط متري.

بقياس المسافات الفاصلة بين جميع الأهداب الأربعة (أكبر عدد ممكن)، ثم قياس المسافة

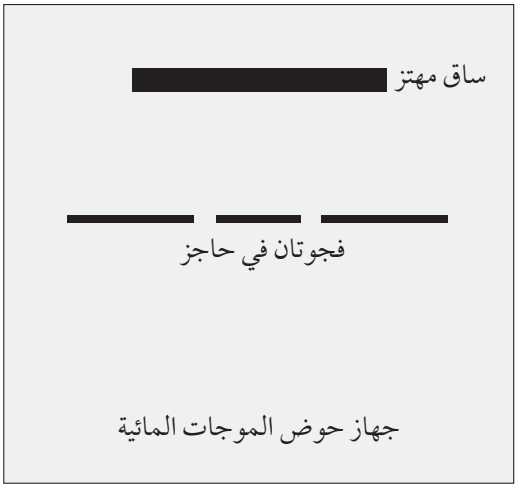
الفاصلة بين الأهداب بواسطة القسمة على ثلاثة، والاحتياطات: قياس المسافة الفاصلة بين الشقَّين في عدد من الأماكن المختلفة على طول الشقَّين وإيجاد متوسطها.

ج. أي استخدام معقول لـ $\lambda = \frac{ax}{D}$ (على سبيل المثال، إذا كانت المسافة بين الشقَّين 0.5 mm وكانت الشاشة على بعد 5.0 m من الشقَّين، فإن x ستكون 7 mm).

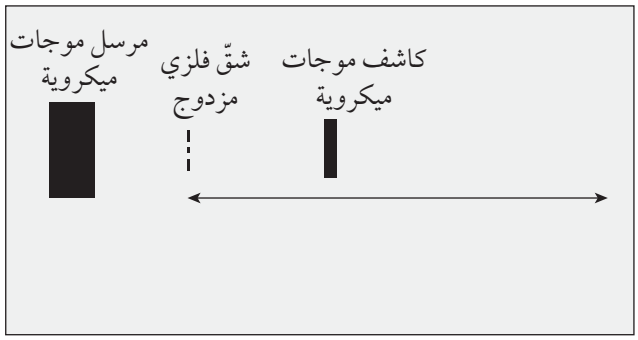
د. اجعل الشاشة أبعد عن الشقَّين أو اجعل الشقَّين أقرب أحدهما إلى الآخر.

هـ. الليزر أكثر سطوعًا ويتركز في شعاع ضيق وأكثر شدة لذلك يمكن أن تكون الشاشة بعيدة أما الضوء الأبيض يعطي طيفًا، مع هدب مركزي أبيض وعدد قليل من الأهداب ذات الأطراف الملونة، ولكن الألوان المختلفة بعد ذلك تتداخل وتندمج، ويُنتج الليزر موجات ضوء مترابطة عبر الشق المزدوج، لذلك تتكوّن أهداب ذات مناطق معتمة وأخرى مضيئة.

٢. أ. يجب أن يبيّن الرسم التخطيطي مصدر الموجات المستوية للماء، مثل ساق مهتز، وحاجز في الماء به فجوتان صغيرتان.



ب. يجب أن يوضح الرسم التخطيطي مصدر الموجات الميكروية والكاشف والشق الفلزي المزدوج.



ج. الطول الموجي للموجات الميكروية (على سبيل المثال 3 cm) أكبر بكثير من الطول الموجي للضوء (أكبر بنحو 105 مرات)، وهذا يعني أن المسافة الفاصلة بين الشقَّين قد تكون أكبر بكثير، وأن قيمة x ستكون كذلك أكبر، بينما قيمة D قد تكون متماثلة.

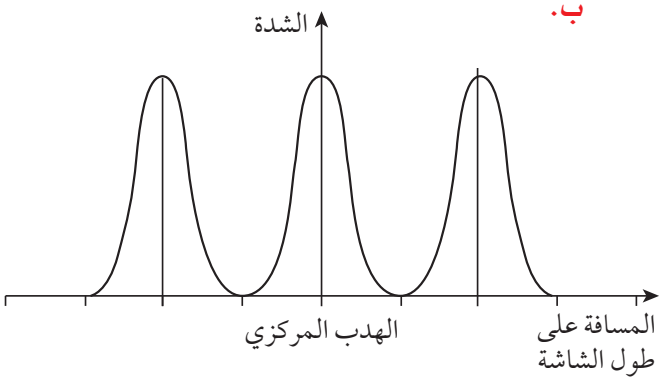
نشاط ٧-٣: تجربة الشق المزدوج: الوصف والحسابات

١. أ. تباعد الأهداب:

$$x = \frac{\lambda D}{a} = \frac{5.0 \times 10^{-7} \times 1.900}{0.25 \times 10^{-3}}$$

$$= 3.8 \times 10^{-3}\ \text{m} = 3.8\ \text{mm}$$

ب.



ج. تتحرك الأهداب متباعدة على الشاشة.

د. تتحرك الأهداب متباعدة على الشاشة.

هـ. يصبح النمط باهتًا ولكن في المكان نفسه.

و. لا تُعدّ الأهداب المعتمة معتمة تمامًا، والأهداب المضيئة ستكون أقل إضاءة (أو إشعاعًا)، لذا أصبح النمط أقل وضوحًا.

ز. يُفقد النمط ولا تُرى أي أهداب على الشاشة.

٢. أ. سلسلة من الأهداب المتباعدة بالتساوي ذات مناطق مضيئة ومعتمة.

ب. التباعد بين الأهداب:

$$x = \frac{\lambda D}{a} = \frac{5.86 \times 10^{-7} \times 1.7}{0.30 \times 10^{-3}}$$

$$= 3.3 \times 10^{-3}\ \text{m} = 3.3\ \text{mm}$$

ج. ستكون المسافة نصف المسافة بين الهدبَين المضيئَين.

$$\frac{x}{2} = \frac{3.3 \times 10^{-3}}{2} = 1.7 \times 10^{-3}\ \text{m} = 1.7\ \text{mm}$$

٣. أ. من الرسم التخطيطي أربع مسافات فاصلة بين الأهداب تغطي 5.6 mm

التباعد بين الأهداب:

$$x = \frac{5.6}{4} = 1.4\ \text{mm}$$

ب. طول الموجة:

$$\lambda = \frac{ax}{D} = \frac{1.0 \times 10^{-3} \times 1.4 \times 10^{-3}}{2.0} = 7.0 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

ج. ستتضاعف المسافة الفاصلة بين الأهداب إذا قلّت المسافة الفاصلة بين الشقَّين إلى النصف؛ لأن العلاقة بينهما عكسية (انظر التمثيل البياني أدناه).

د. هدب أبيض مركزي مع عدد قليل من الأهداب ذات الحواف الملوّنة.

٤. المسافة بين هدبَين مضيئَين متجاورَين:

$$x = \frac{\lambda D}{a} = \frac{4.95 \times 10^{-7} \times 2.00}{0.30 \times 10^{-3}} = 3.3 \times 10^{-3}\ \text{m} = 3.3\ \text{mm}$$

٥. أ. ثلاثة مسافات فاصلة بين الأهداب تغطي 10.0 mm

المسافة بين (الأهداب) هدبَين مضيئَين متجاورَين:

$$x = \frac{10.0}{3} = 3.33\ \text{mm}$$

ب. المسافة بين المصدرَين:

$$a = \frac{\lambda D}{x} = \frac{6.0 \times 10^{-7} \times 1.6}{3.33 \times 10^{-3}} = 2.9 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

٦. أ. فرق المسار:

$$= 99.0 - 90.0 = 9.0\ \text{cm}$$

ب. فرق المسار:

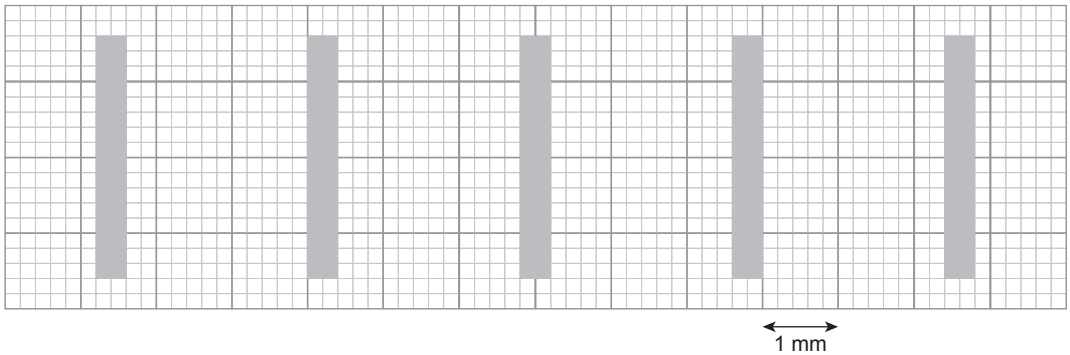
$$= 3 \times 3.0 = 3\lambda$$

الموجات في الطور نفسه؛ لأن فرق المسار هو عدد صحيح مضاعف للطول الموجي.

فرق الطور = 0

ج. تداخل بنّاء.

د. سعة كبيرة أو شدة كبيرة عند O، تتناقص إلى الصفر ثم تزداد حيث تكون P هي القمة الثالثة. ويتكرر ذلك 3 مرات لكن تكون الشدة أصغر قليلًا نحو P من الشدة السابقة لها (لأن الحيود ليس منتظمًا، وكلما ابتعدنا عن مركز النمط زادت المسافة التي يجب أن تقطعها الموجات الميكروية). سيكون هناك 4 تداخلات قصوى و 3 تداخلات دنيا بين P و O (مع التداخل الأقصى الأول عند O والرابع عند P).



(إجابة الجزئية ٣ ج)

نشاط ٧-٤: الحيود ومحزوز الحيود

١. **الحيود** يتسبب في انحناء الموجات أثناء مرورها عبر فجوات ضيقة.

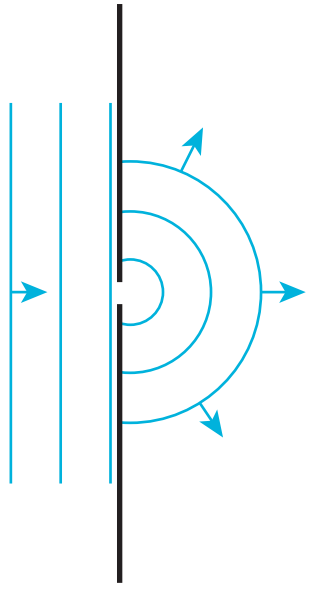
التداخل يسبب نمطًا بسبب إلغاء الموجات وتعزيزها.

الترابط يحتاج إلى فرق طور ثابت بين موجتَين.

التراكب يحدث عندما تلتقي الموجات وتكون الإزاحة المحصلة هي مجموع إزاحات كل موجة.

٢. أ. يجب أن تكون جبهات الموجات الموجودة إلى اليمين متباعدة بطول موجي واحد بينما جبهات الموجات المبيّنة لها طول موجي متغيّر. ويجب أن تكون جبهات الموجات لها حواف منحنية مع مراكز عند نهايتَي الفجوة، وهي مستقيمة فقط في المنطقة المقابلة للفجوة.

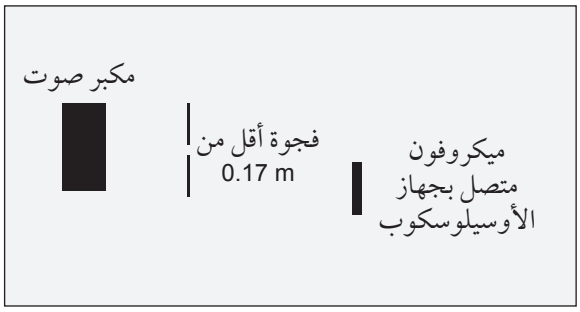
ب. سلسلة من الدوائر تتمركز في وسط الفجوة.



٣. أ. طول موجة الصوت:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{2000} = 0.17 \text{ m}$$

ب. يجب أن يُظهر الرسم التخطيطي مكبر صوت متصلًا بمولد إشارة، وفجوة في لوح فلزي أو لوح خشبي صلب، وميكروفونًا متصلًا بجهاز رسم إشارة الأشعة المهبطية (أوسيلوسكوب)، وأن تكون الفجوة نحو 0.17 m أو أقل.



٤. أ. المسافة بين خط وآخر:

$$d = \frac{1}{N} = \frac{1}{500} = 2.0 \times 10^{-3} \text{ mm}$$
$$= 2.0 \times 10^{-6} \text{ m}$$

ب. الطول الموجي للضوء:

$$\lambda = \frac{d \sin\theta}{n} = \frac{2.0 \times 10^{-6} \times \sin 22.0}{1}$$
$$= 7.5 \times 10^{-7} \text{ m}$$

ج. مقدار زاوية الرتبة الثانية القصوى:

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{n\lambda}{d}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{2 \times 7.5 \times 10^{-7}}{2.0 \times 10^{-6}}\right) \approx 49°$$

د. يصبح جيب الزاوية أكبر من 1 وبالتالي فإن الرتبة الثالثة غير ممكنة.

هـ. خمسة خطوط مرئية (خمس رتب: اثنتان على كل من جانبَي الرتبة الصفرية، والرتبة الصفرية نفسها).

٥. أ. المسافة بين خط وآخر:

$$d = \frac{30.0}{10000} = 3.0 \times 10^{-3} \text{ mm}$$
$$= 3.0 \times 10^{-6} \text{ m}$$

ب. زاوية الرتبة الأولى:

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{n\lambda}{d}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1 \times 590 \times 10^{-9}}{3.0 \times 10^{-6}}\right) = 11.3°$$

زاوية الرتبة الثانية:

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{n\lambda}{d}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{2 \times 590 \times 10^{-9}}{3.0 \times 10^{-6}}\right) = 23.2°$$

زاوية الرتبة الثالثة:

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{n\lambda}{d}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{3 \times 590 \times 10^{-9}}{3.0 \times 10^{-6}}\right) = 36.2°$$

زاوية الرتبة الرابعة:

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{n\lambda}{d}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{4 \times 590 \times 10^{-9}}{3.0 \times 10^{-6}}\right) = 51.9°$$

زاوية الرتبة الخامسة:

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{n\lambda}{d}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{5 \times 590 \times 10^{-9}}{3.0 \times 10^{-6}}\right) = 79.5°$$

٦. أ. تباعد الخطوط:

$$d = \frac{n\lambda}{\sin\theta} = \frac{1 \times 700 \times 10^{-9}}{\sin 25} = 1.7 \times 10^{-6}\ \text{m}$$

$$= 1.7 \times 10^{-3}\ \text{mm}$$

عدد الخطوط لكل ملّيمتر:

$$N = \frac{1}{d} = \frac{1}{1.7 \times 10^{-3}} \approx 600\ \text{lines mm}^{-1}$$

ب. زاوية التداخل الأقصى:

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{n\lambda}{d}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1 \times 400 \times 10^{-9}}{1.7 \times 10^{-6}}\right) = 14°$$

ج. الفرق في الزاوية:

$$\Delta\theta = 25 - 14 = 11°$$

٧. أ.

$$\tan\theta = \frac{40}{150} = 0.27$$

$$\theta = \tan^{-1}(0.27) = 15°$$

ب. تباعد المحزوز:

$$d = \frac{n\lambda}{\sin\theta} = \frac{1 \times 600 \times 10^{-9}}{\sin 15} = 2.3 \times 10^{-6}\ \text{m}$$

ج. الزاوية بين B وموضع الحد الأقصى من الرتبة الثانية:

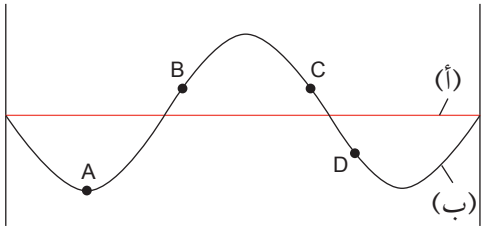
$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{n\lambda}{d}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{2 \times 600 \times 10^{-9}}{2.3 \times 10^{-6}}\right) = 31°$$

المسافة:

$$= 150 \times \tan 31 = 90\ \text{cm}$$

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

١. أ، ب.



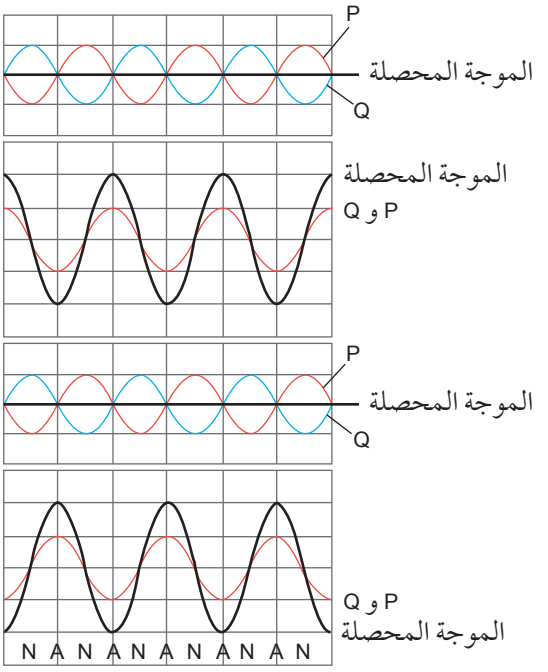
ج.

$$1\frac{1}{2}\lambda = 1.5\ \text{m}$$

$$\lambda = \frac{1.5}{1.5} = 1.0\ \text{m}$$

د. الاتجاهات: B إلى الأعلى، C إلى الأعلى، D إلى الأسفل.

٢. أ-هـ.



٣. أ.

المسافة على طول المحور (cm) x	إزاحة الموجة المستقرة (cm)	إزاحة الموجة المسافرة (cm)	إزاحة الموجة المسافرة الأخرى (cm)
0	+2.0	+1.0	+1.0
0.50	0	+1.0	–1.0
1.00	–2.0	–1.0	–1.0
1.50	0	–1.0	+1.0
2.00	+2.0	+1.0	+1.0

ب. العُقد عند:

0.5 cm، 1.5 cm، 2.5 cm، 3.5 cm، 4.5 cm، 5.5 cm

ج. البطون عند:

0 cm، 1.0 cm، 2.0 cm، 3.0 cm، 4.0 cm، 5.0 cm، 6.0 cm

د. $0.5\text{ cm} = \frac{\lambda}{4}$

نشاط ٧–٦: استخدام أنماط الموجات المستقرة

١. أ. الأطوال الموجية:

$\lambda_A = 2.4\text{ m}$

$\lambda_B = 1.2\text{ m}$

$\lambda_C = 0.8\text{ m}$

ب. تردد الموجتَين B و C:

الطول الموجي للموجة B قلّ إلى النصف، وبالتالي سيتضاعف التردد لأنهما متناسبان عكسيًا، لذلك فإن:

$f_B = 480\text{ Hz}$

الطول الموجي للموجة C قلّ إلى الثلث، وبالتالي سيتضاعف التردد 3 مرات لأنهما متناسبان عكسيًا، لذلك فإن:

$f_C = 720\text{ Hz}$

ج. عدد البطون:

$N_A = 1$

$N_B = 2$

$N_C = 3$

د. حركة الموجة A: ينتقل السلك من الوضع الموضح بالخط المتصل ثم إلى وضع خط أفقي مسطح يربط بين P و Q ثم إلى وضع الخط المنقط ثم مرة أخرى إلى وضع خط أفقي وأخيرًا يعود إلى وضع الخط المتصل.

٢. أ. الطول = $\frac{\lambda}{2}$ عند الاهتزاز.

أطول طول موجة:

$\lambda = 60 \times 2 = 120\text{ cm}$

ب. سرعة الموجة:

$v = f\lambda = 100 \times 1.2 = 120\text{ m s}^{-1}$

٣. أ. أكبر ثلاثة أطوال موجية التي يمكن أن تتشكل:

0.16 m ، 0.24 m ، 0.48 m

ب. أصغر ثلاثة ترددات:

$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{100}{0.48} = 208 \approx 210\text{ Hz}$

$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{100}{0.24} = 417 \approx 420\text{ Hz}$

$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{100}{0.16} = 625 \approx 630\text{ Hz}$

٤. أ. الحركة في مواضع البطون تتسبب في تجمع جسيمات الغبار في المواضع التي لا توجد فيها حركة أي عند العقد.

ب. طول الموجة:

$\lambda = 5.0 \times 2 = 10.0\text{ cm}$

التردد:

$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{320}{0.10} = 3200\text{ Hz}$

ج. ANAN أو AN

نشاط ٧-٧: استخدام المصطلحات الصحيحة لشرح الموجات المستقرة

١. أ. البطن: نقطة على الموجة المستقرة تكون عندها السعة قصوى.

ب. العقدة: نقطة على الموجة المستقرة تكون عندها السعة صفرًا.

ج. أربع عُقد.

د.

النقاط	فرق الطور بين النقاط
P و Q	0
P و R	180°
P و S	180°
P و T	0 أو 360°
Q و R	180°
Q و S	180°
R و S	0

هـ. جميع النقاط بين العقدة والعقدة التي تليها ليس بينها فرق طور.

و. يتغيّر الطور في الموجة المستقرة بمقدار 180° عند كل عقدة ولكن في الموجة المسافرة يتغيّر الطور بشكل مستمر على طول الموجة.

ز. السعة عند P و T هي نفسها وهي > من السعة عند S > السعة عند Q > السعة عند R.

ح. تتناقص سعة النقاط في الموجة المستقرة من القيم القصوى عند البطن إلى الصفر عند العقدة، ثم تزداد مرة أخرى عندما تتحرك نحو البطن التالي. تكون سعة جميع النقاط في الموجة المسافرة هي نفسها، ولكن لها أطوار مختلفة فقط.

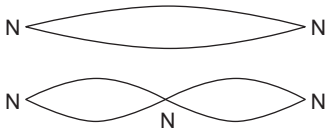
ط. لا يوجد انتقال للطاقة في الموجة المستقرة؛ في حين يوجد انتقال للطاقة في الموجة المسافرة. هناك موجتان مسافرتان تحملان طاقة في الموجة المستقرة باتجاهين متعاكسين، وبالتالي لا يوجد تدفق للطاقة.

٢. أ. موجتان تتحركان باتجاهَين متعاكسَين بالتردد نفسه لتنتج موجة مستقرة. تنعكس الموجتان عن الطرفَين الثابتَين لوتر الجيتار وتتداخلان (تتراكبان) لتشكلا الموجة المستقرة. يجب أن تكون المسافة بين الطرفَين الثابتَين من مضاعفات نصف طول الموجة حتى تتراكب الموجتان المنعكستان عند الطرفَين بالطريقة نفسها وتشكلان موجة مستقرة.

ب. تتحرك P إلى الأعلى وإلى الأسفل بتردد الموجة المسافرة.

ج. P و Q و R جميعها لها السعة نفسها كما هي عند البطن. P و R في الطور نفسه، في حين Q تكون في الطور المعاكس.

د. أي من هذَين المخططَين:



٣. أ. يتحرك جزيء الهواء إلى الخلف وإلى الأمام (طوليًا) على طول الأنبوب بأقصى سعة.

ب. ينعكس الصوت عن الطرف المغلق وتتداخل الموجتان اللتان تسيران باتجاهَين متعاكسَين بالتردد نفسه (تتراكب إحداهما مع الأخرى). تتشكل عقدة عند الطرف المغلق ويتشكل البطن عند الطرف المفتوح.

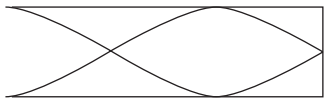
ج. الموجة المبيّنة لها $1\frac{1}{4}$ طول موجي أي $1.25\ \lambda$ في الأنبوب.

بما أن $\lambda = 8.0\ cm$

فإن طول الأنبوب:

$= 8.0 \times 1.25 = 10\ cm$

د. ١.



٢. $\frac{3\lambda}{4}$

$\lambda = \frac{10}{0.75} = 13$ cm

نشاط ٧-٨: تخطيط التجارب على الموجات المستقرة

١. أ. اضبط تردد المولد ببطء حتى يتولد نمط ثابت على السلك. لاحظ السلك: في بعض المواضع يكون السلك مستقرًا ولا يتحرك (هذه هي العُقد) وفي بعض المواضع تكون الحركة قصوى إلى الأعلى وإلى الأسفل (هذه هي البطون). ضَع دبوسًا في قطعة فلين وحرّكه على طول جانب السلك لتحديد المواضع التي لا توجد فيها حركة إلى الأعلى وإلى الأسفل.

ب. قِس المسافة من عقدة إلى العقدة التي تليها. عندئذٍ يكون طول الموجة ضعف هذه المسافة. للحصول على قياس مضبوط، قِس المسافة (d) بين أكبر عدد ممكن من العُقد، على سبيل المثال n، فيكون هناك $(n - 1)$ من المسافات من عقدة إلى عقدة تليها في هذا القياس. طول الموجة عندئذٍ $= \frac{2d}{n-1}$

ج. احصل على إشارة (أثر) ثابتة على الشاشة بأكبر موجة ممكنة، بواسطة ضبط معايرة مقياس فرق الجهد الكهربائي (الرأسي) ومعايرة مقياس الزمن (الأفقي). قِس عدد الأقسام أو المربعات d على طول المحور الأفقي على الشاشة لموجة واحدة كاملة. دوّن معيار مقياس الزمن t (عدد الثواني لكل مربع).

الزمن الدوري $= dt$

التردد $= \frac{1}{dt}$

د. غيّر قوة الشدّ في الخيط بواسطة تغيير عدد الأثقال المعلقة بالسلك. يمكن الحصول على قيمة قوة الشدّ في الخيط بواسطة قياس الكتلة المعلقة بالخيط وضربها في g (تسارع الجاذبية). اضبط تردد مولد الاهتزاز حتى يظهر نمط موجة مستقرة على السلك. قِس المسافة d بين عقدتَين متجاورتَين ودوِّن التردد f للإشارة التي يوفرها مولد الإشارة (بإمكاننا توصيل مسجل بيانات بمولد الإشارة إذا كان هناك حاجة). يمكن الحصول على سرعة الموجة باستخدام $v = 2df$. كرّر هذا القياس لقوى شدّ مختلفة وارسم تمثيلًا بيانيًا للسرعة مقابل قوة الشدّ.

٢. أ. ضَع جهاز الإرسال بمواجهة الصفيحة العاكسة، ثم حرّك مسبار الكاشف على طول الخط من جهاز الإرسال إلى الصفيحة. سيكون هناك ارتفاع وانخفاض منتظم في الإشارة على العداد. إشارة عالية عند البطن، ولا إشارة أو إشارة منخفضة عند العقدة.

ب. تنعكس الموجات الميكروية بواسطة الصفيحة العاكسة. وتوجد موجتان على طول الخط الواصل بين المرسل والصفيحة العاكسة بسرعتَين متجهتَين متعاكستَين وسعات متماثلة. كما تتراكب هاتان الموجتان أو تتداخلان لتشكلا موجة مستقرة.

ج. قِس المسافة d بين عقدتَين متتاليتَين. الطول الموجي للموجات الميكروية هو $2d$ والتردد f للموجات الميكروية هو $\frac{c}{2d}$.

لاحظ أنه يمكن استخدام هذه الطريقة لقياس الطول الموجي للصوت باستخدام مكبر الصوت كجهاز إرسال والميكروفون كمسبار كاشف أيضًا.

٣. أ. بطن.

ب. عقدة.

ج. $\frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4} = \frac{3\lambda}{4}$

د. غيّر ارتفاع عمود الهواء بإضافة ماء ببطء أو رفع الأسطوانة الزجاجية ببطء. تتشكل موجة مستقرة عندما يصدر صوت عالٍ من عمود الهواء.

هـ. زِد طول عمود الهواء ببطء عندما يكون طول عمود الهواء صغيرًا جدًا. وعندما يتكوّن الصوت العالي الأول والثاني، ضع علامة على جانب العمود الزجاجي في كل حالة (أو إذا تغير مستوى الماء في وعاء الماء). قِس الطولَين l_1 و l_2 لعمود الهواء من أعلى العمود إلى كل من العلامتَين.

عند أصغر طول $l_1 = \frac{\lambda}{4}$

عند الطول التالي $l_2 = \frac{3\lambda}{4}$

لذا، بطرح المعادلتين وإعادة الترتيب نحصل على:

$$\lambda = 2(l_2 - l_1)$$

و. التمثيل البياني عبارة عن منحنى، فكلما ازداد طول الموجة انخفض التردد. المنحنى لا يتقاطع مع أي من المحورَين.

ز. التمثيل البياني لـ f مقابل $\frac{1}{\lambda}$ هو خط مستقيم ميله v.

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. أ. يكون للضوء المنبعث من المصدرَين فرق مسار في بعض المواضع على الشاشة، مقداره 0 أو λ أو 2λ أو 3λ أو $n\lambda$، حيث n عدد صحيح. يصل الضوء بالطور نفسه وتُجمع الموجتان معًا لتشكلا تداخلًا بنّاءً ينتج عنه بقع (أهداب) مضيئة. يجب أن تنتقل الموجة من أحد الشقَّين مسافة أبعد من الشق الآخر في الأماكن القريبة، بحيث يكون فرق المسار هو $\frac{1}{2}\lambda$ أو $1\frac{1}{2}\lambda$ أو $2\frac{1}{2}\lambda$ أو $\left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$، حيث n عدد صحيح. تصل الموجتان متعاكستَين في الطور وتتداخلان تداخلًا هدّامًا، ما يؤدي إلى إلغاء إحداهما الأخرى وتشكيل بقعة مظلمة (هدب مظلم) بين كل بقعتَين (هدبَين) حمراوَين ساطعتَين.

ب. كلما ابتعدنا عن مركز النمط (الأهداب)، ازدادت الزاوية التي يجب أن يحيد بها الضوء عندما يمر من كلا الشقَّين. لا يكون الحيود منتظمًا عند الزوايا المختلفة إلّا إذا كان كِلا الشقَّين ضيّقًا جدًا مقارنة بطول الموجة. ولذلك، يحيد مقدار أقل من الضوء عند الزاوية الكبرى، وعندما تتداخل الموجتان تداخلًا بنّاءً، يكون التداخل الأقصى المحصل أقل ممّا يحدث عندما تُجمع الموجتان في مركز النمط (الأهداب).

٢. أ. مرّر ضوءًا من الليزر عبر المحزوز إلى الشاشة. قِس كلًا من المسافة x بين الهدب المركزي والهدب المجاور له على الشاشة والمسافة D من المحزوز إلى الشاشة.

يمكن استخدام مسطرة أو مسطرة مترية، بحيث تسمح بحساب الزاوية θ للتداخل الأقصى من الرتبة الأولى من $\tan\theta = \frac{x}{D}$.

قِس المسافة الفاصلة بين شقوق المحزوز d باستخدام مجهر متنقل أو مجهر قياس ومن ثم يكون طول الموجة: $\lambda = d \sin\theta$.

ب. يُعدّ محزوز الحيود أفضل من الشقوق المزدوجة لأن الأهداب تكون متباعدة ما يسمح بقياس أكثر دقة وأيضًا لأن نمط الأهداب يكون أكثر سطوعًا ووضوحًا، الأمر الذي يسهل رؤيته في المختبر.

٣. **أ.** المسافة الفاصلة بين الأهداب:

$$x = \frac{0.40}{8} = 0.050 \text{ cm}$$

ب. المسافة الفاصلة بين الشقَّين:

$$a = \frac{\lambda D}{x} = \frac{700 \times 10^{-9} \times 50}{0.050} = 7.0 \times 10^{-4} \text{ m}$$

ج.
$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{n\lambda}{d}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1 \times 700 \times 10^{-9}}{7.0 \times 10^{-4}}\right)$$
$$= 0.057°$$

د. عند استخدام محزوز الحيود يكون نمط الحيود:

أكثر وضوحًا.

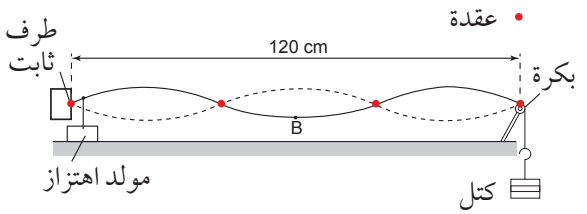
أكثر سطوعًا.

يُرى مزيد من الأهداب.

هـ. تكون زوايا التداخل الأقصى من الرتبة الأولى والرتب الأخرى قريبة جدًا بعضها من بعض بحيث لا يمكن قياسها بالضبط، ويفصل بينها أقل من درجة.

٤. **أ.** تنعكس الموجة المسافرة من مولد الإشارة عند البكرة (النهاية المغلقة) وتنتقل عائدة إلى أول السلك. الموجتان الناتجتان متساويتان في السعة والتردد، وتتحركان باتجاهَين متعاكسَين وتتراكبان أو تتداخلان لتشكّلا موجة مستقرة.

ب. تكون العقد عند الطرف الثابت، وعند البكرة، وحيث تتقاطع الخطوط المنقطة والمتصلة في المخطط. على سبيل المثال:



ج. ثلاثة بطون.

د. ١. متعاكستان في الطور (فرق الطور 180°).

٢. السعة عند النقطة A أصغر لأنها أقرب إلى العقدة.

هـ. ١. يتكوّن على السلك 1.5 طول موجي أي:

$$L = 1.5\lambda$$

طول الموجة:

$$\lambda = \frac{120}{1.5} = 80 \text{ cm}$$

٢. سرعة الموجة المسافرة:

$$v = f\lambda = 150 \times 0.8 = 120 \text{ m s}^{-1}$$

و. ١. تنعكس الموجتان عن طرفَي السلك ولكن طول السلك ليس مضاعفًا لـ $\frac{\lambda}{2}$، لذلك لا يتطابق التداخل الأقصى والأدنى مع الانعكاس من كلا الطرفَين فلا يمكن لتراكب الموجتَين أن تشكلا موجة مستقرة متزنة.

٢. تزداد السرعة v، ولكن بما أن λ تُضبط بواسطة طول السلك، فإن λ تكون ثابتة. وبما أن $v = f\lambda$، فإن التردد f يجب أن يزداد.

٥. **أ.** تنتقل موجتان على الخط نفسه باتجاهَين متعاكسَين لهما التردد نفسه / طول الموجة نفسه.

عندما تلتقيان، تكون الإزاحة المحصلة هي مجموع إزاحات كل من الموجتَين وتنتج العقد والبطون.

ب. ١. طول الموجة للموجة المسافرة:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{24}{50.0} = 0.48 \text{ m}$$

٢. المسافة بين العقد المتجاورة:

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{0.48}{2} = 0.24 \text{ m}$$

ج. تنخفض المسافة بين العقد إلى النصف على طول السلك نفسه الذي يحتوي على حلقتين لتصبح عدد الحلقات أربع حلقات،

وبالتالي ينخفض طول الموجة إلى النصف مع تضاعف التردد، ولا يَحدث تغيّر في السرعة لأن $v = f\lambda$.

٦. أ. ١. لا يوجد انتقال للطاقة على طول السلك بوجود موجة مستقرة على السلك، في المقابل يكون هناك نقل للطاقة على طول السلك في الموجة المسافرة.

٢. تكون سعة جميع النقاط هي نفسها في الموجة المسافرة (أو إذا فقدت الطاقة، فإن سعة الموجة تتناقص على طول الموجة). تتغير السعة على طول السلك في الموجة المستقرة.

ب. ١. العقدة هي نقطة ما في الموجة المستقرة بحيث تكون سعة الإزاحة فيها صفرًا.

٢. البطن هو نقطة ما في الموجة المستقرة بحيث تكون سعة الإزاحة قصوى.

ج. ١. يحدث التراكب بين الموجة الصادرة من مكبر الصوت والموجة المنعكسة من طرف الأنبوب. وتتشكل أماكن التداخل البنّاء (البطون) حيث تُجمع الموجتان معًا دائمًا في الطور نفسه. وعندما يكون هناك بطن في النهاية المفتوحة، يكون عندئذٍ الصوت عاليًا.

٢. تتشكل ثلاث عقد وبطنان تغطي طول موجة كاملة (24 cm) من النهاية المغلقة للأنبوب إضافة إلى بطن ثالث في النهاية المفتوحة ANANAN (6 cm) على طول الأنبوب.

٣. أقل تردد يتوافق مع طول الأنبوب (30 cm)، من عقدة واحدة إلى البطن التالي:

$$0.30 = \frac{\lambda}{4}$$

$$\lambda = 0.30 \times 4 = 1.2 \text{ m}$$

التردد:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{320}{1.2} = 270 \text{ Hz}$$

الوحدة الثامنة

فيزياء الكم

نظرة عامة

- توفّر هذه الوحدة من المنهج المعرفة والفهم للطبيعة الجُسيمية للإشعاع الكهرومغناطيسي (نموذج الفوتون)، والتأثير الكهروضوئي، ومستويات الطاقة المنفصلة للذرات والأطياف الخطية، والطبيعة الثنائية (المزدوجة) الموجية والجُسيمية وطول موجة دي بروي.
- توفّر معادلات طاقة الفوتون وكمية تحركه ومعادلة أينشتاين للتأثير الكهروضوئي ومعادلة دي بروي فرصًا للطلبة لممارسة المهارات الرياضية الأساسية وتعزيز الاستيعاب المفاهيمي لفيزياء الكم.
- يتوقع من الطالب خلال هذه الوحدة أن:

– يذكر أن الإشعاع الكهرومغناطيسي له طبيعة جسيمية.

– يذكر أن الفوتون هو كمّة من الطاقة الكهرومغناطيسية.

– يستخدم المعادلة: $E = hf$.

– يستخدم الإلكترون فولت (eV) كوحدة للطاقة.

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

– يعرّف المصطلحَين تردد العتبة وطول موجة العتبة ويستخدمهما.

– يشرح الانبعاث الكهروضوئي باستخدام طاقة الفوتون وطاقة دالة الشغل.

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

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

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

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

– يشرح مظهر خطوط أطياف الانبعاث وخطوط أطياف الامتصاص وتشكّلها.

– يستخدم المعادلة: $hf = E_1 - E_2$.

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

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

– يعرّف طول موجة دي بروي على أنه الطول الموجي المصاحب للجسيم المتحرك.

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

- ثمّة فرص لتغطية جميع أهداف التقويم الثلاثة: AO1 (المعرفة والفهم)، AO2 (معالجة المعلومات وتطبيقها وتقييمها) و AO3 (المهارات والاستقصاءات التجريبية)، وهدف التقويم الثالث يتضمن تحديد ثابت بلانك تجريبيًا.

مخطط التدريس

أهداف الموضوع	الموضوع	عدد الحصص	المصادر في كتاب الطالب	المصادر في كتاب التجارب العملية والأنشطة
٨–١، ٨–٢، ٨–٣، ٨–٤	٨–١ النموذج الجسيمي والنموذج الموجي	٤	الأسئلة من ١ إلى ٩ أسئلة نهاية الوحدة: ٣–٧	الاستقصاء العملي ٨–١: تحديد ثابت بلانك أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٨–٥، ٨–٦، ٨–٧، ٨–٨، ٨–٩، ٨–١٠	٨–٢ التأثير الكهروضوئي ٨–٣ للفوتونات كمية تحرّك أيضًا	٦	الأسئلة من ١٠ إلى ١٣ أسئلة نهاية الوحدة: ١، ٢، ٨، ٩	نشاط ٨–١ الضوء: هل هو موجة أم جسيم؟ نشاط ٨–٢ المعادلة الكهروضوئية أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٨–١١، ٨–١٢، ٨–١٣	٨–٤ الأطياف الخطية	٥	الأسئلة من ١٤ إلى ١٦ أسئلة نهاية الوحدة: ١٠–١٣	نشاط ٨–٣ الأطياف الخطية أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٨–١٤، ٨–١٥، ٨–١٦، ٨–١٧	٨–٥ ثنائية (ازدواجية) الموجة والجسيم	٤	السؤالان ١٧ و ١٨ أسئلة نهاية الوحدة: ١٤ و ١٥	نشاط ٨–٤ طول موجة دي بروي أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع

الموضوع ٨-١: النموذج الجسيمي والنموذج الموجي

الأهداف التعليمية

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.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

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

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٨–١ النموذج الجسيمي والنموذج الموجي	• المثال ١ • الأسئلة من ١ إلى ٩
كتاب التجارب العملية والأنشطة	الاستقصاء العملي ٨–١: تحديد ثابت بلانك	• استخدام نتائج العلاقة بين فرق الجهد الكهربائي الذي تبدأ عنده مصابيح الـ (LED) في إصدار الضوء وطول الموجة للضوء المنبعث منها لإيجاد قيمة لثابت بلانك (h).

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- قد يواجه الطلبة صعوبة في تحديد مفهوم الفوتون، لذلك ساعدهم على فهم فكرة أن الضوء يمكن اعتباره مجموعة من الكمّات أو الحزم المنفصلة من الطاقة الكهرومغناطيسية، وهذه الكمّات لها طاقة محدّدة، وتشغل حيّزًا، وتتصرف كجسيمات تُعرف بالفوتونات. وضّح للطلبة أن الفوتونات دائمًا في حالة حركة، وتنتقل بسرعة الضوء في الفراغ ($3.00 \times 10^8\ m\ s^{-1}$). ومن المفيد أن يعرفوا أنه وفقًا للنظرية النسبية، فإن أي جُسيم يتحرك بسرعة الضوء تكون كتلته صفرًا، ولذلك فإن الفوتون هو جُسيم ذو كتلة صفرية وشحنة كهربائية صفرية.
- قد يجد الطلبة صعوبة في فهم علاقة أينشتاين، لذا من المهم أن يفهموا أن المعادلة $E = hf$ أو $E = \frac{hc}{\lambda}$ توضّح العلاقة بين خاصية الجُسيم (طاقة الفوتون E) وخاصية الموجة (التردد f أو طول الموجة λ)، وثابت بلانك h هو الرابط بين الخاصيتين، ويجب أن يفهم الطلبة أن علاقة أينشتاين تنطبق على جميع الموجات الكهرومغناطيسية.

أنشطة تمهيدية

سيستخدم الطلبة ما درسوه عن النموذج الموجي والنموذج الجُسيمي لفهم التباين بين نظرية الكم (الطبيعة الجُسيمية) للإشعاع الكهرومغناطيسي والنظرية الموجية. سيفهم الطلبة معنى الفوتون وعلاقة أينشتاين من أجل حساب طاقة الفوتون، وسيطوّرون مهاراتهم العملية من خلال إجراء تجربة لتحديد ثابت بلانك.

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

فكرة أ (١٥ دقيقة)

- يبحث الطلبة في مجموعات ثلاثية عن تاريخ نظرية الضوء (النظرية الموجية والنظرية الجُسيمية)، ويمكنك توجيههم إلى مناقشة أعمال نيوتن وهيجينز وأينشتاين وبلانك، معطيًا إيّاهم فرصة للبحث عن المعلومات من مصادر مختلفة عبر الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) أو من كتاب الطالب، واطلب إلى كل مجموعة منهم عرض ملخّص ما توصلوا إليه أمام زملائهم من خلال العروض التقديمية القصيرة (PowerPoint) أو الملصقات.

› **فكرة للتقويم:** ناقش الطلبة لتعرف مدى قدرتهم على تذكّر الظواهر الموجية (الانعكاس، والانكسار، والحيود، والتداخل) وتضمين المصطلحات الأساسية في المناقشة عند الضرورة، ويجب أن يفهم الطلبة أن النظرية الجُسيمية يمكنها تفسير الانعكاس والانكسار أيضًا، ولكن الحيود والتداخل هما الخاصيتان المميزتان للموجات.

فكرة ب (١٥ دقيقة)

- اطلب إلى الطلبة في مجموعات صغيرة تبادل الأفكار حول الإشعاع الكهرومغناطيسي، بحيث يمكنك الطلب إلى كل مجموعة تقديم حقيقة مختلفة عن هذا الإشعاع، وقد تتضمن هذه الأفكار وصفًا موجزًا لتكوين الإشعاع الكهرومغناطيسي، والقيم التقريبية للأطوال الموجية أو الترددات للنطاقات الأساسية في الطيف الكهرومغناطيسي وغير ذلك.

› **فكرة للتقويم:** يمكنك تقويم المعرفة السابقة من خلال الحقائق والتفسيرات التي يقدمها الطلبة، إذ عليهم أن يُظهروا فهمًا لتكوين الإشعاع الكهرومغناطيسي من خلال معرفتهم السابقة بالموجات.

الأنشطة الرئيسية

١ طاقة الفوتون، ووحدة الإلكترون فولت (٤٠ دقيقة)

› **إرشادات عملية:** استخدم زوجًا من الملاقط لحمل المصدر المشع، موجِّهًا إياه بعيدًا عنك وعن الطلبة.

- اعرض للطلبة أنبوب جايجر–مولر وكيف أنه يُصدر صوت نقرات عند الكشف عن أشعة جاما من مصدر مشع، وإذا لم يكن الجهاز متوفرًا فاعرض مقطع فيديو يوضح طريقة عمل أنبوب جايجر–مولر، طالبًا إليهم أن يناقشوا مع زملائهم دلالة سلسلة النقرات غير المنتظمة، ومشجّعًا جميع الطلبة على المشاركة في المناقشة. اشرح فكرة أن الضوء يمكن أن يتدفق كجسيمات تُعرف بالفوتونات، بعد ذلك يقوم الطلبة بكتابة تعريف الفوتون من كتاب الطالب، ثم اعرض علاقة أينشتاين $E = hf$ لطاقة الفوتون، شارحًا دلالة كل رمز، وموضحًا أن (h) هو ثابت بلانك.
- اطلب إلى الطلبة إعادة كتابة المعادلة $E = hf$ بدلالة الطول الموجي وسرعة الضوء للتوصل للمعادلة $E = \frac{hc}{\lambda}$، موضّحًا لهم أن طاقة الفوتون صغيرة جدًا، لذا يستخدم الفيزيائيون الإلكترون فولت (eV) كوحدة أخرى للطاقة عند التعامل مع كميات الطاقة الأصغر بكثير من الجول وعادةً ما تستخدم في المقياس الذري. يمكن للطلبة حل الأسئلة من ١ إلى ٩ الواردة في كتاب الطالب كمسائل بسيطة تتضمن استخدام طاقة الفوتون $E = hf$ والإلكترون فولت (eV)، كما يمكنك مناقشة المثال ١ الوارد في كتاب الطالب مع الطلبة وذلك للتأكيد على أهمية كل خطوة في العمليات الحسابية.

› **فكرة للتقويم:** يجب أن يدرك الطلبة أن النقرات المنفردة غير المنتظمة في أنبوب جايجر–مولر توضّح أن أشعة جاما تسلك سلوك الجسيمات، فتأكّد من أنهم يفهمون مصطلحات الكم والكمّات والفوتون، ومن أنهم يفهمون أن طاقة الفوتون تتناسب طرديًا مع تردد الموجات الكهرومغناطيسية.

٢ الاستقصاء العملي ٨–١: تحديد ثابت بلانك (ساعة واحدة)

تبعث الوصلة الثنائية الضوئية (LED) الضوء عندما تكون موصلة في دائرة كهربائية في انحياز أمامي (الاتجاه الذي تسمح فيه الوصلة الثنائية بتدفق التيار الكهربائي) وعندما يصل فرق الجهد عبرها إلى جهد العتبة (وهو الحد الأدنى من فرق الجهد الذي يسبب انبعاث الضوء من الوصلة الثنائية LED).

في هذه التجربة يقوم الطلبة باستقصاء العلاقة بين لون الضوء المنبعث من الوصلة الثنائية (LED) والحد الأدنى لفرق الجهد الذي يسمح بانبعاث الضوء منها، وتستخدم البيانات الناتجة عن هذه التجربة لإيجاد قيمة تجريبية لثابت بلانك h.

المدّة

سيستغرق هذا الاستقصاء العملي ساعة واحدة تقريبًا.

ستحتاج إلى

المواد والأدوات
• مصدر جهد كهربائي مستمر (منخفض الجهد على الأقل 3 V)، تكفي خليتان كل منهما (1.5 V) متصلتان على التوالي. • عدة وصلات ثنائية ضوئية (LED) بألوان مختلفة، وتُعدّ مثالية إذا كانت من اللون الأحمر إلى اللون البنفسجي. • مقاومة أمان تبلغ بضع مئات من الأوم. • مقاومة متغيّرة تستخدم كمجزئ للجهد، وقيمة هذه المقاومة غير مهمة، لكن يجب أن تسمح لفرق الجهد عبر الوصلة الثنائية بالتغيّر ما بين 0 وعدة فولتات قليلة. • جهاز ملتيميتر أو فولتميتر يقرأ من (2 V) إلى (0.01 V) على الأقل. • أنبوب صغير معتم، على سبيل المثال بطاقة سوداء ملفوفة بشكل أسطواني، ليتلاءم مع الوصلة الثنائية الضوئية (LED) عند وضعها على فتحة من فتحات الأنبوب. • قائمة ملوّنة توضح طول الموجة لألوان الضوء المختلفة، أو استخدم الإنترنت للحصول على القائمة. **أدوات بديلة:** إذا كان مصدر الجهد يحتوي على جهد قابل للتغيير ويمكن ضبطه بشكل متدرج، فربما لا تكون هناك حاجة إلى المقاومة المتغيّرة أو يمكن إضافتها على التوالي مع مقاومة الأمان.

⚠ احتياطات الأمان والسلامة

- يكون تضمين مقاومة الأمان التي تبلغ بضع مئات من الأوم لضمان عدم تزويد الوصلة الثنائية الضوئية LED بتيار كهربائي عالي الشدة نسبيًا ما قد يؤدي إلى تلف الوصلة الثنائية، وقد تحتاج إلى ضبط قيمة هذه المقاومة بما يتوافق مع أقصى جهد للمصدر والذي يجب ألّا يتجاوز بضعة فولتات.

التحضير للاستقصاء

يجب أن يكون الطلبة قادرين على:

- معرفة معادلة طاقة الفوتون والعلاقة بين التردد والطول الموجي.
- تركيب دائرة مجزئ الجهد.
- جمع النسب المئوية لعدم اليقين.
- قياس أصغر جهد كهربائي يتسبب في انبعاث الضوء من وصلات ثنائية ضوئية (LED) ذات ألوان مختلفة.

توجيهات حول الاستقصاء

- يحتاج الطلبة إلى الحصول على أصغر جهد كهربائي عبر الوصلة الثنائية الضوئية يجعلها تبدأ بالإضاءة، ويتحقّق ذلك بواسطة وضع الوصلة الثنائية الضوئية (LED) داخل أحد طرفَي الأنبوب والنظر إلى داخل الأنبوب من خلال الطرف الآخر لرؤية الوصلة الثنائية الضوئية، ومن الأفضل أخذ قراءة فرق الجهد الكهربائي لحظة رؤية الضوء مباشرةً في أثناء زيادة فرق الجهد، وكذلك أخذ قراءة فرق الجهد الكهربائي عند انطفاء الضوء مباشرةً عندما ينخفض فرق الجهد هذا، وفي هذا

الإطار يختلف الحكم والتقدير؛ لذلك يجب على الطلبة ألا يتوقعوا تحقيق القيمة نفسها دائمًا، إذ تسمح القيم المختلفة التي يتم الحصول عليها بإجراء حساب واقعي لقيمة عدم اليقين.

- قد تحتاج إلى منح الطلبة الثقة في الحصول على أدنى فرق جهد كهربائي بواسطة القيام بعرض إحدى القراءات.
- يستطيع الطلبة استخدام قيم عدم اليقين في قيم فرق الجهد الكهربائي التي حصلوا عليها لرسم أشرطة الخطأ على المحور الصادي (y)، ويمكنهم اقتراح أسباب الخطأ النظامي أيضًا وتأثير أي خطأ نظامي يقترحونه على نتيجة التجربة.
- قد يواجه الطلبة صعوبة في التعامل مع قوة العدد (الأُسّ) عشرة للطول الموجي ومعكوسه، لذلك تُرك العامل 10^{-7} داخل الجدول بدلًا من وضعه في عناوين الأعمدة.

أنموذج نتائج

يعطي الجدول ٨–١ أنموذج النتائج التي يمكن للطلبة الحصول عليها في الاستقصاء.

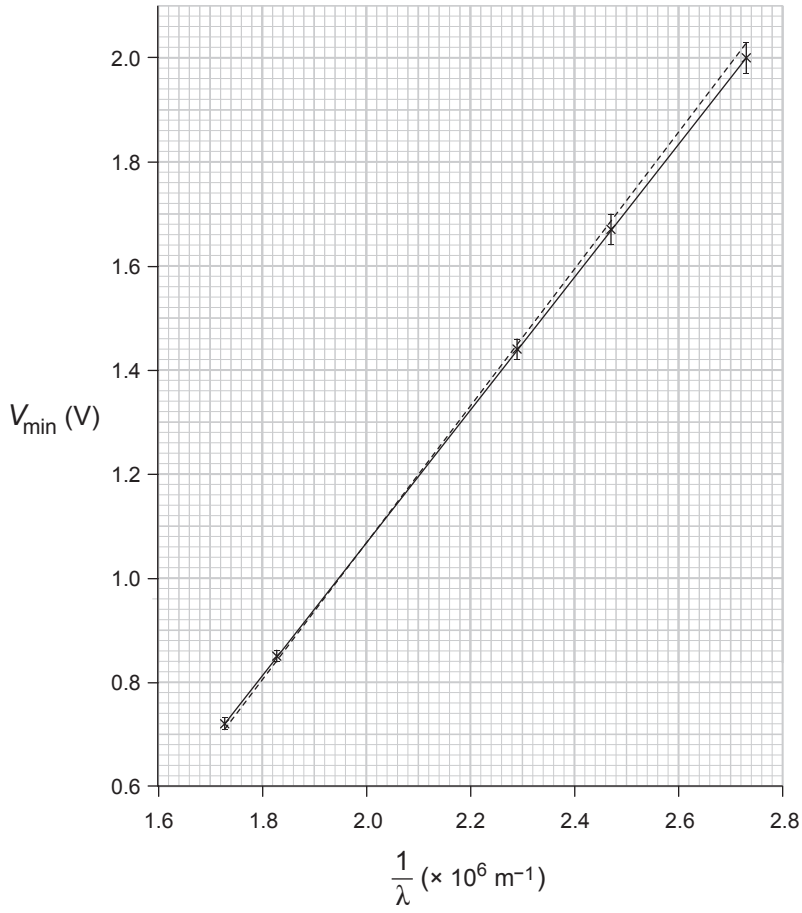
الوصلة الثنائية الضوئية (LED)	قراءة الفولتميتر V_{min} (V)				λ (m)	$\frac{1}{\lambda}$ (m^{-1})
	القراءة الأولى	القراءة الثانية	القراءة الثالثة	متوسط القراءات		
1	0.72	0.71	0.73	0.72 ± 0.01	5.78×10^{-7}	1.73×10^{6}
2	0.85	0.84	0.86	0.85 ± 0.01	5.46×10^{-7}	1.83×10^{6}
3	1.44	1.42	1.46	1.44 ± 0.02	4.36×10^{-7}	2.29×10^{6}
4	1.67	1.64	1.70	1.67 ± 0.03	4.05×10^{-7}	2.47×10^{6}
5	1.98	1.99	2.03	2.00 ± 0.03	3.66×10^{-7}	2.73×10^{6}

الجدول ٨–١: أنموذج نتائج للاستقصاء العملي ٨–١.

إجابات أسئلة الاستقصاء العملي ٨–١ الواردة في كتاب التجارب العملية والأنشطة (باستخدام أنموذج النتائج)

أ. انظر الجدول ٨–١.

ب. انظر الشكل ٨–١.



الشكل ٨-١

ج. ميل الخط المستقيم الأفضل ملاءمة:

$$= \frac{2.00 - 0.81}{(2.73 \times 10^6) - (1.80 \times 10^6)} = 1.28 \times 10^{-6} \text{ V m}$$

ميل الخط المستقيم الأسوأ ملاءمة:

$$= \frac{2.00 - 0.81}{(2.72 \times 10^6) - (1.80 \times 10^6)} = 1.29 \times 10^{-6} \text{ V m}$$

د. الميل $= \frac{hc}{e}$

هـ. قيمة h باستخدام ميل الخط المستقيم الأفضل ملاءمة:

$$h = \text{الميل} \times \frac{e}{c} = 1.28 \times 10^{-6} \times \frac{1.60 \times 10^{-19}}{3.00 \times 10^8} = 6.82 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

و. قيمة h باستخدام ميل الخط المستقيم الأسوأ ملاءمة:

$$h = \text{الميل} \times \frac{e}{c} = 1.29 \times 10^{-6} \times \frac{1.60 \times 10^{-19}}{3.00 \times 10^8} = 6.90 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

قيمة عدم اليقين لـ h:

$$= 6.90 \times 10^{-34} - 6.82 \times 10^{-34} = 8.00 \times 10^{-36} \text{ J s}$$

ز. القيمة التي تم الحصول عليها تقع ضمن حدود قيمة عدم اليقين وتتفق مع القيمة المقبولة لثابت بلانك وهي (6.63×10^{-34} J s).

ح. قد تكون الأسباب المحتملة للخطأ النظامي هي أن العين لديها استجابات مختلفة عند الأطوال الموجية المختلفة، وقد تتطلب ضوءًا أكثر سطوعًا – على سبيل المثال – عند الأطوال الموجية الزرقاء لكشف الضوء، ما يعني أن فرق الجهد الكهربائي (V) سيكون أكبر عند الأطوال الموجية الزرقاء، ويؤدي إلى خط تمثيل بياني أكثر ميلًا، وقيمة عدم اليقين في فرق الجهد الكهربائي (V) قد تكون بسبب صعوبة إجراء تغيير بمقادير صغيرة في قيمة فرق الجهد الكهربائي وهذا يعتمد على جودة مجزئ الجهد الذي تستخدمه.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

إذا كانت هناك حاجة إلى مزيد من التحدي، فيمكن للطلبة البحث عن إشعاع الجسم الأسود، كما يمكنهم البحث للتوصل إلى أن الجسم الأسود هو الجسم الذي يمتص كل الإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط على سطحه، فللإشعاع طيف محدد وشدة تعتمد فقط على درجة الحرارة المطلقة للجسم. وضّح للطلبة أن الضوء المنبعث يكون ذا مدى مستمر من الأطوال الموجية أو الترددات، وأن الطيف عبارة عن تمثيل بياني للشدة الضوئية بدلالة الطول الموجي أو التردد. يمكن للطلبة إجراء بحث عبر الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) عن طيف الضوء المنبعث من الجسم الأسود؛ ويمكنك مساعدتهم لفهم قانون فين (Wien) للإزاحة ($\lambda_{max} T$ = مقدار ثابت)، حيث (λ_{max}) هو الطول الموجي عند قمة الطيف و (T) هي درجة الحرارة المطلقة، والقيمة التجريبية للمقدار الثابت هي (2.90×10^{-3} m K).

الدعم

قد يواجه بعض الطلبة صعوبة في فهم الطبيعة الجُسيمية للإشعاع الكهرومغناطيسي، لذا ذكّرهم بمعارفهم السابقة حول الموجات أن أشعة جاما تشكل جزءًا من الطيف الكهرومغناطيسي، وأنها تنتمي إلى عائلة الموجات نفسها التي ينتمي إليها الضوء المرئي، والأشعة الميكروية، والأشعة السينية وغير ذلك، ارجع إلى العرض التوضيحي الوارد في النشاط الرئيسي لتذكير الطلبة بأن السلسلة غير المنتظمة من النقرات المنفصلة لا يمكن تمييزها عن النقرات التي تنتجها جسيمات ألفا وجسيمات بيتا، ويوضح هذا الأمر أن أشعة جاما تسلك سلوك الجسيمات عند تفاعلها مع عداد جايجر– مولر.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اطلب إلى الطلبة شرح المقصود بالفوتون من دون النظر إلى كتبهم.
- اسأل الطلبة: ما الجزء الأكثر تحدّيًا في العمل التجريبي الذي أجريته؟

الموضوعان ٨-٢: التأثير الكهروضوئي و ٨-٣: للفوتونات كمية تحرّك أيضًا

الأهداف التعليمية

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: $hf = \phi + \frac{1}{2} m v^2_{max}$.

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

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

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذين الموضوعين ٦ حصص دراسية (٤ ساعات).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٨–٢ التأثير الكهروضوئي ٨–٣ للفوتونات كمية تحرّك أيضًا	• المثال ٢ • الأسئلة من ١٠ إلى ١٣
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٨–١ الضوء: هل هو موجة أم جسيم؟ نشاط ٨–٢ المعادلة الكهروضوئية	• تدور أسئلة النشاط ٨–١ حول خصائص موجات الضوء على أنه مجال كهربائي ومغناطيسي متردد وحول الخصائص الجسيمية للضوء المحملة بالطاقة. • تساعد أسئلة النشاط ٨–٢ في التدريب على فهم واستخدام المعادلة الكهروضوئية: طاقة الفوتون = طاقة دالة الشغل + طاقة الحركة القصوى للإلكترون المنبعث.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- قد يخلط بعض الطلبة أحيانًا بين مصطلحَي «الفوتونات» و «الإلكترونات الضوئية»، وضّح لهم أن الضوء هو تدفق لجسيمات معروفة باسم فوتونات، فالفوتون هو كمية منفصلة من الإشعاع الكهرومغناطيسي، وله كتلة صفرية وشحنة كهربائية صفرية أيضًا. أما بالنسبة إلى الإلكترونات الضوئية فهي الإلكترونات التي تتحرر من أسطح الفلزات عند تسليط ضوء مناسب عليها في ظاهرة تُعرف بالتأثير الكهروضوئي. ذكّر الطلبة بأن الإلكترونات هي جسيمات أساسية متماثلة ولا يمكن تمييز بعضها من بعض، ولها كتلة مقدارها (9.11×10^{-31} kg) وشحنة مقدارها (1.6×10^{-19} C).

أنشطة تمهيدية

يستخدم الطلبة مبدأ حفظ الطاقة في حالات مختلفة، ويمكنك مواءمة ذلك مع المعرفة التي اكتسبوها من خلال تذكيرهم بفكرة بئر الطاقة أو بئر الجهد لمساعدتهم على استيعاب مفهوم طاقة دالة الشغل والمعادلة الكهروضوئية، ويجب أن يدرك الطلبة أن التأثير الكهروضوئي يقدّم دليلًا على الطبيعة الجسيمية للإشعاع الكهرومغناطيسي.

فكرة (١٥ دقيقة)

- يعمل الطلبة في مجموعات صغيرة لمناقشة مدى أهمية مبدأ حفظ الطاقة في الفيزياء، فاطلب إليهم كتابة بعض الأمثلة عن حفظ الطاقة من عدة موضوعات في الفيزياء، ويمكن للطلبة أيضًا مناقشة مفاهيم كمية التحرّك وطاقة الحركة، فشجّعهم على مشاركة أفكارهم أو شروحاتهم مع مجموعات أخرى من الطلبة في الصف.

› **فكرة للتقويم:** قِس معرفة الطلبة – أثناء التنقل بين المجموعات – وتأكّد من قدرتهم على إظهار فهمهم لمبدأ حفظ الطاقة في مجالات الحياة المختلفة والواقعية.

الأنشطة الرئيسية

١ ملاحظة التأثير الكهروضوئي (٥٠ دقيقة)

- اعرض ظاهرة التأثير الكهروضوئي باستخدام لوح زنك نظيف موضوع أعلى كشاف كهربائي ذي رقاقة من الذهب، ومصباح عادي، ومصدر أشعة فوق بنفسجية؛ وفي حال عدم توافر الأدوات يمكنك استخدام النشاط العملي الموجود في كتاب الطالب للشرح أو عرض فيديو للطلبة، وفي المقابل يقوم الطلبة ضمن مجموعات ثلاثية بمناقشة التفسيرات بدلالة النماذج المختلفة، ثم استخدام النموذج الموجي ونموذج الفوتون (النموذج الجسيمي) لتفسير هذه الظاهرة، وشجّع طلبة الصف بأكمله على المشاركة في المناقشة، واشرح لهم مفاهيم تردد العتبة وطول موجة العتبة وطاقة دالة الشغل باستخدام نموذج الفوتون، معطيًا إياهم فرصًا للتفكير في التأثير الكهروضوئي بدلالة طاقة الفوتون (E) وطاقة دالة الشغل (Φ) وطاقة الحركة القصوى $K.E_{max}$ للإلكترون الضوئي، ساعد الطلبة على التوصّل إلى صيغة معادلة أينشتاين للكهروضوئية والتي تكتب على النحو الآتي $hf = \Phi + K.E_{max}$ أو على النحو $hf = \Phi + \frac{1}{2}mv^2_{max}$ مستخدمًا مبدأ حفظ الطاقة، يمكنك بعد ذلك استنتاج صيغة كمية تحرك الفوتون $p = \frac{E}{c}$، والانتقال إلى المثال ٢ الوارد في كتاب الطالب لتوضيح الخطوات المهمة في حساب الضغط الذي يؤثر به شعاع الليزر على لوح فلزي، وعلى الطلبة طرح الأسئلة في أثناء التقدّم في الشرح.

› **فكرة للتقويم:** يجب أن يدرك الطلبة نجاح نموذج الفوتون في تفسير التأثير الكهروضوئي، كما يجب عليهم أن يفهموا أسباب فشل الفيزياء الكلاسيكية في تفسير هذه الظاهرة، تأكّد من أنهم يفهمون النقاط الرئيسية للتأثير الكهروضوئي والتفسير الفيزيائي لمعادلة أينشتاين للكهروضوئية التي تم توضيحها في كتاب الطالب، ويجب أن يفهموا أيضًا أن صيغة نيوتن لكمية التحرّك $p = mv$ لا تنطبق على الفوتونات (جسيمات ذات كتلة صفرية).

٢ مسائل تدريبية باستخدام معادلة أينشتاين للكهروضوئية (٥٠ دقيقة)

- يتدرّب الطلبة على العمليات الحسابية لعدد من الأسئلة التي تتضمن معادلة أينشتاين للكهروضوئية في النشاط ٨–٢ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة، وعليهم حلّ المسائل المتعلقة بالطاقات المعطاة بوحدة الإلكترون فولت (eV) أيضًا، وتوفّر الأسئلة ١٠–١٣ الواردة في كتاب الطالب أمثلة للطلبة لتعزيز استيعابهم للمفاهيم والمهارات الرياضية الأساسية.

فكرة للتقويم: استخدم نتائج حسابات الطلبة لتقويم ما إذا كانوا قد فهموا كيفية تطبيق المعادلات بشكل صحيح، مع إمكانية أن يقوموا بتصحيح أعمال بعضهم ووضع درجات عليها، مقدمين تفسيرات واضحة حول أي أخطاء وتفصيل أي نقص في التفسير، وبعد ذلك يمكنك تقديم الإجابات الصحيحة للتأكّد من صحة أعمالهم.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدي

إذا كانت هناك حاجة إلى مزيد من التحدي فيمكن للطلبة إجراء تجارب لملاحظة التأثير الكهروضوئي؛ على سبيل المثال عند سقوط ضوء ذي تردد مناسب على خلية ضوئية داخل أنبوب مفرغ. يدرس الطلبة كيف تساعد الأدوات في استقصاء الجوانب المختلفة للتأثير الكهروضوئي، لذا يمكنك مساعدتهم على فهم فكرة جهد الإيقاف V_s (فرق الجهد الذي تصبح عنده شدة التيار الكهربائي صفرًا) وأهمية الفكرة (طاقة الحركة القصوى للإلكترونات المنبعثة تساوي eV_s من مبدأ حفظ الطاقة)، ويجب أن يدركوا أن جهد الإيقاف لا يعتمد على شدة الضوء، ولكنه يعتمد على تردد الضوء، وقد يتمكّنون من دراسة التمثيلات البيانية لطاقات الحركة القصوى للإلكترونات المنبعثة مقابل تردد الضوء الساقط على الأسطح الفلزية المختلفة، إضافة إلى تحليل كيفية تحديد قيمة ثابت بلانك، وتردد العتبة، ودالة الشغل من التمثيلات البيانية.

الدعم

يجد بعض الطلبة صعوبة في استيعاب مفهوم طاقة دالة الشغل، لذا من المفيد رسم مخططات من أجل تصوّر كيفية تفاعل فوتون واحد مع إلكترون واحد لتحريره، يمكنك استخدام الشكلَين ٨–٥ و ٨–٦ الواردَين في كتاب الطالب لتوضيح مفهوم «بئر الطاقة» أو «بئر الجهد»، معزّزًا فكرة أن طاقة دالة الشغل هي الحد الأدنى من الطاقة التي يحتاج إليها الإلكترون ليتحرر من سطح الفلز. وقد تساعد هذه المخططات الطلبة في استنتاج معادلة أينشتاين للكهروضوئية باستخدام مبدأ حفظ الطاقة.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اطلب إلى الطلبة أن يذكروا ثلاث خصائص (سمات) للتأثير الكهروضوئي لا يمكن تفسيرها بواسطة النموذج الموجي للضوء، محدّدًا كيف يقدّم نموذج الفوتون تفسيرًا لكل خاصيّة.

الموضوع ٨-٤: الأطياف الخطية

الأهداف التعليمية

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: $hf = E_1 - E_2$.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذا الموضوع ٥ حصص دراسية (٣ ساعات و ٢٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٨-٤ الأطياف الخطية	• الأسئلة من ١٤ إلى ١٦
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٨-٣ الأطياف الخطية	• تختبر أسئلة النشاط فهم الطالب وتفسيره للأطياف الخطية كما تساعده في التدريب على عملية حساب الطاقات المختلفة.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- قد يجد بعض الطلبة صعوبة في التمييز بين أطياف الانبعاث الخطية وأطياف الامتصاص الخطية، لذا يجب أن يفهموا أن أطياف الانبعاث الخطية توضّح بنية الضوء المنبعث من الغازات الساخنة، وأن أطياف الامتصاص الخطية تُلاحظ عندما يمر الضوء عبر الغازات الباردة، وعلى المعلّم توضيح الفرق بين طيف الانبعاث الخطي وطيف الامتصاص الخطي باستخدام مخططات مستويات الطاقة، مبيّنًا أنه في كلتا الحالتين، إما أن ينبعث فوتون واحد أو يمتص عندما ينتقل إلكترون ما بين مستويَين منفصلين للطاقة.

أنشطة تمهيدية

يستخدم الطلبة فكرة التكميم لفهم وجود مستويات طاقة منفصلة في الذرات والأطياف الخطية.

فكرة (١٥ دقيقة)

- يمكن إعطاء الطلبة نشاطًا سريعًا يتعيّن عليهم فيه:
  - شرح المقصود بالفوتون باختصار.
  - ذكر معادلة طاقة الفوتون الواحد.
  - ذكر دلالة الرموز الموجودة في المعادلة.
  - إعطاء تعريف للإلكترون فولت (eV).

› **أفكار للتقويم:** يمكنك تقويم الفهم السابق للطلبة من خلال شروحاتهم، إذ يجب أن يكونوا قادرين على ذكر علاقة أينشتاين $E = hf$ أو $E = \frac{hc}{\lambda}$، وقد يكون من المفيد إعطاء بضع دقائق لإعادة النظر في المفاهيم وتوضيّح أي مفاهيم خاطئة.

الأنشطة الرئيسية

١ الأطياف الخطية (٤٠ دقيقة)

- ابحث في الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) عن مقاطع فيديو أو أمثلة للأطياف الخطية من أنابيب التفريغ الغازي (على سبيل المثال: الزئبق، الهيليوم، الهيدروجين وغير ذلك) باستخدام محزوز حيود، ويمكنك استخدام الصورة ٨-٦ والشكل ٨-٩ الواردَين في كتاب الطالب للحصول على الشرح أيضًا، فشجّع جميع الطلبة على مناقشة النتائج المترتبة على كل من الألوان المحدّدة الثابتة لكل عنصر وأطياف الانبعاث الخطية وأطياف الامتصاص الخطية، شارحًا أصل الأطياف الخطية بدلالة مستويات الطاقة المنفصلة أو حالات الطاقة في الذرات (على سبيل المثال الشكل ٨-١٠). ثم ارجع إلى الشكل ٨-١١ لمناقشة انتقال الإلكترون بين مستويَين منفصلين للطاقة، طالبًا إليهم التوصّل إلى معادلة طاقة الفوتون المنبعث أو الممتص، $E = hf$ أو $E = \frac{hc}{\lambda}$.

› **فكرة للتقويم:** يجب أن يفهم الطلبة أن أطياف الانبعاث الخطية تقدم دليلًا على وجود مستويات طاقة منفصلة للإلكترون في الذرات، وينبغي لهم التمييز بين أطياف الانبعاث وأطياف الامتصاص الخطية باستخدام مخططات مستويات الطاقة. تأكد من أن الطلبة يفهمون أن الحالة الأرضية هي أدنى حالة طاقة يمكن أن تكون للإلكترون في الذرّة.

سؤال مفصلي: اشرح كيف يؤدي وجود مستويات طاقة للإلكترون في الذرات إلى ظهور أطياف خطية، والتي قد تكون أطياف انبعاث أو امتصاص.

(الإجابة: عندما يفقد إلكترون موجود في ذرة ما طاقة ينبعث إشعاع، وطاقة الإشعاع تساوي الفرق في طاقة الذرة بين حالتها الأولية وحالتها النهائية؛ وبما أن للإلكترونات مستويات طاقة منفصلة، فإن الإشعاع المنبعث سيكون له طاقة مكمّمة أيضًا، وهذا يؤدي إلى ظهور أطياف خطية تتوافق مع الأطوال الموجية المختلفة للإشعاع المنبعث).

٢ مسائل تدريبية باستخدام الأطياف الخطية (٥٠ دقيقة)

- يتدرّب الطلبة على الحسابات في كثير من الأمثلة تتضمن علاقة الفرق في طاقة الفوتون ($hf = E_1 - E_2$) لمستويات الطاقة المنفصلة في الذرات في النشاط ٨-٣ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة. توفّر الأسئلة ١٤-١٦ الواردة في كتاب الطالب أمثلة للطلبة لتعزيز استيعابهم للمفاهيم والمهارات الرياضية الأساسية أيضًا.

› **فكرة للتقويم:** استخدم نتائج حسابات الطلبة لتقويم ما إذا كانوا قد فهموا كيفية تطبيق المعادلات بشكل صحيح. وقد يقومون بتصحيح أعمال بعضهم ووضع درجات عليها، مقدمين تفسيرات واضحة حول أي أخطاء وتفصيل أي نقص في التفسير، وبعد ذلك يمكنك تقديم الإجابات الصحيحة للتأكّد من صحة أعمالهم.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

إذا كانت هناك حاجة إلى مزيد من التحدي، فيمكن للطلبة البحث في المعادلات التي تحدّد قيم مستويات الطاقة في ذرة الهيدروجين، ويمكن توسيع هذا الموضوع إلى معادلات أكثر تعقيدًا للذرات الأكبر.

الدعم

قد يجد بعض الطلبة صعوبة في فهم سبب كون مستويات الطاقة سالبة، فحاول تشجيعهم على التفكير في مستويات الطاقة باعتبارها الطاقة التي يحتاج الإلكترون إلى اكتسابها أو الطاقة التي يجب أن يمتلكها الإلكترون حتى يتمكن من التحرر من الذرة.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها
• اطلب إلى الطلبة شرح دلالة القيم السالبة لمستويات الطاقة.

الموضوع ٨-٥: ثنائية (ازدواجية) الموجة والجسيم

الأهداف التعليمية

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 أنه الطول الموجي المصاحب للجسيم المتحرك.

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

عدد الحصص المقترحة للتدريس

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

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٨-٥ ثنائية (ازدواجية) الموجة والجسيم	• المثال ٣ • السؤالان ١٧ و ١٨
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٨-٤ طول موجة دي بروي	• تطور أسئلة النشاط ٨-٤ فهم الطالب وتفسيره للخصائص الجسيمية والموجية المختلفة والعلاقات فيما بينها.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- قد يختلط الأمر أحيانًا على الطلبة حول استخدام معادلة دي بروي للجسيمات، ومعادلة طاقة الفوتونات $E = hf$ للإشعاع الكهرومغناطيسي، وهم يحتاجون إلى كثير من التدريب ليتمكنوا من اختيار المعادلات المناسبة بسرعة عند حلّ المسائل.
- قد يختلط الأمر أحيانًا على الطلبة حول الطبيعة الثنائية (المزدوجة) للإلكترون، لذا عليك تذكيرهم بأن الإلكترون يتفاعل مع المادة كجسيم (دليل مقدم من ميكانيكا نيوتن)، وأن الإلكترون ينتقل عبر حيّز ما كموجة (يأتي الدليل من حيود الإلكترونات).

أنشطة تمهيدية

يمتلك الطلبة فهمًا للظواهر الموجية مثل التداخل والحيود من الوحدة السابعة، ولكن يمكنك توسيع معرفتهم من خلال عرض حيود الإلكترون ومناقشة فكرة أن الجسيمات لها خصائص موجية ليفهم الطلبة أن معادلة دي بروي تنطبق على جميع الأجسام، ويستخدمون تلك المعادلة لحل مجموعة متنوعة من المسائل.

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

فكرة أ (١٥ دقيقة)

- يقوم الطلبة في مجموعات صغيرة بعصف ذهني حول طبيعة الضوء: فهل هو عبارة عن موجات أم جسيمات؟ وقد يناقش الطلبة أفكارًا مثل استخدام النموذج الجسيمي للضوء لشرح التأثير الكهروضوئي، وتفسير الفوتونات لظهور الأطياف

الخطية، وتفسير النموذج الموجي لحيود الضوء وتداخله، فاطلب إلى طالب أو اثنين من كل مجموعة المشاركة في كتابة «الخريطة الذهنية» على السبورة.

فكرة للتقويم: تأكّد من أن الطلبة يفهمون أن التأثير الكهروضوئي يُقدّم دليلًا على الطبيعة الجسيمية للإشعاع الكهرومغناطيسي، في حين تُقدّم ظواهر مثل التداخل والحيود دليلًا على الطبيعة الموجية.

فكرة ب (١٥ دقيقة)

- يعمل الطلبة في مجموعات ثنائية لمناقشة وكتابة ملاحظات قصيرة حول كل من حيود الموجات وتداخلها، قد تتضمن عناصر المناقشة كذلك معنى الحيود، والتجارب التي توضّح حيود الصوت والضوء، وتداخل الموجات الميكروية، وتجربة الشق المزدوج ليونج، واستخدام محزوز حيود النفاذ، ومخططات أنماط الحيود، وغير ذلك.

فكرة للتقويم: قِس معرفة الطلبة بالمفاهيم السابقة التي تمّت مناقشتها في الوحدة السابعة (تراكب الموجات)، طارحًا أسئلة إضافية عند الضرورة، وعلى جميع الطلبة إثبات معرفتهم بأن تأثيرات الحيود تكون أكبر عندما تمر الموجات عبر فجوة عرضها يساوي طول موجتها تقريبًا.

الأنشطة الرئيسية

١ حيود الإلكترونات (٤٠ دقيقة)

- اعرض حيود الإلكترونات باستخدام أنبوب حيود الإلكترونات وقارنه بصور حيود الأشعة السينية. وإذا لم تكن الأدوات متوفرة، فاستخدم مقطع فيديو من الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) أو استخدم الصورتين ٨-٩ و ٨-١٠ بالإضافة إلى الشكل ٨-١٤ للشرح. يلاحظ الطلبة نمط الحيود الدائري على الشاشة، ويناقشون في مجموعات ثلاثية ما إذا كان الإلكترون جسيمًا أم موجة، ثم أدر مناقشة جماعية لشرح كيفية عمل الأدوات مبيّنًا العلاقة بين فرق الجهد الكهربائي (المصعد (الأنود) - المهبط (الكاثود)) وقطر حلقات الحيود، ثم اطلب إلى الطلبة إيجاد سرعة الإلكترونات باستخدام مبدأ حفظ الطاقة، ويمكنك أيضًا مناقشة كيفية تحديد الطول الموجي للإلكترونات باستخدام $\lambda = 2d \sin\theta$، ذاكرًا دلالة الرموز في المعادلة.

فكرة للتقويم: يجب أن يدرك الطلبة من معرفتهم السابقة بالظواهر الموجية أن الإلكترونات المتحركة تسلك سلوك الموجات من أجل تكوين حلقات الحيود الدائرية (المشابهة لأنماط حيود الأشعة السينية)، والحيود هو خاصية للموجات، لذا يجب أن يدرك الطلبة أن الإلكترون المتحرك له طول موجي مصاحب، ومن هنا جاء مفهوم ثنائية (ازدواجية) الموجة والجسيم للإلكترون.

٢ طول موجة دي بروي (٥٠ دقيقة)

- يبحث الطلبة في مجموعات صغيرة «فرضية دي بروي»، فأعطِهم فرصة للبحث عبر الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) أو القراءة عن طول موجة دي بروي في كتاب الطالب، ليعملوا مع زملائهم لاستنتاج العلاقة $\lambda = \frac{h}{p}$ أو $\lambda = \frac{h}{mv}$، باستخدام المعادلتين الرئيسيتين لطاقة الفوتون الواحد $\left(E = \frac{hc}{\lambda} = pc\right)$.
- اطلب إليهم مناقشة ما إذا كانت معادلة دي بروي تنطبق على أجسام مثل كرات التنس والأشخاص. يمكنك أن تطلب إليهم مراجعة حيود الإلكترونات في الموضوع السابق والتوصّل إلى تعبير عن الطول الموجي المصاحب للإلكترون بدلالة فرق الجهد الكهربائي V (المصعد - المهبط) والكتلة m وشحنة الإلكترون $\left(\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}\right)$، وهذا مفيد لمساعدة الطلبة على فهم العلاقة بين الطول الموجي المصاحب للإلكترون وفرق الجهد الكهربائي (المصعد - المهبط).

يمكن للطلبة بعد ذلك دراسة المثال ٣ وإتاحة الفرصة للطلبة للإجابة عن السؤالَين ١٧ و ١٨ الواردَين في كتاب الطالب لضمان الفهم الصحيح للمفاهيم وتعزيز المهارات الرياضية الأساسية، ويوفّر النشاط ٨-٤ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة العديد من الأسئلة للتدريب.

› **فكرة للتقويم:** يجب أن يفهم الطلبة أن فرضية دي بروي تنص على أن جميع الجسيمات المتحركة تُظهِر خصائص موجية، إذ يستنتجون من معادلة دي بروي أن الجسيمات الأسرع، أو الجسيمات ذات الكتل الأكبر والتي تتحرك بالسرعة نفسها لها أطوال موجية أقصر، تأكد من أنهم يفهمون أن معادلة دي بروي تنطبق على جميع الأجسام، حيث تكون تأثيرات الحيود واضحة إذا كان الطول الموجي المصاحب مقارب لعرض الفجوة.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

إذا كانت هناك حاجة إلى مزيد من التحدي، فيمكن للطلبة البحث في تطبيقات ثنائية (ازدواجية) الموجة والجسيم (وبشكل أكثر تحديدًا في حيود الجسيمات)؛ على سبيل المثال حيود النيوترونات الحرارية من المفاعلات النووية من أجل دراسة بنية الذرات والمواد الأخرى، أو حيود الإلكترونات بطيئة الحركة لاستكشاف بنية الجزيئات المعقّدة مثل الحمض النووي DNA. يمكن للطلبة أيضًا القراءة عن «مبدأ التكامل» الذي صاغه الفيزيائي الدنماركي نيلز بور (Neils Bohr)، ومن المهم جدًا أن يدرك الطلبة أنه لفهم تجربة ما فإن الفيزيائيين يجدون أحيانًا تفسيرًا باستخدام النموذج الموجي، وفي أحيان أخرى يستخدمون النموذج الجسيمي؛ فالنموذجان مختلفان ولا يمكن استخدامهما في وقت واحد، لذا يجب أن يدركوا أن كلًا من النموذج الموجي والنموذج الجسيمي ضروريان للحصول على فهم كامل للمادة والإشعاع الكهرومغناطيسي، ولذلك فإن هذين النموذجين (النموذج الموجي والنموذج الجسيمي) يكمل أحدهما الآخر.

الدعم

قد يجد بعض الطلبة صعوبة في استيعاب مفهوم ثنائية (ازدواجية) الموجة والجسيم للضوء لأنه يعارض التوقّع، لذا يجب أن يفهموا فكرة أن الضوء يتفاعل مع المادة كجسيم (فوتون)، والدليل على ذلك هو التأثير الكهروضوئي، ومن ناحية أخرى فإن الضوء ينتقل عبر الفضاء (الفراغ) على شكل موجة، والدليل على ذلك يأتي من حيود وتداخل الضوء باستخدام الشقوق؛ فكِلا الظاهرتين مهمتان للوصف الكامل للضوء.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اسأل الطلبة: هل يمكنك شرح المقصود بطول موجة دي بروي لإلكترون ما؟
- اطلب إلى الطلبة تلخيص جميع المعادلات المهمة في هذه الوحدة وذكر دلالة الرموز في كل معادلة، من دون النظر إلى كتبهم وكراساتهم.
- اطلب إلى الطلبة تحديد النقاط الرئيسة في التأثير الكهروضوئي.

إجابات كتاب الطالب

العلوم ضمن سياقها

- تخضع الموجات للعديد من الظواهر مثل الانعكاس والانكسار والحيود والتداخل، وهذه الظواهر جميعها تحدث للضوء، كما أنها تحدث حتى مع الموجات الأخرى مثل الماء.

إجابات أسئلة موضوعات الوحدة

١. طاقة فوتون-γ:

$$E = hf = 6.63 \times 10^{-34} \times 1.0 \times 10^{26}$$

$$= 6.63 \times 10^{-8}\ \text{J} \approx 6.6 \times 10^{-8}\ \text{J}$$

٢. طاقة فوتون ما: $E = \frac{hc}{\lambda}$

للضوء الأحمر:

$$E = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{700 \times 10^{-9}} \approx 2.8 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

للضوء البنفسجي:

$$E = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{400 \times 10^{-9}} \approx 5.0 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

٣. بإعادة ترتيب المعادلة $E = \frac{hc}{\lambda}$ لتعطي طول الموجة: $\lambda = \frac{hc}{E}$

أ. $\lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{10^{-12}} \approx 2.0 \times 10^{-13}\ \text{m}$

أشعة-γ

ب. $\lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{10^{-15}} \approx 2.0 \times 10^{-10}\ \text{m}$

الأشعة السينية (أشعة-X)

ج. $\lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{10^{-18}} \approx 2.0 \times 10^{-7}\ \text{m}$

الأشعة فوق البنفسجية

د. $\lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{10^{-20}} \approx 2.0 \times 10^{-5}\ \text{m}$

الأشعة تحت الحمراء

هـ. $\lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{10^{-25}} \approx 2.0\ \text{m}$

موجات الراديو

٤. طاقة الفوتون: $E = \frac{hc}{\lambda}$

$$E = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{6.48 \times 10^{-7}} = 3.07 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

عدد الفوتونات في الثانية = $\frac{\text{القدرة}}{\text{الطاقة لكل فوتون}}$

$$= \frac{0.0010}{3.07 \times 10^{-19}} = 3.26 \times 10^{15}\ \text{s}^{-1} \approx 3.3 \times 10^{15}\ \text{s}^{-1}$$

٥. الطاقة المنقولة إلى الإلكترون بوحدة الجول:

$$W = QV$$

$$= 1.6 \times 10^{-19} \times 1.2 = 1.92 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

$$\approx 1.9 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

الطاقة بوحدة eV:

$$W = \frac{1.92 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.2\ \text{eV}$$

٦. طاقة الفوتون بوحدة الجول: $E = hf$

$$1\ \text{eV} = 1.60 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

الطاقة بوحدة eV:

$$E = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^{18}}{1.60 \times 10^{-19}} \approx 12000\ \text{eV}$$

$$= 12\ \text{keV}$$

٧. بإعادة ترتيب المعادلة $E = \frac{hc}{\lambda}$ لتعطي طول الموجة:

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$

$$\lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{10 \times 1.6 \times 10^{-19}} = 1.24 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

أشعة فوق بنفسجية

٨. **أ.** الطاقة المكتسبة = الشغل المبذول على البروتون بواسطة فرق الجهد الكهربائي.

طاقة الحركة المكتسبة:

$$KE = QV = 1.60 \times 10^{-19} \times 1500$$

$$= 2.4 \times 10^{-16}\ \text{J}$$

ب. طاقة الحركة: $\text{K.E} = \frac{1}{2}mv^2$، لذلك فالسرعة:

$$v = \sqrt{\frac{2KE}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 2.4 \times 10^{-16}}{1.67 \times 10^{-27}}} \approx 5.4 \times 10^{5}\ \text{m s}^{-1}$$

٩. بإعادة ترتيب المعادلة $eV = \frac{hc}{\lambda}$ لتعطي ثابت بلانك:

$$h = \frac{eV\lambda}{c}$$

ثابت بلانك للوصلة الثنائية الضوئية للأشعة تحت الحمراء:

$$h_{infrared} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 1.35 \times 910 \times 10^{-9}}{3.00 \times 10^{8}}$$
$$= 6.55 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

ثابت بلانك للوصلة الثنائية الضوئية للضوء الأحمر:

$$h_{red} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 1.70 \times 670 \times 10^{-9}}{3.00 \times 10^{8}}$$
$$= 6.07 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

ثابت بلانك للوصلة الثنائية الضوئية للضوء الكهرماني:

$$h_{amber} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 2.00 \times 610 \times 10^{-9}}{3.00 \times 10^{8}}$$
$$= 6.51 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

ثابت بلانك للوصلة الثنائية الضوئية للضوء الأخضر:

$$h_{green} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 2.30 \times 560 \times 10^{-9}}{3.00 \times 10^{8}}$$
$$= 6.87 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

متوسط قيمة ثابت بلانك h:

$$= \frac{1}{4}(6.55 \times 10^{-34} + 6.07 \times 10^{-34} + 6.51 \times 10^{-34} + 6.87 \times 10^{-34})$$
$$\approx 6.5 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

١٠. أ. الفوتونات التي لها طاقة تزيد عن دالة الشغل يمكن أن تتسبب بتحرير إلكترونات من الفلز وهي: 2.0 eV و 3.0 eV

ب. بإعادة ترتيب المعادلة $hf = \Phi + K.E_{max}$ لتعطي:

$$K.E_{max} = hf - \Phi$$

للفوتون الذي طاقته 2.0 eV:

$$K.E_{max} = 2.0 \text{ eV} - 1.8 \text{ eV} = 0.2 \text{ eV}$$

بوحدة الجول:

$$0.2 \text{ eV} = 0.2 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = 3.2 \times 10^{-20} \text{ J}$$

للفوتون الذي طاقته 3.0 eV:

$$K.E_{max} = 3.0 \text{ eV} - 1.8 \text{ eV} = 1.2 \text{ eV}$$

بوحدة الجول:

$$1.2 \text{ eV} = 1.2 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = 1.9 \times 10^{-19} \text{ J}$$

١١. أ. الذهب

ب. السيزيوم

ج. تردد العتبة للزنك:

$$f_0 = \frac{\Phi}{h} = \frac{6.9 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} = 1.04 \times 10^{15} \text{ Hz}$$
$$\approx 1.0 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

د. تردد العتبة للبوتاسيوم:

$$f_0 = \frac{\Phi}{h} = \frac{3.7 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} \approx 5.6 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

وبذلك يكون طول موجة العتبة:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{3.00 \times 10^{8}}{5.6 \times 10^{14}} \approx 5.4 \times 10^{-7} \text{ m} \approx 540 \text{ nm}$$

١٢. أ. طاقة الفوتون:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$
$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{2.4 \times 10^{-7}} \approx 8.3 \times 10^{-19} \text{ J}$$

ب. طاقة الحركة القصوى:

$$K.E_{max} = E - \Phi = 8.3 \times 10^{-19} - 2.8 \times 10^{-19}$$
$$\approx 5.5 \times 10^{-19} \text{ J}$$

ج. بإعادة ترتيب معادلة طاقة الحركة القصوى: $K.E_{max} = \frac{1}{2}mv^2_{max}$، ومنها نحصل على v_{max}:

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2K.E_{max}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 5.5 \times 10^{-19}}{9.11 \times 10^{-31}}}$$
$$= 1.1 \times 10^{6} \text{ m s}^{-1}$$

١٣. بإعادة ترتيب المعادلة $\frac{hc}{\lambda} = \Phi + K.E_{max}$ لتعطي دالة الشغل:

$$\Phi = \frac{hc}{\lambda} - K.E_{max}$$
$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{2000 \times 10^{-9}} - 4.0 \times 10^{-20}$$
$$\approx 5.9 \times 10^{-20} \text{ J}$$

١٤. **للانتقال A:**

أ. طاقة الفوتون:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = (7.8 - 2.2) \times 10^{-18}$$
$$= 5.6 \times 10^{-18} \text{ J}$$

ب. التردد:

$$f = \frac{\Delta E}{h} = \frac{5.6 \times 10^{-18}}{6.63 \times 10^{-34}} = 8.44 \times 10^{15} \text{ Hz}$$
$$\approx 8.4 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

طول الموجة:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00 \times 10^{8}}{8.44 \times 10^{15}} = 3.6 \times 10^{-8} \text{ m}$$

ج. طيف انبعاث خطي.

للانتقال B:

أ. طاقة الفوتون:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = (2.2 - 1.7) \times 10^{-18}$$
$$= 5.0 \times 10^{-19} \text{ J}$$

ب. التردد:

$$f = \frac{\Delta E}{h} = \frac{5.0 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} = 7.54 \times 10^{14} \text{ Hz}$$
$$\approx 7.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

طول الموجة:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00 \times 10^{8}}{7.54 \times 10^{14}} = 4.0 \times 10^{-7} \text{ m}$$

ج. طيف انبعاث خطي.

للانتقال C:

أ. طاقة الفوتون:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = (3.9 - 1.7) \times 10^{-18}$$
$$= 2.2 \times 10^{-18} \text{ J}$$

ب. التردد:

$$f = \frac{\Delta E}{h} = \frac{2.2 \times 10^{-18}}{6.63 \times 10^{-34}} = 3.32 \times 10^{15} \text{ Hz}$$
$$\approx 3.3 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

طول الموجة:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00 \times 10^{8}}{3.32 \times 10^{15}} = 9.0 \times 10^{-8} \text{ m}$$

ج. طيف امتصاص خطي.

١٥. الفوتونات ذات الطاقات:

9 eV، 11 eV، 20 eV، 25 eV، 34 eV، 45 eV

تتطابق مع الفروق في الطاقة بين المستويات، لذلك يمكن للإلكترونات أن تمتصها جميعًا، في حين أن الطاقة 6.0 eV لا تنطبق على أي من الفروق بين مستويات الطاقة، لذلك لا يمكن أن تمتصها الإلكترونات.

١٦. أ. طاقة الفوتون للطول الموجي 83 nm:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{83 \times 10^{-9}}$$
$$= 2.40 \times 10^{-18} \text{ J} = \frac{2.4 \times 10^{-18}}{1.6 \times 10^{-19}} \approx 15 \text{ eV}$$

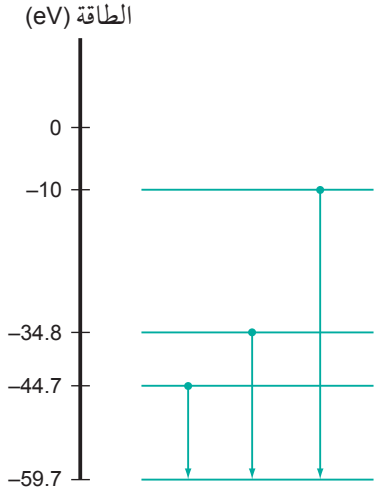
طاقة الفوتون للطول الموجي 50 nm:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{50 \times 10^{-9}}$$
$$= 3.98 \times 10^{-18} \text{ J} = \frac{3.98 \times 10^{-18}}{1.6 \times 10^{-19}} \approx 25 \text{ eV}$$

طاقة الفوتون للطول الموجي 25 nm:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{25 \times 10^{-9}}$$
$$= 7.96 \times 10^{-18} \text{ J} = \frac{7.96 \times 10^{-18}}{1.6 \times 10^{-19}} \approx 50 \text{ eV}$$

ب. انظر الشكل كأحد الحلول الممكنة.



١٧. أ. يمكن أن تتصرف الإلكترونات كموجات، لذلك فهي تحيد بواسطة المسافات الفاصلة بين الذرات.

ب. كل فلز لديه طبقات ذرية (بنية شبكية) مختلفة، لذلك سوف ينتج كل منها نمط حيود مختلفًا.

١٨. أ. الطاقة لكل إلكترون في الحزمة:

$= 1000 \text{ eV} = 1.0 \text{ keV}$

ب. بإعادة ترتيب معادلة طاقة الحركة $\text{K.E} = \frac{1}{2}mv^2$، لتعطي السرعة:

$$v = \sqrt{\frac{2KE}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1000 \times 1.6 \times 10^{-19}}{9.1 \times 10^{-31}}}$$

$$= 1.9 \times 10^{7} \text{ m s}^{-1}$$

كمية التحرك:

$$p = mv = 9.1 \times 10^{-31} \times 1.9 \times 10^{7}$$

$$= 1.7 \times 10^{-23} \text{ kg m s}^{-1}$$

ج. طول موجة دي بروي:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1.7 \times 10^{-23}} = 3.9 \times 10^{-11} \text{ m}$$

د. الطول الموجي صغير جدًا مقارنة بالمسافات الفاصلة بين الذرات، لذلك سيكون هناك حيود بسيط غير ملاحظ.

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. ج

٢. أ

٣. $E = hf = 6.63 \times 10^{-34} \times 4.0 \times 10^{18}$

$= 2.7 \times 10^{-15} \text{ J}$

٤. الطاقة لأقصر طول موجة ميكروية:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{0.005}$$

$\approx 4 \times 10^{-23} \text{ J}$

الطاقة لأطول طول موجة ميكروية:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{0.5}$$

$\approx 4 \times 10^{-25} \text{ J}$

لذلك مدى الطاقة لفوتونات الموجات الميكروية يتراوح من 4×10^{-25} J إلى 4×10^{-23} J

٥. أ. طاقة الفوتون بوحدة الجول:

$E = 1.02 \times 10^{-5} \times 1.60 \times 10^{-19} = 1.63 \times 10^{-24} \text{ J}$

ب. التردد:

$$f = \frac{E}{h} = \frac{1.63 \times 10^{-24}}{6.63 \times 10^{-34}} = 2.46 \times 10^{9} \text{ Hz}$$

ج. طول الموجة:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00 \times 10^{8}}{2.46 \times 10^{9}} = 0.122 \text{ m}$$

٦. أ. الطاقة بوحدة الجول:

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

ب. ١. طاقة الإلكترون بوحدة الـ eV:

$E = 10000 \text{ eV}$

٢. طاقة الإلكترون بوحدة الجول:

$E = 10000 \times 1.6 \times 10^{-19} = 1.6 \times 10^{-15} \text{ J}$

ج. $$E = \frac{6.0 \times 10^{-21}}{1.6 \times 10^{-19}} \approx 4.0 \times 10^{-2} \text{ eV}$$

٧. أ. الشحنة 2e

لذلك طاقة حركة نواة الهيليوم بوحدة eV:

$= 2 \times 7500 = 15000 \text{ eV}$

ب. طاقة حركة نواة الهيليوم بوحدة الجول:

$K.E = 15000 \times 1.6 \times 10^{-19} = 2.4 \times 10^{-15} \text{ J}$

ج. سرعة نواة الهيليوم:

$$v^2 = \frac{2K.E}{m} = \frac{4.8 \times 10^{-15}}{6.6 \times 10^{-27}} = 7.27 \times 10^{11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$$

$v = 8.5 \times 10^5 \text{ m s}^{-1}$

٨. أ. طاقة الفوتون بوحدة eV:

$$E = \frac{2.5 \times 10^{-18}}{1.6 \times 10^{-19}} = 15.625 \text{ eV}$$

طاقة الحركة القصوى:

$K.E_{max} = E - \Phi = 15.625 - 4.3 = 11.3 \text{ eV}$

ب. بتحويل هذه إلى وحدة الجول:

طاقة الحركة القصوى:

$K.E_{max} = 11.3 \times 1.6 \times 10^{-19} = 1.8 \times 10^{-18} \text{ J}$

٩. أدنى تردد $= \frac{\text{دالة الشغل}}{\text{ثابت بلانك}}$

$$f_0 = \frac{\Phi}{h} = \frac{5.1 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} = 1.2 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

١٠. أ. الطاقة المطلوبة لإزالة الإلكترون:

$E = 54.4 \text{ eV} = 54.4 \times 1.6 \times 10^{-19} = 8.7 \times 10^{-18} \text{ J}$

ب. التغيّر في الطاقة:

$\Delta E = 13.6 - 6.1 = 7.5 \text{ eV}$

تردد الإشعاع:

$$f = \frac{\Delta E}{h} = \frac{7.5 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} = 1.8 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

وهذا الإشعاع ينتمي إلى منطقة الأشعة فوق البنفسجية.

ج. الفرق في الطاقة من $n = 2$ إلى $n = 1$ أكبر من الفرق في الطاقة من $n = 3$ إلى $n = 2$، لذلك يكون تردد الضوء المنبعث أكبر مقدارًا.

١١. أ. طاقة الفوتون للطول الموجي 590 nm:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^8}{590 \times 10^{-9}}$$

$= 3.4 \times 10^{-19} \text{ J}$

ب. ١. لأن طاقة وضع الإلكترونات تساوي صفرًا في اللانهاية، وتكون أقل من ذلك بالقرب من النواة.

٢. الفرق بين مستويَي الطاقة (-5.8×10^{-19} J و -2.4×10^{-19} J) لذرة الهيليوم تساوي طاقة فوتون الخط المعتم ذي الطاقة 3.4×10^{-19} J المحسوبة في الجزئية (أ) لذلك يستثار الإلكترون بامتصاص كل طاقة الفوتون الساقط الأمر الذي يفسر وجود الهيليوم في الغلاف الجوي للشمس.

٣. لأن الضوء الساقط له اتجاه معيّن، بينما جزء الضوء الممتص يعاد انبعاثه في اتجاهات مختلفة.

١٢. أ. يخرج الإلكترون نهائيًا من الذرّة (أو نقول تتأيّن الذرة).

ب. ١. تكون طاقة الوضع في المستوى الثاني أقل منها في المستوى الثالث، لذلك تتحرّر الطاقة (على شكل فوتونات).

٢. التغيّر في الطاقة:

$\Delta E = -2.4 \times 10^{-19} - (-5.4 \times 10^{-19})$

$= 3.0 \times 10^{-19} \text{ J}$

من المعادلة $E = \frac{hc}{\lambda}$ تقودنا إلى طول الموجة:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^8}{3.0 \times 10^{-19}}$$

$= 6.6 \times 10^{-7} \text{ m}$

٣. إذا كانت E تتناسب عكسيًا مع n^2، فإن
$E n^2$ = ثابت.

$n = 1$: $En^2 = -21.8 \times 1 = -21.8$

$n = 2$: $En^2 = -5.4 \times 4 = -21.6$

$n = 3$: $En^2 = -2.4 \times 9 = -21.6$

جميع النواتج تقريبًا هي نفسها.

طريقة أخرى للحل هي مقارنة النسب لـ:

$E_1 : E_n$ و $\frac{1}{(n_1)^2} : \frac{1}{(n_n)^2}$

١٣. أ. ١. يُظهر الإشعاع الكهرومغناطيسي خصائص ترتبط بكل من الجسيمات والموجات.

٢. الإشعاع الذي تردده أدنى من مقدار معيّن لا ينتج تأثيرًا كهروضوئيًا، وطاقة الإلكترونات الضوئية القصوى تتناسب طرديًا مع التردد.

تعتمد طاقة الحزمة (جسيمات) على ترددها (موجات).

ب. ١. طاقة الفوتون أقل من دالة الشغل، وهي أدنى طاقة تلزم لتحرير إلكترونات من سطح الفلز، بالتالي عدم انبعاث إلكترونات ضوئية.

٢. $K.E_{max} = hf - \Phi$، لذلك التقاطع مع المحور السيني (x) = تردد العتبة = 5.6×10^{14} Hz

$\Phi = hf_0 = 6.63 \times 10^{-34} \times 5.6 \times 10^{14}$

$= 3.7 \times 10^{-19}$ J

٣. $K.E_{max} = hf - \Phi$، لذلك الميل = h

$h = \frac{(1.8 - 0) \times 1.6 \times 10^{-19}}{(10 - 5.6) \times 10^{14}} = 6.55 \times 10^{-34}$ J s

$\approx 6.6 \times 10^{-34}$ J s

١٤. أ. تُظهر الإلكترونات ثنائية (ازدواجية) الموجة والجسيم، طول موجة دي بروي هو الطول الموجي للإلكترون (له طاقة محدّدة)، أو هو طول الموجة المصاحب لإلكترون متحرك، ويعطى بالعلاقة $\lambda = \frac{h}{p}$.

ب. ١. طاقة الحركة:

$= 5.0$ keV $= 5000 \times 1.6 \times 10^{-19} = 8.0 \times 10^{-16}$ J

٢. $K.E = \frac{1}{2} mv^2$

$K.Em = \frac{1}{2} m^2v^2$

$mv = p = \sqrt{2\, K.Em}$

$p = \sqrt{2 \times 8.0 \times 10^{-16} \times 9.11 \times 10^{-31}}$

$= 3.8 \times 10^{-23}$ N s

٣. $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{3.8 \times 10^{-23}} = 1.7 \times 10^{-11}$ m

ج. كتلة النيوترونات أكبر من كتلة الإلكترونات، لذلك يكون لها كمية تحرّك أكبر للطاقة نفسها، وبالتالي يكون لها طول موجة أقصر.

١٥. أ. ثابت بلانك h موجود في المعادلة التي تصف السلوك الجسيمي للموجات، حيث $E = hf$ (E طاقة الفوتون و f التردد).

ثابت بلانك h موجود في المعادلة التي تصف السلوك الموجي للجسيمات، حيث $\lambda p = h$ (p كمية التحرّك و λ طول موجة دي بروي).

ب. ١. لفوتون الضوء المرئي كمية تحرّك، فهناك تغيّر في كمية التحرّك عندما يصطدم الفوتون باللوح.

ووفقًا للقانون الثاني لنيوتن، فإن معدل التغيّر في كمية التحرّك لتلك الفوتونات يكون مساويًا للقوة المؤثرة على اللوح.

٢. كمية التحرك:

$p = \frac{E}{c} = \frac{hc}{\lambda c} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{550 \times 10^{-9}}$

$= 1.205 \times 10^{-27}$ N s $\approx 1.2 \times 10^{-27}$ N s

٣. طاقة الفوتون = $\frac{hc}{\lambda}$

عدد الفوتونات في كل ثانية = $\frac{\text{القدرة}}{\text{طاقة الفوتون}}$

$= \frac{AI\lambda}{hc}$

القوة = عدد الفوتونات في كل ثانية × كمية التحرّك لكل فوتون

$F = \frac{AI\lambda}{hc} \times \frac{h}{\lambda} = \frac{AI}{c}$

القوة:

$F = \frac{0.05^2 \times 800}{3.00 \times 10^8} = 6.7 \times 10^{-9}$ N

حل آخر:

طاقة الفوتون = $\frac{hc}{\lambda}$

طاقة الضوء الساقط في كل ثانية = المساحة × شدة الضوء

$= 0.050 \times 0.050 \times 800 = 2.0$ J

عدد الفوتونات في كل ثانية = $\frac{\text{طاقة الضوء الساقط في كل ثانية}}{\text{طاقة الفوتون}}$

$= \frac{2.0}{3.6 \times 10^{-19}} = 5.6 \times 10^{18}$

القوة = عدد الفوتونات في كل ثانية × كمية التحرّك لكل فوتون

$F = 5.6 \times 10^{18} \times 1.2 \times 10^{-27} = 6.7 \times 10^{-9}$ N

إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة

إجابات أسئلة الأنشطة

نشاط ٨-١: الضوء: هل هو موجة أم جسيم؟

١. أ. الحيود والتداخل.

ب. عندما تخرج موجات الضوء من الشقَّين وتصل متعاكسةً في الطور فإنها تلغي بعضها بعضًا؛ أما إذا اعتبرنا أن الضوء عبارة عن جسيمات فإن الجسيمات تمر عبر الشق الأول أو الشق الآخر دون أن يلغي بعضها بعضًا.

٢. أ. يسقط الضوء على سطح فلزي فتنبعث منه إلكترونات.

ب. يُشحن كشاف كهربائي ذو رقاقتَين من الذهب وسطح نظيف مصنوع من الزنك أو المغنسيوم بشحنة سالبة، وعندما يسقط عليه ضوء فوق بنفسجي (تردده أعلى من تردد العتبة لفلز سطح الكشاف) يُلاحظ انطباق الرقاقتَين الأمر الذي يدل على تحرر إلكترونات من سطح الفلز.

٣. أ. أدنى تردد للإشعاع الكهرومغناطيسي يحرّر إلكترونات من سطح فلز.

ب. إذا كان التردد منخفضًا (أقل من تردد العتبة)، فيجب أن يتم زيادة الشدة أو الانتظار لفترة كافية لزيادة الطاقة الممتصة من قبل الفلز حتى يحدث الانبعاث، ولكن هذا الانبعاث لن يحدث لأن الانبعاث مرتبط بطاقة الفوتون.

ج. يحدث الانبعاث عندما تكون طاقة الفوتون أكبر من الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون أي عندما يكون تردد الفوتون أكبر من تردد العتبة.

د. – يحدث الانبعاث فور سقوط ضوء ذي تردد مناسب على السطح.

– لا تعتمد طاقة الحركة القصوى ($K.E_{max}$) للإلكترونات الضوئية على شدة الضوء، بل على تردد الضوء فقط، وأن الضوء مكوّن من جسيمات تدعى فوتونات.

٤. أ. تزداد السعة، في حين يبقى كل من التردد والسرعة نفسَيهما.

ب. تبقى طاقة الفوتون نفسها؛ يزداد عدد الفوتونات المنبعثة في كل ثانية.

ج. ١. تبقى الطاقة القصوى نفسها.

٢. عدد أكبر من الإلكترونات المنبعثة في كل ثانية (أو يزداد).

٥. أ. لا يحدث انبعاث لأن طاقة الفوتون أقل من دالة الشغل، وزيادة السطوع لا تغيّر طاقة الفوتون.

ب. – زيادة تردد الضوء (أو تقليل الطول الموجي).

– استخدام فلز له دالة شغل أقل.

٦. أ. طاقة الفوتون:

$$E = hf = 6.63 \times 10^{-34} \times 6.0 \times 10^{14}$$

$$\approx 4.0 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

ب. كمية تحرك الفوتون:

$$p = \frac{E}{c} = \frac{4.0 \times 10^{-19}}{3.00 \times 10^{8}} = 1.3 \times 10^{-27}\ \text{kg m s}^{-1}$$

ج. طاقة الفوتون:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{4.0 \times 10^{-7}}$$

$$\approx 5.0 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

د. كمية تحرك الفوتون:

$$p = \frac{E}{c} = \frac{5.0 \times 10^{-19}}{3.00 \times 10^{8}} \approx 1.7 \times 10^{-27}\ \text{kg m s}^{-1}$$

٧. أ. طاقة الفوتون:

$$E = hf = 6.63 \times 10^{-34} \times 5.0 \times 10^{14}$$

$$= 3.3 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

ب. عدد الفوتونات المنبعثة في الثانية = $\frac{\text{القدرة}}{\text{طاقة الفوتون}}$

$= \frac{10}{3.3 \times 10^{-19}} = 3.0 \times 10^{19}$

٨. أ. تزداد.

ب. يقل.

ج. يقل.

د. تزداد.

نشاط ٨-٢: المعادلة الكهروضوئية

١. أ. كمة من الطاقة الكهرومغناطيسية.

ب. أدنى طاقة يحتاج إليها الإلكترون ليتحرر من سطح الفلز.

ج. الإلكترونات المنبعثة بطاقة حركة قصوى ($K.E_{max}$) تنبعث من السطح فقط، على افتراض عدم الحاجة إلى طاقة أخرى باستثناء دالة الشغل للتحرر. لكن قد يُفقد بعض الطاقة عندما يصطدم الإلكترون بالذرات والإلكترونات الأخرى في أثناء التحرر.

د. لأن معظم الإلكترونات التي تُعطى طاقة تكون أسفل سطح الفلز وتفقد جزءًا من طاقتها عند خروجها إلى السطح.

٢. $hf = \Phi + K.E_{max}$

$1.20 \times 10^{-18} = \Phi + 5.0 \times 10^{-19}$

$\Phi = 1.20 \times 10^{-18} - 5.0 \times 10^{-19} = 7.0 \times 10^{-19}$ J

٣. $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{3.0 \times 10^{-7}} = 6.6 \times 10^{-19}$ J

$hf = \Phi + K.E_{max}$

$K.E_{max} = hf - \Phi = 6.6 \times 10^{-19} - 3.6 \times 10^{-19}$

$= 3.0 \times 10^{-19}$ J

٤. $hf = \Phi + K.E_{max}$

$= 3.2 \times 10^{-19} + 1.5 \times 10^{-19} = 4.7 \times 10^{-19}$ J

$f = \frac{4.7 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} = 7.1 \times 10^{14}$ Hz

٥. أ. التردد المعطى هو نفسه تردد العتبة f_0 لأن طاقة حركة الإلكترونات تساوي صفرًا.

طول موجة العتبة:

$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{3.00 \times 10^{8}}{5.3 \times 10^{14}} = 5.7 \times 10^{-7}$ m

ب. دالة الشغل:

$\Phi = hf_0 = 6.63 \times 10^{-34} \times 5.3 \times 10^{14}$

$= 3.5 \times 10^{-19}$ J

ج. $hf = \Phi + K.E_{max}$

$K.E_{max} = hf - \Phi$

$= (6.63 \times 10^{-34} \times 6.0 \times 10^{14}) - 3.5 \times 10^{-19}$

$= 4.6 \times 10^{-20}$ J

٦. $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{400 \times 10^{-9}}$

$\approx 5.0 \times 10^{-19}$ J

$hf = \Phi + K.E_{max}$

$\Phi = hf - K.E_{max}$

$= 5.0 \times 10^{-19} - 1.2 \times 10^{-19} \approx 3.8 \times 10^{-19}$ J

٧. طاقة الفوتون (4.0×10^{-19} J) أكبر من دالة الشغل للصوديوم (3.7×10^{-19} J)، ولكنها ليست أكبر من دالة الشغل للزنك (6.9×10^{-19} J)، لذا فإن الانبعاث يحدث من الصوديوم فقط.

٨. أ. $hf = \Phi + K.E_{max}$

بإعادة ترتيب المعادلة لتتطابق مع معادلة الخط المستقيم $y = mx + c$:

$K.E_{max} = hf - \Phi$

المحور الصادي $= K.E_{max}$ (y)

المحور السيني $= f$ (x)

الميل: $m = h$

ب. الميل:

$$= \frac{12.0 \times 10^{-19} - (-2.5 \times 10^{-19})}{2.2 \times 10^{14} - 0.0}$$

$$= 6.6 \times 10^{-33} \text{ J s}$$

ج. نقطة التقاطع مع المحور السيني (x) تمثل تردد العتبة ومنه نحصل على دالة الشغل أو مباشرةً من خلال نقطة التقاطع مع المحور الصادي (y).

د. نقطة التقاطع مع المحور الصادي (y) = -2.5×10^{-19}

$$\Phi = 2.5 \times 10^{-19} \text{ J}$$

هـ. الميل نفسه، ونقطة التقاطع مع المحور الصادي تكون أقرب إلى نقطة الأصل.

نشاط ٨-٣: الأطياف الخطية

١. أ.

مستوى الطاقة الجديد	طاقة الفوتون المنبعث أو الممتص	هل ينبعث فوتون أم يُمتص عندما ينتقل الإلكترون إلى المستوى الجديد؟
-0.54×10^{-18} J	0.3×10^{-18} J	ينبعث
-0.14×10^{-18} J	0.1×10^{-18} J	يمتص
-2.18×10^{-18} J	1.94×10^{-18} J	ينبعث
-0.09×10^{-18} J	0.15×10^{-18} J	يمتص

ب. – رفع درجة الحرارة.

– اصطدامه بإلكترون آخر (في أنبوب التفريغ).

٢. أ. طيف الانبعاث عبارة عن خطوط ملوّنة ساطعة متوازية ذات أطوال موجية محدّدة، أما طيف الامتصاص فعبارة عن خطوط معتمة في طيف مستمر من الألوان.

ب. كلاهما ناتج عن انتقال الإلكترونات بين مستويات الطاقة نفسها، وبالتالي إما أن يُمتص الفوتون أو ينبعث بالتردد نفسه.

ج. باستخدام محزوز الحيود لمشاهدة غاز ساخن (باستخدام أنبوب التفريغ الكهربائي حيث يخضع غاز لفرق جهد كهربائي عالٍ).

د. بتسليط ضوء أبيض عبر غاز بارد والنظر إلى الطيف باستخدام محزوز الحيود.

٣. أ. يتم الحصول على 6 خطوط نتيجة 6 انتقالات بين المستويات المختلفة والانتقالات هي: AB و AC و AD و BC و BD و CD.

ب. تردد أعلى يعني طاقة أعلى.

من -2.4×10^{-19} J إلى -7.6×10^{-19} J

ج. طاقة الفوتون المنبعث:

$$= -2.4 \times 10^{-19} - -7.6 \times 10^{-19} = 5.2 \times 10^{-19} \text{ J}$$

د. طول موجي أعلى يعني طاقة أقل.

من -2.4×10^{-19} J إلى -3.0×10^{-19} J

نشاط ٨-٤: طول موجة دي بروي

١. طول الموجة المصاحب لجسيم متحرك.

٢. أ. طول موجة دي بروي للإلكترون:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.11 \times 10^{-31} \times 1.6 \times 10^{6}}$$

$$= 4.5 \times 10^{-10} \text{ m}$$

ب. $K.E = \frac{1}{2} mv^2$، لذلك سرعة الإلكترون:

$$v = \sqrt{\frac{2KE}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 4.0 \times 10^{-16}}{9.11 \times 10^{-31}}}$$

$$= 3.0 \times 10^{7} \text{ m s}^{-1}$$

كمية تحرك الإلكترون:

$$p = mv = 9.11 \times 10^{-31} \times 3.0 \times 10^{7}$$

$$= 2.7 \times 10^{-23} \text{ kg m s}^{-1}$$

ج. طول موجة دي بروي للإلكترون:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.11 \times 10^{-31} \times 3.0 \times 10^{7}}$$

$$= 2.4 \times 10^{-11}\ \text{m}$$

(أو 2.5×10^{-11} m حسب البيانات الأولية)

٣. أ. كمية تحرك النيوترون:

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{5.0 \times 10^{-12}} = 1.3 \times 10^{-22}\ \text{kg m s}^{-1}$$

ب. سرعة النيوترون:

$$v = \frac{p}{m} = \frac{1.3 \times 10^{-22}}{1.7 \times 10^{-27}} = 7.8 \times 10^{4}\ \text{m s}^{-1}$$

٤. أ. طاقة الحركة النهائية للإلكترون:

$$\text{K.E} = 1000\ \text{eV} = 1000 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$= 1.6 \times 10^{-16}\ \text{J}$$

ب. $\text{K.E} = \frac{1}{2} mv^2$، لذلك السرعة النهائية للإلكترون:

$$v = \sqrt{\frac{2K.E}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-16}}{9.11 \times 10^{-31}}}$$

$$= 1.9 \times 10^{7}\ \text{m s}^{-1}$$

ج. كمية التحرك النهائية للإلكترون:

$$p = mv = 9.11 \times 10^{-31} \times 1.9 \times 10^{7}$$

$$= 1.7 \times 10^{-23}\ \text{kg m s}^{-1}$$

د. طول موجة دي بروي للإلكترون:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1.7 \times 10^{-23}} = 3.9 \times 10^{-11}\ \text{m}$$

٥. أ. حيود الإلكترونات.

ب. p يشير إلى سلوك جُسيمي، λ يشير إلى سلوك موجي.

ج. $\frac{\text{J s}}{\text{N s}} = \frac{\text{N m s}}{\text{N s}} = \text{m}$

٦. أ. طول موجة دي بروي لسامي:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{50 \times 2.0} = 6.6 \times 10^{-36}\ \text{m}$$

ب. إذا كان طول الموجة أقل بكثير من عرض الفجوة، فلن يلاحظ أي حيود. توفّر المسافات الفاصلة بين الذرات فجوات لحيود الإلكترونات.

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. أ. تكون طاقة الفوتون أقل من دالة الشغل للفلز.

ب. – يحدث الانبعاث فور سقوط ضوء مناسب على السطح.

– لا تعتمد طاقة الحركة القصوى للإلكترونات الضوئية على شدة الضوء، بل على تردد الضوء فقط.

ج. الحد الأدنى للتردد:

$$f_0 = \frac{\Phi}{h} = \frac{3.8 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}}$$

$$= 9.2 \times 10^{14}\ \text{Hz}$$

د. طاقة الفوتون الساقط:

$$hf = \Phi + \text{K.E}_{max}$$

$$= (3.8 \times 1.6 \times 10^{-19}) + 4.5 \times 10^{-19}$$

$$= 1.1 \times 10^{-18}\ \text{J} = 6.6\ \text{eV}$$

٢. أ. طول موجة دي بروي يساوي ثابت بلانك مقسومًا على كمية التحرّك.

ب. $K.E = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m}$

$$mv = \sqrt{2mK.E}$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mK.E}}$$

ج. طول موجة دي بروي للإلكترون المتسارع:

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

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}}{\sqrt{(2 \times 9.11 \times 10^{-31} \times (2000 \times 1.6 \times 10^{-19})}}$$

$$= 2.7 \times 10^{-11}\ \text{m}$$

د. لأن طول الموجة مساوٍ تقريبًا للمسافة بين الذرات في البلورة.

٣. أ. يتوافق كل خط مع طول موجي واحد أو تردد واحد، وبما أن $E = hf$ فهذا يعني أن هناك تغيّرًا محددًا (قيمًا منفصلة) في الطاقة $E_1 - E_2$ بين مستويات الطاقة.

ب. ١. طاقة فوتون الإشعاع الأول:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{557 \times 10^{-9}}$$

$$= 3.57 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

طاقة فوتون الإشعاع الثاني:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{358 \times 10^{-9}}$$

$$= 5.56 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

٢. من A إلى B (557 nm) ومن A إلى C (358 nm)؛ لأن الانتقال يجب أن يكون من طاقة عالية إلى طاقة منخفضة لانبعاث الفوتون مع الأخذ في الاعتبار أن الفوتون ذا الطاقة الأعلى يكون له طول موجة أقصر، أما الانتقال من B إلى C فينتج عنه فوتون ذو طاقة (1.24 eV) أي ما يساوي (2.0×10^{-19} J) تقريبًا، وهذه الطاقة هي أقل من طاقة أي من الفوتونين.

٣. طاقة الفوتون عند الانتقال من A إلى B:

$$= 3.57 \times 10^{-19}\ \text{J} = 2.23\ \text{eV}$$

مستوى الطاقة A:

$$= -3.74 + 2.23 = -1.51\ \text{eV}$$

٤. طاقة الفوتون بين B و C:

$$= 4.98 - 3.74 = 1.24\ \text{eV} = 2.0 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

طول الموجة المصاحب:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{2.0 \times 10^{-19}}$$

$$= 1.0 \times 10^{-6}\ \text{m}$$

٤. أ. ١. التأثير الكهروضوئي.

٢. موجة دي بروي.

ب. ١. يكون لأقصر طول موجة أكبر تردد وأكبر تغيّر في الطاقة (من −0.50 eV إلى −3.6 eV).

طاقة الفوتون:

$$= 3.1\ \text{eV} = 5.0 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{5.0 \times 10^{-19}}$$

$$= 4.0 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

٢. $p = \frac{E}{c} = \frac{5.0 \times 10^{-19}}{3.00 \times 10^{8}} = 1.7 \times 10^{-27}\ \text{kg m s}^{-1}$

ج. ١. طول الموجة المصاحب لجُسيم متحرّك، تكون للجُسيم كمية تحرّك أو له سرعة أو له سرعة متجهة.

٢. $v = \frac{h}{m\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.11 \times 10^{-31} \times 4.0 \times 10^{-7}}$

$$= 1.8 \times 10^{3}\ \text{m s}^{-1}$$

الوحدة التاسعة

الفيزياء النووية

نظرة عامة

- يستخدم الطلبة في هذه الوحدة من المنهج معرفتهم السابقة بالنشاط الإشعاعي لاستيعاب مفاهيم تكافؤ الكتلة والطاقة، والنقص في الكتلة، وطاقة الربط النووي، والانشطار النووي والاندماج النووي.
- تؤدي دراسة الطبيعة العشوائية والتلقائية للإشعاع النووي إلى مفاهيم عمر النصف والنشاط الإشعاعي وثابت الانحلال والطبيعة الأُسّية للانحلال الإشعاعي.
- توفّر معادلة أينشتاين للكتلة والطاقة ومعادلات النشاط الإشعاعي وعمر النصف فرصًا للطلبة لممارسة مزيد من المهارات الرياضية بالإضافة إلى مهارات التمثيل البياني.
- يتوقع من الطالب خلال هذه الوحدة أن:

– يعبّر عن تفاعلات نووية بسيطة بمعادلات نووية موزونة.

– يستخدم معادلة تكافؤ الطاقة والكتلة $E = mc^2$.

– يعرّف مصطلحَي النقص في الكتلة Δm وطاقة الربط النووي ΔE ويستخدمهما.

– يحسب الطاقة المتحرّرة في التفاعلات النووية باستخدام المعادلة: $\Delta E = \Delta mc^2$.

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

– يقارن أوجه التشابه والاختلاف بين الاندماج النووي والانشطار النووي.

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

– يصف الدليل على الطبيعة العشوائية للانحلال الإشعاعي، بدلالة معدّل العدّ.

– يذكر أسباب اعتبار أن الانحلال الإشعاعي يكون تلقائيًا وعشوائيًا.

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

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

– يصف الطبيعة الأُسّية 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.

- ثمّة فرص لتغطية جميع أهداف التقويم الثلاثة: AO1 (المعرفة والفهم)، AO2 (معالجة المعلومات وتطبيقها وتقييمها) و AO3 (المهارات والاستقصاءات التجريبية)، وهدف التقويم الثالث يتضمن التحديد التجريبي لعمر النصف للمادة المشعة في المختبر.

مخطط التدريس

أهداف الموضوع	الموضوع	عدد الحصص	المصادر في كتاب الطالب	المصادر في كتاب التجارب العملية والأنشطة
٩-١، ٩-٢، ٩-٣، ٩-٤	٩-١ المعادلات النووية ٩-٢ الكتلة والطاقة ٩-٣ الطاقة المنبعثة في الانحلال الإشعاعي	٥	الأسئلة من ١ إلى ٨ أسئلة نهاية الوحدة: ١، ٣، ٤، ٥	نشاط ٩-١ وزن المعادلات النووية أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٩-٣، ٩-٥، ٩-٦، ٩-٧	٩-٤ طاقة الربط النووي واستقرار النواة	٤	الأسئلة من ٩ إلى ١٢ أسئلة نهاية الوحدة: ٦، ٧، ٨، ١٣، ١٤، ١٦	نشاط ٩-٢ النقص في الكتلة وطاقة الربط النووي نشاط ٩-٣ طاقة الربط لكل نيوكليون والاندماج النووي والانشطار النووي أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع
٩-٨، ٩-٩، ٩-١٠، ٩-١١، ٩-١٢	٩-٥ العشوائية والانحلال الإشعاعي ٩-٦ نمذجة الانحلال الإشعاعي رياضيًا ٩-٧ التمثيلات البيانية للانحلال ومعادلاته ٩-٨ ثابت الانحلال λ وعمر النصف $t_{\frac{1}{2}}$	٨	الأسئلة من ١٣ إلى ٢٢ أسئلة نهاية الوحدة: ٢، ٩، ١٠، ١١، ١٢، ١٥	نشاط ٩-٤ عمر النصف وثابت الانحلال الاستقصاء العملي ٩-١: تحليل البيانات: إيجاد ثابت الانحلال الإشعاعي أسئلة نهاية الوحدة المرتبطة بالموضوع

الموضوعات ٩-١: المعادلات النووية، ٩-٢: الكتلة والطاقة، ٩-٣: الطاقة المنبعثة في الانحلال الإشعاعي

الأهداف التعليمية

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: $\Delta E = \Delta mc^2$.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذه الموضوعات ٥ حصص دراسية (٣ ساعات و ٢٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٩-١ المعادلات النووية ٩-٢ الكتلة والطاقة ٩-٣ الطاقة المنبعثة في الانحلال الإشعاعي	• الأمثلة ١-٣ • الأسئلة من ١ إلى ٨
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٩-١ وزن المعادلات النووية	• تساعد أسئلة النشاط ٩-١ في التدرّب على وزن المعادلات النووية، بالإضافة إلى التعرف على الجسيمات وأنواع التفاعل.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- غالبًا ما يشعر بعض الطلبة بالحيرة بسبب معادلة أينشتاين للكتلة والطاقة $\Delta E = \Delta mc^2$، ولذلك يجب أن يفهموا أن كتلة النظام تزداد عندما يُزوّد بالطاقة، أمّا عندما تُحرّر الطاقة من النظام فإن كتلته تنقص، ومن المفيد تذكير الطلبة بأن هذه المعادلة لا تنطبق على العمليات النووية فقط بل على جميع تغيّرات الطاقة، ومع ذلك فإن كمية الكتلة الإضافية في مواقف الحياة اليومية تكون صغيرة جدًا بحيث لا يمكن قياسها، إلا أن التغيّرات الكبيرة في الطاقة التي تحدث في الفيزياء النووية تجعل التغيّرات في الكتلة ذات أهمية.

أنشطة تمهيدية

يجب أن يكون لدى الطلبة فهم للنموذج النووي البسيط للذرة، بما في ذلك فهم لمعنى عدد البروتونات وعدد النيوكليونات، ويمكنك الاستفادة من المعرفة السابقة للطلبة لشرح مفهوم تكافؤ الكتلة والطاقة ومعادلة أينشتاين، إذ يحتاجون إلى مزيد من الخبرة في العمليات الحسابية التي تتضمن وحدة الكتلة الذرية وتحويل وحدات الكتلة والطاقة أيضًا.

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

فكرة أ (١٥ دقيقة)

- وزّع الطلبة في مجموعات ثلاثية واطلب إليهم كتابة ملخّص للمفاهيم المهمة في النشاط الإشعاعي من دراساتهم السابقة، يمكنهم الكتابة عن عدة عناصر مثل تشتت جسيمات ألفا والنواة، والنموذج النووي للذرة، وماهية النظائر، والقوى في النواة، والجسيمات الأساسية، والإشعاع الناتج عن المواد المشعة وغير ذلك. شجّع الطلبة على عرض أفكارهم أمام زملائهم في الصف.

› **فكرة للتقويم:** ناقش الطلبة لتعرف مدى قدرتهم على تذكّر المعارف السابقة وتلخيصها لمختلف المفاهيم في النشاط الإشعاعي، ويجب أن يكون جميع الطلبة قادرين على وصف بنية الذرات (النموذج البسيط للذرة، مراجعة سريعة للمعارف الأساسية).

فكرة ب (١٠ دقائق)

- أعطِ الطلبة نشاطًا سريعًا يتضمن الأسئلة الآتية:
  - ممّ تتكوّن النواة؟

- ما الذي يربط النواة بعضها ببعض؟
- لماذا لا تؤدي قوة التنافر الكهروستاتيكية إلى تفكّك النواة؟
- ما العلاقة بين النواة والنشاط الإشعاعي؟

› **فكرة للتقويم:** يمكنك تقويم المعارف السابقة من خلال الإجابات والتفسيرات التي يقدمها الطلبة، وقد تعطي بضع دقائق لإعادة النظر في النموذج البسيط للذرة وتوضيح أي مفاهيم خاطئة.

الأنشطة الرئيسية

١ التدرّب على وزن المعادلات النووية (٤٠ دقيقة)

- يقدّم النشاط ٩-١ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة للطلبة فرصة للتدرّب على وزن المعادلات النووية.

› **فكرة للتقويم:** استخدم نتائج حلول الطلبة لتقويم ما إذا كانوا قد فهموا كيفية وزن المعادلات النووية بشكل صحيح، وبإمكانهم تصحيح أعمال بعضهم، ثم تقديم تفسيرات واضحة حول أي أخطاء وتفصيل أي نقص في التفسير، وبعد ذلك يمكنك تقديم الإجابات الصحيحة للتأكّد من صحة أعمالهم.

٢ تكافؤ الكتلة والطاقة (٤٠ دقيقة)

- وزّع الطلبة في مجموعات لإجراء عصف ذهني حول كيفية إنتاج الشمس لطاقتها، وأرشدهم لمناقشة مفهوم تحوّل الكتلة إلى طاقة والقراءة عن معادلة أينشتاين الشهيرة $E = mc^2$، معطيًا إياهم فرصة البحث عن المعلومات عبر الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) أو من مصادر أخرى، واطلب إليهم التفكير في نواة الهيليوم، ثم النظر إلى كتلة النواة والكتلة الكلية لجميع النيوكليونات المنفصلة المكونة لها. اشرح أهمية مصطلح «النقص في الكتلة» ومفهوم تكافؤ الكتلة والطاقة من خلال الطلب إلى طلبة الصف بأكمله المشاركة في المناقشة. قدّم أيضًا العلاقة $\Delta E = \Delta mc^2$ (التغيّر في الكتلة بسبب التغيّر في الطاقة)، واطلب إلى الطلبة تعريف النقص في الكتلة كما ورد في كتاب الطالب، كما يمكنك الاطلاع على المثال ٣ للتأكيد على الخطوات الأساسية في حساب الطاقة اللازمة لفصل النواة إلى نيوكليوناتها المنفصلة، ويجب على الطلبة حلّ الأسئلة من ١ إلى ٥ الواردة في كتاب الطالب لتقوية استيعابهم للمفاهيم.

› **فكرة للتقويم:** تأكّد من فهم الطلبة لمعاني النواة الأم والنواة الوليدة، ويجب عليهم إدراك مفهوم تكافؤ الكتلة والطاقة وفهم مصطلح «النقص في الكتلة».

٣ وحدة أخرى للكتلة والمعادلات النووية (٤٠ دقيقة)

- أخبر الطلبة أن وحدة كتلة ذرية واحدة (1 u) تعادل ($1.660538922 \times 10^{-27}$ kg) ويمكن أن يرى الطلبة أيضًا أن وحدة الكتلة الذرية (u) قد يُشار إليها أيضًا باسم دالتون (Da). اطلب إلى الطلبة حساب طاقة الكتلة السكونية بدلالة وحدة الكتلة الذرية (u) للجسيمات المختلفة (الإلكترون، البروتون، النيوترون، الهيليوم-4، وغير ذلك)، ويمكنك إعطاء الطلبة مجموعة مختارة من معادلات الانحلال النووي مع بعض الكميات المجهولة من أجل استنتاجها، ولشرح كيفية حساب الطاقة المنبعثة في الانحلال الإشعاعي من المعادلات النووية. يحتاج الطلبة إلى التدرّب على الأسئلة المتعلقة بالحسابات (تحويل الوحدات) التي تتضمن وحدات الكتلة الذرية والطاقة، وتوفّر الأسئلة من ٦ إلى ٨ الواردة في كتاب الطالب فرصة للطلبة لتعزيز مهاراتهم الرياضية الأساسية.

فكرة للتقويم: يجب أن يكون الطلبة قادرين على تذكّر أهمية وحدة الكتلة الذرية من المعارف السابقة، وتأكّد من أنهم يدركون فكرة إمكانية التعبير عن الكتلة بوحدة (u) وعن الطاقة بوحدة eV و J، باستخدام مفهوم تكافؤ الكتلة والطاقة.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

يمكن للطلبة ذوي التحصيل الدراسي المرتفع البحث عبر الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) عن قاعدة بيانات للأنوية المختلفة، وحساب النقص في الكتلة لهذه الأنوية، الأمر الذي يعطيهم رؤية أفضل عن الطاقة المتحرّرة عند تفكّك الأنوية المختلفة إلى مكوناتها المنفصلة (البروتونات والنيوترونات)، كما يمكنهم تقديم الدعم للطلبة الآخرين في مجموعتهم عند التعامل مع الحسابات التي تتضمن تحويل وحدات النقص في الكتلة والطاقة أيضًا، ومع ذلك يجب عليك التأكّد من أن الجميع يعتبرون ذلك وسيلة إيجابية للتعلّم وتحسين مهاراتهم الرياضية.

الدعم

قد يحتاج الطلبة إلى مزيد من الدعم لفهم سبب كون الكتلة الكلية للنيوكليونات المنفصلة أكبر من كتلة النواة قبل أن تنفصل، ذكّرهم بأنه عند رفع كل نيوكليون من بئر جهده، يجب بذل شغل لسحبه بعيدًا عن جاذبية القوة النووية القوية داخل النواة، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة طاقة الوضع للنيوكليونات الفردية وبالتالي زيادة كتلتها حسب مفهوم تكافؤ الطاقة والكتلة.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اطلب إلى الطلبة شرح سبب اكتساب النيوكليونات المنفصلة بعد تفكيك النواة كتلة أكبر من النواة نفسها.
- اطلب إلى الطلبة شرح ما إذا كان مفهوم حفظ الكتلة والطاقة ينطبق على مواقف الحياة الواقعية.

الموضوع ٩-٤: طاقة الربط النووي واستقرار النواة

الأهداف التعليمية

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

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.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

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

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٩-٤ طاقة الربط النووي واستقرار النواة	• المثال ٤ • الأسئلة من ٩ إلى ١٢
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٩-٢ النقص في الكتلة وطاقة الربط النووي نشاط ٩-٣ طاقة الربط لكل نيوكليون والاندماج النووي والانشطار النووي	• تطوّر أسئلة النشاط ٩-٢ الفهم حول بعض المصطلحات التي تخص نواةً ما كالنقص في الكتلة وطاقة الربط النووي وعدد النيوكليونات وعدد البروتونات... إلخ. كما تعزز الفهم لإمكانية قياس الكتل بالكيلوغرام أو بوحدة الكتلة الذرية (u) ولإمكانية قياس الطاقة بالجول أو بالإلكترون ڤولت (eV). • تساعد أسئلة النشاط ٩-٣ على فهم الاختلاف بين طاقة الربط النووي وطاقة الربط لكل نيوكليون، وكيفية استخدامهما لحساب الطاقة المنبعثة خلال تفاعل نووي ما.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- يعتقد الطلبة في بعض الأحيان أن طاقة الربط النووي هي الطاقة المخزّنة في النواة وهذا غير صحيح، وضّح لهم أن طاقة الربط النووي هي كمية الطاقة التي يجب تزويد النواة بها من أجل تفكيكها إلى مكوناتها (البروتونات والنيوترونات)، ويجب أن يفهموا أيضًا أن طاقة الربط لكل نيوكليون تشير إلى الاستقرار النسبي للنيوكليونات المختلفة، فطاقة الربط الأكبر لكل نيوكليون تعني نواة أكثر تماسكًا.
- قد يخلط بعض الطلبة بين مصطلحَي «الانشطار النووي» و «الاندماج النووي»، ومن المفيد الإشارة إلى أن الانشطار النووي هو تفكّك نواة ثقيلة إلى نواتَين أخف (جزأين أصغر) لهما الكتلة نفسها تقريبًا، في حين أن الاندماج النووي هو العملية التي يتم من خلالها ربط نواتَين خفيفتَين جدًا معًا لتكوين نواة أثقل.

أنشطة تمهيدية

سيكون الطلبة قد درسوا الاستقرار النووي، وسيكون لديهم وعي بمفهوم تكافؤ الكتلة والطاقة من الموضوع السابق، ويمكنك توسيع المعرفة السابقة للطلبة من خلال مناقشة استقرار الأنوية المختلفة، وعلاقتها بطاقة الربط لكل نيوكليون ومنحنيات طاقة الربط، وقد درس الطلبة أيضًا الانشطار النووي والاندماج النووي في دراساتهم السابقة، لكنهم سيحتاجون إلى مزيد من المعارف لفهم الفرق بين الانشطار النووي والاندماج النووي، وربط هذه العمليات النووية بالتمثيل البياني لطاقة الربط النووي.

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

فكرة أ (١٥ دقيقة)

- يعمل الطلبة في مجموعات صغيرة لمناقشة مدى أهمية مبدأ حفظ الطاقة في الفيزياء، اطلب إليهم كتابة بعض الأمثلة عن حفظ الطاقة من عدة موضوعات في الفيزياء، ويمكنهم أيضًا مناقشة مفاهيم كمية التحرّك وطاقة الحركة، فشجّعهم على مشاركة شرح أفكارهم مع زملائهم في الصف.

› **فكرة للتقويم:** أدِر مناقشة في الصف لإجراء تقويم تكويني (بنائي) لقياس معرفة الطلبة السابقة بالأنوية المستقرة من خلال قراءة ملاحظاتهم أو الاستماع إلى تفسيراتهم، ويمكنك تخصيص خمس دقائق لمراجعة بعض المفاهيم التي تناولها الطلبة في دراساتهم السابقة.

فكرة ب (١٥ دقيقة)

- يمكن إعطاء الطلبة نشاطًا سريعًا يتعيّن عليهم فيه:
  - شرح موجز لسبب كون الكتلة الكلية للنيوكليونات المنفصلة أكبر من كتلة النواة.
  - ذكر معادلة أينشتاين للكتلة والطاقة ودلالة الرموز الموجودة في المعادلة.
  - تعريف وحدة الكتلة الذرية (u).

› **فكرة للتقويم:** يمكنك تقويم المعارف السابقة للطلبة من خلال شرح أفكارهم، وقد يكون من المفيد تخصيص بضع دقائق لإعادة النظر في مفهوم تكافؤ الكتلة والطاقة وتوضيح أي مفاهيم خاطئة.

الأنشطة الرئيسية

١ منحنى طاقة الربط (٤٠ دقيقة)

- يقرأ الطلبة الموضوع ٩-٤ طاقة الربط النووي واستقرار النواة الوارد في كتاب الطالب، ثم يكتبون تعريف طاقة الربط النووي في دفاترهم. اطلب إليهم أن يناقشوا مع زملائهم ما يحدث لطاقة الربط النووي عندما يزداد عدد النيوكليونات في النواة، وزوّدهم بجدول طاقة الربط النووي لعدة أنوية، واطلب إليهم حساب طاقة الربط لكل نيوكليون لبعض الأنوية، ويمكن للطلبة في مجموعات ثلاثية رسم تمثيل بياني لطاقة الربط لكل نيوكليون مقابل عدد النيوكليونات لأنوية مستقرة، واطلب إليهم توضيح السمات الرئيسية للتمثيل البياني الخاص بهم ومناقشة أهمية طاقة الربط لكل نيوكليون في مقارنة استقرار الأنوية المختلفة، ويمكنهم حلّ السؤالَين ٩ و ١٠ الواردَين في كتاب الطالب لتعزيز فهمهم لاستقرار النواة، واطلب إليهم أيضًا مناقشة المثال ٤ الوارد في كتاب الطالب، بحيث يجب عليهم أن يعرفوا الخطوات المهمة في حسابات طاقة الربط النووي وطاقة الربط لكل نيوكليون.

› **فكرة للتقويم:** يجب أن يفهم الطلبة أن طاقة الربط النووي هي أدنى طاقة مطلوبة للفصل التام لجميع البروتونات والنيوترونات الموجودة في النواة، وتأكّد من أنهم يفهمون أن النواة تصبح أكثر استقرارًا مع زيادة طاقة الربط لكل نيوكليون.

٢ الانشطار النووي والاندماج النووي (٤٠ دقيقة)

- وزّع طلبة الصف في مجموعات ثلاثية، واطلب إلى بعض المجموعات إجراء بحث حول الانشطار النووي، واطلب إلى مجموعات أخرى البحث في الاندماج النووي، ثم ناقشهم في أهمية التمثيل البياني لطاقة الربط النووي في التفاعلات النووية، بما في ذلك الانشطار النووي والاندماج النووي، واطلب إلى الطلبة البحث عن الأنوية التي يمكن أن يحدث لها انشطار وتلك التي يمكن أن يحدث لها اندماج، ثم وصف ما يحدث لطاقة الربط لكل نيوكليون، معطيًا فرصة لهم للبحث عن المعلومات عبر الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) أو المصادر الأخرى، وشجّعهم على تقديم نتائجهم إلى الطلبة الآخرين على شكل ملصقات، وخرائط ذهنية، وعروض تقديمية (PowerPoint) وغير ذلك، ويمكن للطلبة حلّ السؤالَين ١١ و ١٢ لتقوية فهمهم لهذه التفاعلات النووية أيضًا.

› **فكرة للتقويم:** تأكّد من أن الطلبة يفهمون الفرق بين الانشطار النووي والاندماج النووي، وما إذا كانوا قادرين على ربط هذه التفاعلات النووية بالتمثيل البياني لطاقة الربط النووي.

٣ مسائل تدريبية باستخدام العلاقة بين الكتلة والطاقة (٤٠ دقيقة)

- يتدرب الطلبة على كثير من الأمثلة التي تتضمن استخدام معادلة أينشتاين لتكافؤ الكتلة والطاقة، وطاقة الربط النووي، وطاقة الربط لكل نيوكليون، والتمثيلات البيانية لطاقة الربط النووي، تدرج في مستوى الأسئلة المعطاة للطلبة بحيث تقوي استيعابهم المفاهيمي وكذلك المهارات الرياضية الأساسية، ويوفّر النشاطان ٩-٢ و ٩-٣ الواردان في كتاب التجارب العملية والأنشطة أمثلة على تلك الأسئلة. ذكّر الطلبة بضرورة توضيح الخطوات المهمة في حساباتهم، كما هو مبيّن في المثال ٤ الوارد في كتاب الطالب.

› **فكرة للتقويم:** استخدم نتائج حسابات الطلبة لتقويم ما إذا كانوا قد فهموا كيفية تطبيق معادلة أينشتاين لتكافؤ الكتلة والطاقة، وهل يمكنهم حساب طاقة الربط لكل نيوكليون في حالات مختلفة؟ يمكن للطلبة تصحيح أعمال بعضهم، ثم تقديم تفسيرات واضحة حول أي أخطاء وتفصيل أي نقص في التفسير، وبعد ذلك يمكنك تقديم الإجابات الصحيحة ليتأكّدوا من صحة أعمالهم.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدي

إذا كانت هناك حاجة إلى مزيد من التحدي، فيمكن للطلبة البحث في تطبيقات الانشطار النووي والاندماج النووي، على سبيل المثال يمكن للطلبة القراءة عن مفاعلات الانشطار النووي والتفاعلات المتسلسلة داخل محطة الطاقة النووية لتوليد الكهرباء. يرسم الطلبة رسمًا تخطيطيًا معنونًا لمفاعل نووي بسيط، ويشرحون وظائف المُهدّئ وقضبان التحكّم والمبرّد والعوامل المؤثرة على اختيار المواد لكل منها، ثم يصفون أي احتياطات تتعلق بالأمان والسلامة بالإضافة إلى ذلك يمكنهم إجراء بحث عبر الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) حول الاستخدام الأساسي (الأكثر شيوعًا) للانشطار النووي المتسلسل في القنبلة الذرية والتطبيقات الأخرى مثل تسيير الغواصات النووية، والبحث عن الاندماج النووي الحراري في الشمس والنجوم الأخرى، ثم تلخيص العملية التي يتم من خلالها إنتاج الطاقة في الشمس، وربط ذلك بتمثيل بياني للطاقة واستقرارها، ويجب على الطلبة التأكيد على الظروف الضرورية لحدوث الاندماج النووي، فشجّعهم على مشاركة النتائج التي توصلوا إليها مع بعضهم من خلال تصميم ملصقات لذلك أو إعداد تقارير عبر عروض تقديمية قصيرة (PowerPoint).

الدعم

قد يجد بعض الطلبة صعوبة في فهم مدى أهمية طاقة الربط لكل نيوكليون في الاندماج النووي والانشطار النووي؛ إذ يحتاجون إلى فهم أن التغير في طاقة الربط لكل نيوكليون يوضّح أن الطاقة تتحرّر عندما تخضع الأنوية الخفيفة للاندماج النووي وعندما تخضع الأنوية الثقيلة للانشطار النووي؛ لأن هذه التفاعلات النووية تميل إلى زيادة طاقة الربط لكل نيوكليون، وبالتالي تؤدي إلى أنوية أكثر استقرارًا، ويجب عليك الرجوع إلى التمثيل البياني لطاقة الربط (منحنى طاقة الربط لكل نيوكليون) لتوضيح الاندماج النووي والانشطار النووي.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اسأل الطلبة: ما الخطوات المهمّة في حساب طاقة الربط لكل نيوكليون في النواة؟
- اطلب إلى الطلبة شرح المقصود بالاندماج النووي، وسبب عدم حدوثه إلّا عند درجات حرارة عالية جدًا.

الموضوعات ٩-٥: العشوائية والانحلال الإشعاعي، ٩-٦: نمذجة الانحلال الإشعاعي رياضيًا، ٩-٧: التمثيلات البيانية للانحلال ومعادلاته، ٩-٨: ثابت الانحلال λ وعمر النصف $t_{1/2}$

الأهداف التعليمية

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.

عدد الحصص المقترحة للتدريس

يخصص لتنفيذ هذه الموضوعات ٨ حصص دراسية (٥ ساعات و ٢٠ دقيقة).

المصادر المرتبطة بالموضوع

المصدر	الموضوع	الوصف
كتاب الطالب	٩-٥ العشوائية والانحلال الإشعاعي ٩-٦ نمذجة الانحلال الإشعاعي رياضيًا ٩-٧ التمثيلات البيانية للانحلال ومعادلاته ٩-٨ ثابت الانحلال λ وعمر النصف $t_{\frac{1}{2}}$	• الأمثلة ٥، ٦، ٧، ٨ • الأسئلة من ١٣ إلى ٢٢
كتاب التجارب العملية والأنشطة	نشاط ٩-٤ عمر النصف وثابت الانحلال الاستقصاء العملي ٩-١: تحليل البيانات: إيجاد ثابت الانحلال الإشعاعي	• تساعد أسئلة النشاط ٩-٤ في التدريب لتحديد فترات عمر النصف والتعامل مع معادلات الانحلال الأسّي، كما ستعزز معرفة الطلبة بالفرق بين الانحلال العشوائي والانحلال التلقائي. • يساعد الاستقصاء على إيجاد ثابت الانحلال الإشعاعي لنظير البروتكتينيوم، مستخدمًا نتائج تجربة على الانحلال الإشعاعي.

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- يحار الطلبة أحيانًا حول الطبيعة التلقائية والعشوائية للانحلال النووي، فذكّرهم بأن الانحلال النووي يحدث تلقائيًا؛ لأن انحلال نواة معيّنة لا يتأثر بوجود أنوية أخرى، ولا يمكن أن يتأثر معدّل الانحلال بالتفاعلات الكيميائية أو العوامل الخارجية مثل درجة الحرارة والضغط، ويكون الانحلال النووي عشوائيًا لأنه من المستحيل التنبؤ بموعد انحلال نواة معيّنة في عيّنة، فكل نواة في العيّنة لديها فرصة الانحلال نفسها في كل وحدة زمنية.
- يجب على الطلبة أن يفهموا الفرق الواضح بين ثابت الانحلال والنشاط الإشعاعي، وضّح لهم أن ثابت الانحلال (المعروف أيضًا باسم ثابت التفكّك) هو احتمال انحلال نواة فردية لكل وحدة زمنية، في حين أن النشاط الإشعاعي لعيّنة ما مشعة هو المعدّل الذي تنحلّ فيه الأنوية أو تتفكّك، ويقاس النشاط الإشعاعي بعدد الانحلالات لكل ثانية ووحدة النشاط الإشعاعي في النظام الدولي للوحدات (SI) هي البيكريل ($1\ Bq = 1\ s^{-1}$).

أنشطة تمهيدية

درس الطلبة مفهوم عمر النصف في الصف العاشر، كما أنهم على معرفة بالسلوك الأُسّي للعمليات المختلفة في مختلف المجالات الواردة في الكتاب، والتي يمكنك الاستعانة بها لمناقشة الطبيعة العشوائية والتلقائية للانحلال الإشعاعي، بالإضافة إلى الجانب الرياضي المتعلق بالانحلال النووي، سيحتاج الطلبة إلى العديد من المسائل التدريبية ليتمكنوا من تطبيق المعادلات بشكل صحيح في حالات مختلفة.

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

فكرة أ (١٥ دقيقة)

- يبحث الطلبة ضمن مجموعات ثلاثية في السلوك الأُسّي للعمليات في موضوعات مختلفة في الفيزياء، لذا أعطِهم فرصة للبحث عن المعلومات عبر الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) أو الرجوع إلى كتاب الطالب، قد تشمل عناصر البحث الشحنة على مكثف التفريغ في دائرة RC، وانخفاض سعة الاهتزازة المخمدة في الحركة التوافقية البسيطة، وقانون التبريد لنيوتن، ويمكن للطلبة رسم تمثيلات بيانية مُعنونة لتوضيح الاضمحلال الأُسّي لكل كمية فيزيائية مع مرور الزمن، وعليهم أن يذكروا المعادلات التي تقابل كل اضمحلال، وبعد ذلك يمكنك دعوة طالب أو اثنين من كل مجموعة ليشاركا أفكارهما مع طلبة الصف.

› **فكرة للتقويم:** قِس معرفة الطلبة السابقة بالمفهوم من خلال تفسيراتهم له، وتأكّد من أنهم يفهمون معنى الاضمحلال الأُسّي الذي درسوه في وحدة المكثفات أي الوحدة الرابعة في الفصل الدراسي الأول، وقد يكون الطلبة سبق أن درسوا الدوال الأُسّية (الانخفاض الأُسّي للكميّات) في مادة الرياضيات.

فكرة ب (١٥ دقيقة)

- اطلب إلى الطلبة العمل في مجموعات صغيرة لكتابة كل ما يعرفونه عن عمر النصف من خلال جلسة عصف ذهني، داعيًا كل مجموعة منهم إلى تقديم حقيقة مختلفة عن عمر النصف، ويمكن أن تتضمن عناصر الكتابة ما يعنيه عمر النصف، ورسومًا تخطيطية لمنحنيات الانحلال الأُسّي لتوضيح فكرة عمر النصف في موضوعات مختلفة (مثل الاهتزازات المخمّدة ودوائر التفريغ RC)، وأي معادلات أخرى والاختيار متروك للطلبة.

› **فكرة للتقويم:** ناقش الطلبة لتعرف مدى قدرتهم على تذكّر معنى عمر النصف كما هو مطبّق في التمثيلات البيانية للانحلال الأُسّي، وتأكّد من أنهم يفهمون أن عمر النصف هو الزمن الذي تستغرقه الكمية الفيزيائية لتنخفض قيمتها إلى نصف قيمتها الابتدائية.

الأنشطة الرئيسية

١ طبيعة الانحلال الإشعاعي وثابت الانحلال والنشاط الإشعاعي (٤٠ دقيقة إلى ساعة واحدة)

- استخدم أنبوب جايجر-مولر (GM) للكشف عن الإشعاع من مصدر ضعيف، بحيث يستمع الطلبة إلى معدّل العدّ، واطلب إليهم وصف أصوات الصفير أو النقر (بطريقة عشوائية وغير منتظمة)، ثم محاولة التنبؤ بموعد صدور النقرة التالية. يرسم الطلبة تمثيلًا بيانيًا لمعدل العدّ مقابل الزمن، فاطلب إليهم تسجيل معدل العدّ على مدى فترة من الزمن، وإذا لم يكن الجهاز متوفرًا، فإنه يمكن توفير أمثلة لعرضها من خلال البحث عبر الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) عن مقاطع فيديو حول «الطبيعة العشوائية والتلقائية لمسارات انبعاثات ألفا في حجرة الضباب (random and spontaneous nature of the emissions of alpha tracks in a cloud chamber)» أو «غرفة الضباب ومسارات الجسيمات (cloud chamber and particle tracks)». يناقش الطلبة في مجموعات ثلاثية أن الانحلال الإشعاعي لا يمكن التنبؤ به إطلاقًا. اشرح أهمية مصطلحَي الطبيعة «العشوائية» و«التلقائية» للانحلال الإشعاعي من خلال تشجيع طلبة الصف بأكمله على المشاركة في المناقشة، ويمكنك بعد ذلك تثبيت المصطلحات «ثابت الانحلال أو التفكّك» (λ)، و «النشاط الإشعاعي» (A)، والمعادلات $A = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$ و $A = \lambda N$. اطلب إلى الطلبة تفسير معنى الإشارة السالبة في المعادلة الأولى، ثم مناقشة دلالة قيم ثابت الانحلال الكبيرة والصغيرة. يناقش الطلبة العلاقة بين معدل العدّ (R) والنشاط الإشعاعي (A) لعيّنة من المواد المشعة، وعليهم التدرّب على الأسئلة التي تتضمن استخدام هذه المعادلات، وتوفّر الأسئلة ١٣-١٥ الواردة في كتاب الطالب والنشاط ٩-٤ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة مثل هذه الأسئلة، ويجب عليك التأكيد على أهمية كل خطوة في استخدام هذه العلاقات، كما هي الحال في المثالين ٥ و ٦ الواردَين في كتاب الطالب.

› **فكرة للتقويم:** يجب على الطلبة أن يدركوا أن الانحلال النووي هو تلقائي وعشوائي بطبيعته، وتأكّد من أنهم يفهمون أن عدم القدرة على التنبؤ يعني أن معدلات العدّ تميل إلى التذبذب، ولذلك فمن الملائم أكثر الحديث عن متوسط عدد الأنوية التي تنحلّ خلال فترة زمنية معيّنة، وهذا هو متوسط معدّل الانحلال.

٢ تحديد عمر النصف (٤٠ دقيقة إلى ساعة واحدة)

› **إرشادات عملية:** راجع المهارة العملية الواردة في كتاب الطالب لتحديد عمر النصف للبروتكتينيوم-234، مذكّرًا الطلبة بمخاطر المواد المشعة، بحيث يجب عليهم اتباع تعليمات الأمان والسلامة المناسبة في أثناء التجربة.

- يجري الطلبة في مجموعات صغيرة تجربة لتحديد عمر النصف لأنوية مشعة، على سبيل المثال البروتكتينيوم-234 أو الرادون وإذا لم تكن الأدوات متوفرة، يمكن للطلبة محاكاة الانحلال الإشعاعي باستخدام عدد كبير (على سبيل المثال 500) من أحجار النرد المكعبة لتمثيل أنوية الذرات غير المستقرة، ثم يقومون برمي أحجار النرد ورؤية الأرقام الموجودة على الأوجه العلوية لمكعبات النرد، بعد ذلك يقومون بإزالة كل مكعب يسقط وعلى وجهه العلوي رقم محدّد، على سبيل المثال رقم ٦ (الذي يمثل انحلال النواة)، ويكرّر الطلبة العملية نفسها عدة مرات، ويرسمون تمثيلًا بيانيًا لعدد مكعبات النرد المتبقية مقابل عدد الرميات، ثم يناقشون العلاقة بين الانحلال الأُسّي للنرد وانحلال الأنوية المشعة، ويحددون عمر النصف للنرد من منحنى الانحلال الأُسّي. يمكنك كتابة الصيغة $N = N_0 e^{-\lambda t}$ من خلال طلب

المشاركة لطلبة الصف بأكمله في المناقشة، فاطلب إليهم التوصّل إلى معادلة عمر النصف بدلالة ثابت الانحلال، $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}}$، ويمكن للطلبة حلّ الأسئلة ١٦–٢٢ الواردة في كتاب الطالب والنشاط ٩–٤ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة لتعزيز فهمهم للمعادلات الرياضية للانحلال الإشعاعي.

› **فكرة للتقويم:** يجب أن يكون الطلبة قادرين على تعريف عمر النصف واستخدام العلاقة $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}}$ أو $\lambda = \frac{0.693}{t_{\frac{1}{2}}}$. تأكّد من أنهم يفهمون الطبيعة الأُسّية للانحلال الإشعاعي، ومن أنهم قادرون على رسم العلاقة $x = x_0 e^{-\lambda t}$ واستخدامها، حيث يمكن أن تمثل x النشاط الإشعاعي أو عدد الأنوية غير المنحلّة أو معدل العدّ المسجل.

سؤال مفصلي: الكوبالت–60 هو نظير مشعّ عمر النصف له (1.66×10^8 s) تقريبًا. فإذا كان النشاط الإشعاعي لمصدر الكوبالت–60 يساوي (1.7×10^5 Bq)، فاحسب كتلة الكوبالت–60 في المصدر.

الإجابة: النشاط الإشعاعي $A = \lambda N$ وعمر النصف $t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda}$.

لذلك:

$$A = \left(\frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}}\right) N$$

$$1.7 \times 10^5 = \left(\frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}}\right) N$$

$$N = 4.07 \times 10^{13}$$

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{\text{عدد الجسيمات}}{\text{عدد أفوجادرو}}$$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{\text{كتلة المادة (g)}}{\text{الكتلة المولية (g mol}^{-1}\text{)}}$$

حيث (n) عدد مولات المادة أو كمية المادة.

لذلك كتلة الكوبالت–60 في المصدر:

$$m = 60\left(\frac{N}{N_A}\right) = 60 \times \left(\frac{4.07 \times 10^{13}}{6.02 \times 10^{23}}\right) = 4.06 \times 10^{-9}\ \text{g}$$

٣ الاستقصاء العملي ٩–١: تحليل البيانات: إيجاد ثابت الانحلال الإشعاعي (ساعة واحدة)

سيستخدم الطلبة في هذا الاستقصاء نتائج تجربة الانحلال الإشعاعي لأحد نظائر البروتكتينيوم لإيجاد ثابت الانحلال الإشعاعي لهذا النظير.

المدّة

سيستغرق هذا الاستقصاء العملي ساعة واحدة تقريبًا.

ستحتاج إلى

الموادّ والأدوات	
• لا توجد أدوات عملية ضرورية في نشاط تحليل البيانات هذا؛ حيث توفّر بعض الشركات المصنّعة جهازًا مُجهزًا لتوليد البروتكتينيوم لهذه التجربة مع محلول من مركّب اليورانيوم في قنينة محكمة الإغلاق، ويمكنك الحصول على التفاصيل على موقع الفيزياء العملية، أما إذا كان الجهاز متوفرًا للعرض التوضيحي، فيجب عليك اتخاذ	احتياطات الأمان والسلامة المشدّدة لتجنب تعامل الطلبة مع المصادر المشعة أو الاقتراب منها. وبدلًا من ذلك، يتوفّر برنامج مجاني يسمى «مختبر الإشعاع (radiation lab)» على الرابط التالي: https://radiation-lab.software.informer.com/

⚠ احتياطات الأمان والسلامة

- قد يقترح الطلبة أنه في أثناء تنفيذ التجربة يجب أن يكون المصدر المشع بعيدًا عن المُجرّب، ويجب تخزين القنينة بأمان في حاوية الرصاص بعيدًا عن الأشخاص، ويجب استخدامها فقط لأقصر زمن ممكن. يكون المصدر في هذه التجربة في حاوية مغلقة، ويجب أن يتجمع ما ينسكب على المنضدة، ويُمكن لمن يجري التجربة استخدام القفازات في حالة حدوث أي انسكاب، ومن الجيد حماية الجزء السفلي من القنينة بالرصاص.

التحضير للاستقصاء

قد يكون مفيدًا لك عرض محاكاة للانحلال الإشعاعي بالبحث عبر الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية (الإنترنت) كمثال تحميل التطبيق من الرابط: (https://radiation-lab.software.informer.com/) أو استخدام مكعبات النرد أو العملات المعدنية لتوضيح الانحلال الإشعاعي، ارسم تمثيلًا بيانيًا لوغارتميًا (ln) مشابهًا لحساب ثابت الانحلال، ثم احسب عمر النصف.

يحتاج الطلبة إلى:

- أن يكونوا قادرين على التعامل مع اللوغاريتمات الطبيعية ومعرفة العلاقة ($\ln e^a = a$).
- رسم تمثيلات بيانية وإدراج أشرطة الخطأ فيها.

سيقوم الطلبة بحساب معدل العدّ المسجل للخلفية، وسيرسمون تمثيلًا بيانيًا لوغاريتميًا لحساب ثابت الانحلال الإشعاعي.

توجيهات حول الاستقصاء

- يحتاج الطلبة إلى تحويل عدّ الخلفية من 50 في الـ (100 s) إلى 5 في الـ (10 s) قبل طرح هذه القيمة من العدّ الموجود في الجدول، ثم يحتاجون بعد ذلك إلى تحويل هذا العدّ إلى معدل العدّ في الثانية، وقد تُشكِّل هذه العملية المكونة من مرحلتَين صعوبة لدى بعض الطلبة، وقد تضطر إلى شرح ذلك، وقد تتمكن مجموعات أخرى من الطلبة، بمجرد مواجهة المشكلة، من التوصل إلى طريقة حل أخرى.
- قد تحتاج إلى مساعدة الطلبة الذين لم يدرسوا لوغاريتمات الكميات الأُسّية أو أولئك الذين يجدون صعوبة في التعامل معها.

- يمكنك أن تطلب إلى الطلبة حساب عمر النصف ($t_{\frac{1}{2}}$) للمصدر المشع باستخدام المعادلة $t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda}$، ويمكنهم أيضًا استنتاجه من خلال رسم تمثيل بياني لمعدل العدّ مقابل الزمن، كما يمكنهم حساب قيمة عدم اليقين لكِلا الطريقتَين ومقارنة القيم.
- قد يجد الطلبة صعوبة في تحديد معدل عدّ الخلفية المسجل. أولاً، يجب حساب معدل عد الخلفية (عدد العدات في الثانية) عن طريق قسمة عدد العدات الملتقطة في (100 s) على (100). بعد ذلك، يجب على الطلبة حساب معدل العد (عدد العدات في الثانية) قبل طرح معدل عد الخلفية (عدد العدات في الثانية). ومن المهم أن يتم تنفيذ هذه الخطوات بهذا الترتيب.

أنموذج نتائج

توفر البيانات الموجودة في كتاب التجارب العملية والأنشطة أنموذج نتائج.

إجابات أسئلة الاستقصاء العملي ٩-١ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة

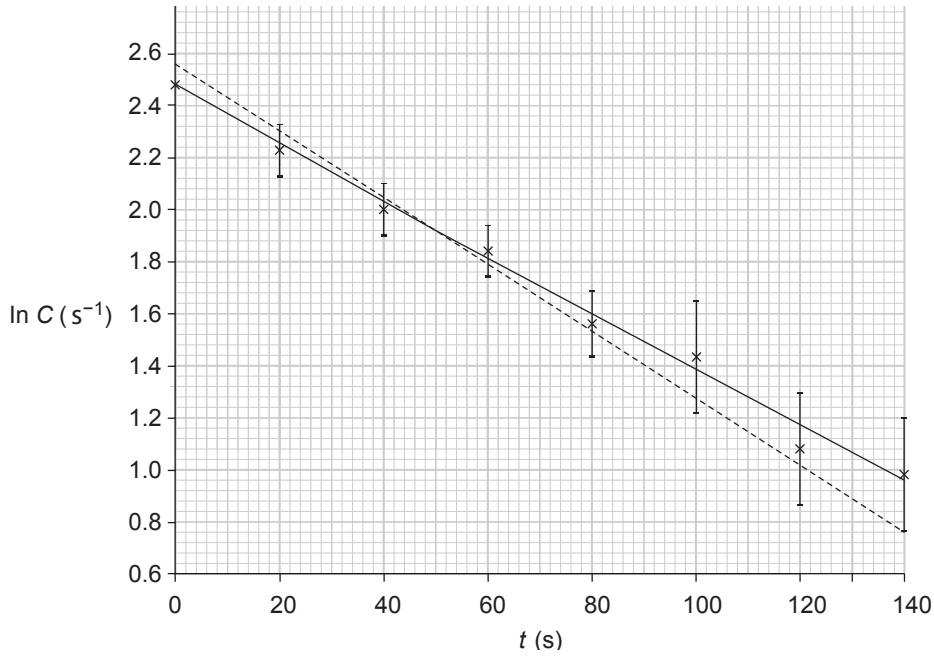
أ، ب. انظر الجدول ٩-١.

عد 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	9.5 ± 1.0	2.25 ± 0.10
40	80 ± 9	7.5 ± 0.9	2.01 ± 0.11
60	68 ± 8	6.3 ± 0.8	1.84 ± 0.12
80	52 ± 7	4.7 ± 0.7	1.55 ± 0.14
100	45 ± 7	4.0 ± 0.7	1.39 ± 0.16
120	34 ± 6	2.9 ± 0.6	1.06 ± 0.19
140	31 ± 6	2.6 ± 0.6	0.96 ± 0.21

الجدول ٩-١: أنموذج نتائج للاستقصاء العملي ٩-١.

ج. انظر الشكل ٩-١؛ حيث يمثل الخط المتصل الخط المستقيم الأفضل ملاءمة، ويمثل الخط المنقط الخط المستقيم الأسوأ ملاءمة.



الشكل ٩-١

د. ميل الخط المستقيم الأفضل ملاءمة:

$$= \frac{0.96 - 2.48}{140 - 0} = -0.011$$

ميل الخط المستقيم الأسوأ ملاءمة:

$$= \frac{0.76 - 2.56}{140 - 0} = -0.013$$

هـ. $C = C_0 e^{-\lambda t}$

$$\ln C = \ln (C_0 e^{-\lambda t}) = \ln (C_0) + \ln (e^{-\lambda t})$$

$$\ln C = \ln (C_0) + -\lambda t \ln (e) = \ln (C_0) - \lambda t$$

و. λ = الميل × −1 = 0.011 s^{-1}

قيمة عدم اليقين:

$$= -0.011 - (-0.013) = 0.002$$

$$\lambda = 0.011 \pm 0.002\ s^{-1}$$

ز. يذيب الزيت البروتكتينيوم الموجود فورًا، ويتم تسجيل انحلال البروتكتينيوم هذا خلال التجربة، وبدون استخدام الزيت يتم تكوين البروتكتينيوم بشكل مستمر بواسطة انحلال اليورانيوم، ويتم تسجيل هذا الانحلال بالإضافة إلى انحلال عدد من النواتج الأخرى في سلسلة الانحلال من اليورانيوم الابتدائي أيضًا.

التعليم المتمايز (تفريد التعليم)

التوسّع والتحدّي

إذا كانت هناك حاجة إلى مزيد من التحدي، فيمكن للطلبة ذوي التحصيل الدراسي المرتفع استخدام معرفتهم بالمعادلات التفاضلية من الدرجة الأولى في الرياضيات، وبشكل أكثر تحديدًا فصل المتغيّرات والتكامل (وضع جميع المتغيرات التابعة y (بما في ذلك dy) إلى أحد طرفَي المعادلة وجميع المتغيرات المستقلة x (بما في ذلك dx) إلى الطرف الآخر (مثال $\frac{\Delta N}{N} = -\lambda \Delta t$) ومن ثم القيام بتكامل الطرف الأول في المعادلة بالنسبة إلى y والطرف الآخر بالنسبة إلى x، ولا ننسَ إضافة ثابت التكامل)، لاستنتاج المعادلة $N = N_0 e^{-\lambda t}$، لقانون الانحلال الإشعاعي من العلاقة $\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$. يستقصي الطلبة كيفية تحديد عمر نصف المادة المشعة باستخدام بيانات الانحلال والتمثيلات البيانية اللوغاريتمية، وهذا يساعدهم على تطبيق معادلة الخط المستقيم في الرياضيات على المواقف العملية في الفيزياء، ويمكن للطلبة أيضًا تطبيق معرفتهم وفهمهم لعمر النصف لشرح اعتبارات مثل التخزين الآمن للنفايات المشعة والتأريخ بالكربون المشع.

الدعم

قد يحتاج بعض الطلبة إلى مزيد من الدعم لاستنباط المعلومات من التمثيلات البيانية والأشكال العددية والجبرية عند التعامل مع مسائل الانحلال الإشعاعي، ويمكن مساعدتهم من خلال تقديم الدعم من الطلبة ذوي التحصيل الدراسي المرتفع في مجموعتهم عند التعامل مع بعض الحسابات كمجموعة، ومن المهم أيضًا أن يفهم الطلبة متى تطبّق معادلات الانحلال الإشعاعي ذات العلاقة عند حل الأسئلة.

تلخيص الأفكار والتأمّل فيها

- اطلب إلى الطلبة شرح المقصود بـ: الانحلال الإشعاعي، والانحلال العشوائي، والانحلال التلقائي.
- اطلب إلى الطلبة أن يقوموا بإدراج جميع المعادلات التي تحتوي على ثابت الانحلال في قائمة من دون النظر إلى كتبهم أو دفاترهم.

إجابات كتاب الطالب

العلوم ضمن سياقها

- يتحوّل مليار kg (10^9) من كتلة الشمس في كل ثانية، ويمكن حساب الكتلة المتحوّلة إلى طاقة في سنة واحدة، وحيث تتكوّن السنة من:

$60 \times 60 \times 24 \times 365 = 3.15 \times 10^7$ s

لذلك تحوّل الشمس في سنة واحدة $3.15 \times 10^7 \times 10^9$ kg من كتلتها إلى طاقة أي 3.15×10^{16} kg.

وكتلة الشمس 10^{30} kg تقريبًا.

فلو حوّلت الشمس 3.15×10^{16} kg من كتلتها إلى طاقة في كل سنة، فإنها ستستغرق: ($10^{30} \div 3.15 \times 10^{16}$) سنة حتى تتحوّل جميع كتلتها إلى طاقة، وهذا يساوي 3.17×10^{13} سنة تقريبًا.

- سيكون الزمن في الواقع أقل بكثير، حيث لن تتحوّل كتلة الشمس كاملة إلى طاقة.

إجابات أسئلة موضوعات الوحدة

١. **أ.** $^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$

ب. $^{25}_{11}Na \rightarrow {}^{25}_{12}Mg + {}^{0}_{-1}e$

٢. $^{41}_{18}Ar \rightarrow {}^{41}_{19}K + {}^{0}_{-1}e$

٣. بإعادة ترتيب المعادلة $\Delta E = \Delta mc^2$ لتعطي النقص في الكتلة في كل ثانية:

$$\Delta m = \frac{4.0 \times 10^{26}}{(3.00 \times 10^8)^2} \approx 4.4 \times 10^9 \text{ kg}$$

٤. **أ.** تتكوّن نواة الهيليوم من بروتونين ونيوترونين، تُعطى الطاقة المتحرّرة من الفرق في الكتلة بين كتلة الأربع نيوكليونات المنفصلة وكتلة نواة الهيليوم.

$\Delta m = 2m_p + 2m_n - m_{He}$

$= (2 \times 1.672623 + 2 \times 1.674928 - 6.644661) \times 10^{-27}$

$= 5.04 \times 10^{-29}$ kg

الطاقة المنبعثة:

$\Delta E = \Delta mc^2 = 5.04 \times 10^{-29} \times (3.00 \times 10^8)^2$

$= 4.54 \times 10^{-12}$ J

ب. الطاقة المنبعثة لكل نيوكليون:

$$= \frac{4.54 \times 10^{-12}}{4} \approx 1.14 \times 10^{-12} \text{ J}$$

٥. طاقة الحركة لكرة الجولف:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 0.150 \times (50)^2 = 187.5 \text{ J}$$

الزيادة في كتلة كرة الجولف:

$$\Delta m = \frac{187.5}{(3.00 \times 10^8)^2} = 2.08 \times 10^{-15} \text{ kg}$$

النسبة المئوية من الكتلة السكونية:

$$= \frac{2.08 \times 10^{-15}}{0.150} \times 100\% = 1.40 \times 10^{-12} \%$$

٦. **أ.** كتلة ذرة الحديد $^{56}_{26}Fe$:

$= 55.934937 \times 1.6605 \times 10^{-27}$

$= 9.2880 \times 10^{-26}$ kg

ب. كتلة ذرة الأكسجين $^{16}_{8}O$:

$$= \frac{2.656015 \times 10^{-26}}{1.6605 \times 10^{-27}} = 15.995 \text{ u}$$

٧. **أ.** كتلة نواة الهيليوم-4:

$= 4.001506 \times 1.6605 \times 10^{-27}$

$= 6.64 \times 10^{-27}$ kg

ب. كتلة 1 مول من أنوية اليورانيوم-235:

$= 6.02 \times 10^{23} \times (235.043930 \times 1.6605 \times 10^{-27})$

$= 0.23495$ kg ≈ 235 g

(لاحظ أن الكتلة المولية بالغرام تساوي عدد النيوكليونات تقريبًا).

٨. **أ.** معادلة الانحلال النووي:

$^{10}_{4}Be \rightarrow {}^{10}_{5}B + {}^{0}_{-1}e$

ب. لحساب الطاقة المنبعثة نحسب أولًا النقص في الكتلة:

$$\Delta m = (1.66219 \times 10^{-26} + 9.10938 \times 10^{-31}) - 1.66238 \times 10^{-26}$$

$$= -9.89062 \times 10^{-31}\ \text{kg}$$

(الإشارة السالبة تعني أن هناك طاقة تتحرّر في الانحلال).

الطاقة المنبعثة في هذا الانحلال:

$$\Delta mc^2 = 9.89062 \times 10^{-31} \times (3.00 \times 10^{8})^2$$

$$= 8.90 \times 10^{-14}\ \text{J}$$

تتحرّر هذه الطاقة كطاقة حركة للنواتج.

٩. أ. لأنه نيوكليون مفرد؛ وبالتالي ليس له طاقة ربط نووي أو لأن نواته تحتوي على نيوكليون مفرد (بروتون واحد فقط).

ب. $12 \times 10^{-13}\ \text{J} \approx$ طاقة الربط لكل نيوكليون من التمثيل البياني.

طاقة الربط لنواة $^{14}_{7}\text{N}$:

$$= 12 \times 10^{-13} \times 14 = 1.68 \times 10^{-11}\ \text{J}$$

$$\approx 1.7 \times 10^{-11}\ \text{J}$$

١٠. أ. النقص في الكتلة:

$$\Delta m = 4 \times m_p + 4 \times m_n - m_{Be}$$

$$= (4 \times 1.673 + 4 \times 1.675) \times 10^{-27} - 1.33 \times 10^{-26}$$

$$= 9.20 \times 10^{-29}\ \text{kg}$$

ب. طاقة الربط بوحدة الجول:

$$\Delta mc^2 = 9.20 \times 10^{-29} \times (3.00 \times 10^{8})^2$$

$$= 8.28 \times 10^{-12}\ \text{J}$$

طاقة الربط بوحدة الـ (MeV):

$$= \frac{8.28 \times 10^{-12}}{1.6 \times 10^{-19}} = 5.18 \times 10^{7}\ \text{eV} = 51.8\ \text{MeV}$$

ج. طاقة الربط لكل نيوكليون:

$$= \frac{51.8}{8} \approx 6.5\ \text{MeV}$$

١١. لا يحدث الانشطار للأنوية الخفيفة $A < 20$؛ لأنه يكون للنواتج طاقة ربط لكل نيوكليون أصغر، فيتطلّب التفاعل تزويده بطاقة خارجية؛ وكذلك لا يحدث الاندماج للأنوية الثقيلة $A > 40$، للسبب نفسه.

١٢. طاقة الربط لكل نيوكليون للديوتيريوم:

$$= \frac{2.2}{2} = 1.1\ \text{MeV}$$

طاقة الربط للبروتون = صفر (لأنه نيوكليون وحيد)

طاقة الربط لكل نيوكليون للهيليوم-3:

$$= \frac{7.7}{3} = 2.6\ \text{MeV}$$

طاقة الربط لكل نيوكليون بعد الاندماج أكبر من طاقة الربط لكل نيوكليون قبل الاندماج.

١٣. النشاط الإشعاعي لعيّنة الكربون-15:

$$A = \lambda N = 0.30 \times 500000 = 150000\ \text{s}^{-1}$$

$$= 150000\ \text{Bq}$$

١٤. النشاط الإشعاعي لهذا النظير من الراديوم:

معدّل العدّ المستقبل في جهاز الكشف $\times$ $A =$

$$= 10 \times 20\ \text{min}^{-1} = 200\ \text{min}^{-1} = \frac{200}{60}\ \text{s}^{-1} = \frac{10}{3}\ \text{s}^{-1}$$

بإعادة ترتيب معادلة النشاط الإشعاعي $A = \lambda N$ لتعطي ثابت الانحلال لهذا النظير من الراديوم:

$$\lambda = \frac{A}{N} = \frac{10}{3 \times 1.5 \times 10^{9}} = 2.2 \times 10^{-9}\ \text{s}^{-1}$$

١٥. معدل العدّ قد يكون أقل من النشاط الإشعاعي الحقيقي بسبب أن:

- أشعة جاما لا تُكتشف دائمًا (ضعيفة التأيين).
- العدّاد قد يكون غير فعّال.
- بعض الأشعة تُمتص من قبل العيّنة قبل أن تصل إلى جهاز الكشف.

١٦. أ. معادلة عدد الأنوية غير المنحلّة:

$$N = N_0\, e^{-\lambda t}$$

ب. بعد 10 دقائق سيكون قد انحلّ نصف عدد الأنوية، فيبقى نصف عدد الأنوية الأصلية أو 4.0×10^{10}

بعد 10 دقائق أخرى سيكون قد انحلّ نصف عدد الأنوية المتبقية، أي أنه بعد 20 دقيقة سيبقى ربع عدد الأنوية الأصلية أو 2.0×10^{10}

ج. بعد 30 دقيقة سيكون قد مضى من الزمن ثلاثة أعمار نصف. لذلك فإن:

عدد الأنوية غير المنحلّة:

$$= \left(\frac{1}{2}\right)^3 \times N_0 = \frac{1}{8} \times N_0 = \frac{1}{8} \times 8.0 \times 10^{10}$$

$$= 1.0 \times 10^{10}$$

عدد الأنوية المنحلّة:

$$8.0 \times 10^{10} - 1.0 \times 10^{10} = 7.0 \times 10^{10}$$

١٧. أ. عدد الأنوية غير المنحلّة بعد 50 s:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$= 5.0 \times 10^9 \times e^{-0.10 \times 50} = 3.37 \times 10^7$$

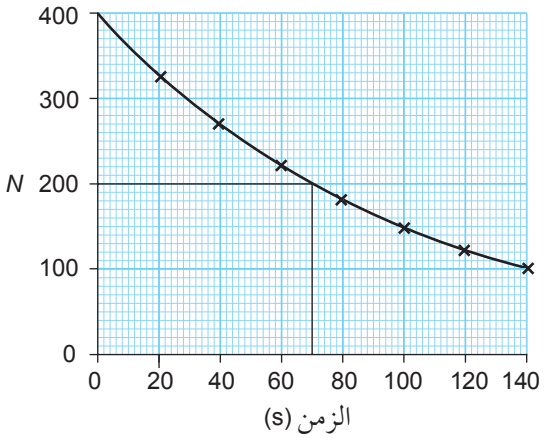
$$\approx 3.4 \times 10^7$$

ب. النشاط الإشعاعي للنظير بعد 50 s:

$$A = \lambda N = 0.10 \times 3.37 \times 10^7 \approx 3.4 \times 10^6 \text{ Bq}$$

١٨.

الزمن (s)	0	20	40	60	80	100	120	140
N	400	330	272	224	185	153	126	104



عمر النصف يساوي 70 s تقريبًا.

١٩. عمر النصف هو 2.4 سنة.

ثابت الانحلال:

$$\lambda = \frac{0.693}{2.4} \approx 0.29 \text{ year}^{-1}$$

٢٠. الزمن الذي سيستغرقه النشاط الإشعاعي للعيّنة لينخفض إلى $\frac{1}{8}$ قيمته الابتدائية هو ثلاثة أعمار نصف.

(على الترتيب $\frac{1}{2}$ ، $\frac{1}{4}$ ، $\frac{1}{8}$)

لذلك يكون الزمن المستغرق:

$$3t_{\frac{1}{2}} = 3 \times \frac{0.693}{\lambda} = \frac{3 \times 0.693}{3.0 \times 10^{-4}} = 6.93 \times 10^3$$

$$\approx 6900 \text{ s}$$

٢١. أ. ثابت الانحلال:

$$\lambda = \frac{0.693}{7.4} = 0.094 \text{ s}^{-1}$$

ب. ١. عدد الأنوية غير المنحلّة بعد 14.8 s:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = 5.0 \times 10^3 \times e^{(-0.094 \times 14.8)}$$

$$= 1250$$

٢. عدد الأنوية غير المنحلّة بعد 20.0 s:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = 5.0 \times 10^3 \times e^{(-0.094 \times 20.0)}$$

$$= 768$$

٢٢. أ. نحتاج إلى تعبير لثابت الانحلال λ بحيث يمكننا تعويضه في معادلة الانحلال.

نسبة عدد الذرات المتبقية إلى عدد الذرات الأصلية في العيّنة هي: $\frac{N}{N_0}$

فعندما $t = t_{\frac{1}{2}}$ ، فإن $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{\frac{1}{2}}}$

بأخذ لوغاريتم الطرفَين:

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\lambda t_{\frac{1}{2}}$$

لذلك:

$$\lambda = -\frac{\ln\left(\frac{1}{2}\right)}{t_{\frac{1}{2}}}$$

بعدها المعادلة $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$ تصبح:

$$\frac{N}{N_0} = e^{\ln(\frac{1}{2})\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}}$$

تذكّر أن:

$$e^{\ln(\frac{1}{2})} = \left(\frac{1}{2}\right)$$

لذلك:

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}}$$

ب. ١. 0.50

٢. 0.25

٣. $0.177 \approx 0.18$

٤. 0.0032

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. د

٢. أ

٣. أ. باستخدام المعادلة $\Delta E = \Delta m c^2$:

$$\Delta m = 2 \times 1.67 \times 10^{-27}$$

الطاقة المنبعثة في التفاعل:

$$E = 2 \times 1.67 \times 10^{-27} \times (3.00 \times 10^8)^2$$

$$= 3.01 \times 10^{-10} \text{ J}$$

ب. يحتوي المول الواحد على N_A جسيم (6.02×10^{23}).

الطاقة المنبعثة في تفاعل واحد مول:

$$E = 3.01 \times 10^{-10} \times N_A$$

$$= 3.01 \times 10^{-10} \times 6.02 \times 10^{23} = 1.81 \times 10^{14} \text{ J}$$

٤. باستخدام المعادلة $\Delta E = \Delta m c^2$:

$$\Delta m = \frac{1.0}{(3.00 \times 10^8)^2}$$

الكتلة التي ستتلاشى:

$$\Delta m = 1.1 \times 10^{-17} \text{ kg}$$

٥. باستخدام المعادلة $E = mc^2$، الطاقة المتحرّرة في كل ثانية:

$$= 70 \times 10^{-9} \times (3.00 \times 10^8)^2 = 6.3 \times 10^9 \text{ J}$$

لكن الطاقة في كل ثانية = القدرة، لذلك أقصى قدرة تنتج من المفاعل = 6.3 GW

٦. النقص في الكتلة:

$$= 221.970 - 217.963 - 4.002 = 0.005 \text{ u}$$

$$= 0.005 \times 1.660 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$= 8.30 \times 10^{-30} \text{ kg}$$

الطاقة الكلية المتحرّرة:

$$= 8.30 \times 10^{-30} \times (3.00 \times 10^8)^2 = 7.47 \times 10^{-13} \text{ J}$$

الطاقة المتحرّرة تكون على شكل طاقة حركة لجسيمات ألفا، وأشعة كهرومغناطيسية (أشعة جاما).

٧. أ. النقص في الكتلة بوحدة u:

$$= 6 \times (1.007276 + 1.008665 + 0.000548) - 12.000$$

$$= 0.098934 \text{ u}$$

النقص في الكتلة بوحدة kg:

$$= 0.098934 \times 1.660 \times 10^{-27} = 1.64 \times 10^{-28} \text{ kg}$$

ب. طاقة الربط = النقص في الكتلة $\times c^2$:

$$= 1.64 \times 10^{-28} \times (3.00 \times 10^8)^2 = 1.48 \times 10^{-11} \text{ J}$$

ج. عدد النيوكليونات = 12

طاقة الربط لكل نيوكليون:

$$= \frac{1.48 \times 10^{-11}}{12} = 1.23 \times 10^{-12} \text{ J}$$

٨. أ. التغير في الكتلة بوحدة u:

$$= 3.015500 + 2.013553 - 4.001506 - 1.007276$$

$$= 0.020271 \text{ u}$$

التغير في الكتلة بوحدة kg:

$$= 0.020271 \times 1.660 \times 10^{-27} = 3.365 \times 10^{-29} \text{ kg}$$

ب. الطاقة المنبعثة:

$$\Delta mc^2 = 3.365 \times 10^{-29} \times (3.00 \times 10^8)^2$$

$$= 3.028 \times 10^{-12} \text{ J}$$

ج. الطاقة المنبعثة لكل مول = الطاقة المنبعثة لكل تفاعل × N_A

$$= 3.028 \times 10^{-12} \times 6.02 \times 10^{23}$$

$$= 1.823 \times 10^{12} \text{ J}$$

٩. أ. يحتوي المول الواحد على N_A ذرة.

باستخدام المعادلة $A = \lambda N$ نحصل على:

$$\lambda = \frac{A}{N} = \frac{8.02 \times 10^{21}}{6.02 \times 10^{23}} = 1.33 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$$

ب. $\lambda\, t_{\frac{1}{2}} = 0.693$ لذلك:

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

عمر النصف $t_{\frac{1}{2}}$ للنظير:

$$= \frac{0.693}{1.33 \times 10^{-2}} = 52.0 \text{ s}$$

١٠. أ. من التمثيل البياني، عندما يقلّ معدل العد من 160 إلى 40 يكون قد مضى 2 عمر نصف

لذلك: $2 \times t_{\frac{1}{2}} = 28 \text{ s}$

وبالتالي عمر النصف:

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{28}{2} = 14 \text{ s}$$

أو استخدام النقطة (14 ، 80)

ب. $\lambda\, t_{\frac{1}{2}} = 0.693$ ، وبالتالي ثابت الانحلال:

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{\frac{1}{2}}} = \frac{0.693}{14} = 4.95 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$$

١١. أ. ثابت الانحلال بوحدة y^{-1} لنظير اليورانيوم:

$$\lambda_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{t_{\frac{1}{2}}} = \frac{0.693}{4.9 \times 10^9} = 1.4 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$$

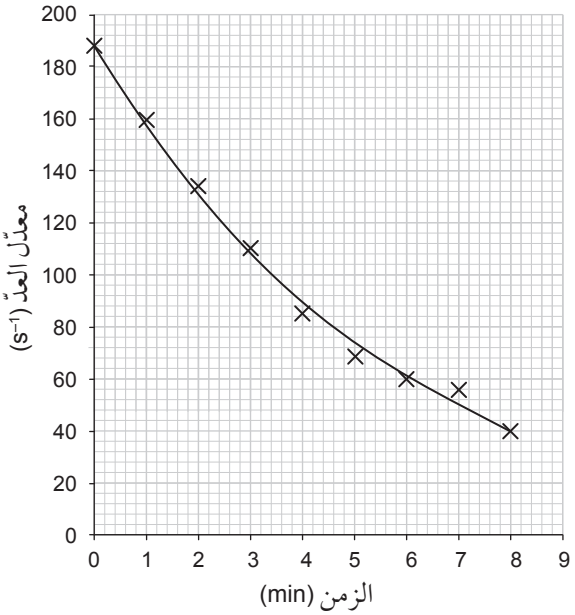
ب. باستخدام $\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t$

$$\ln 0.992 = -1.4 \times 10^{-10}\, t$$

عمر الصخر بالسنوات:

$$t = 5.7 \times 10^7 \text{ y}$$

١٢. أ. ١. تمثيل بياني مرسوم باستخدام هذه الأرقام، خط تمثيل بياني واحد سلس، نقاط تمثل برمز معيّن (كرمز x في الشكل على سبيل المثال):



٢. انحلال عشوائي للعنصر ويصبح أكثر وضوحًا عند مستويات النشاط الإشعاعي المنخفض.

ب. من التمثيل البياني: $t_{\frac{1}{2}} \approx 3.8 \text{ min}$

ج. جميع معدلات العدّ ستكون أكبر، ولكن الزمن اللازم لانخفاض معدل العد إلى النصف سيبقى كما هو.

١٣. أ. 92 بروتون و 143 نيوترون

ب. عندما تتحد النيوكليونات لتكوّن نواة اليورانيوم، فإنه يكون لها طاقة (طاقة ربط) أقل ممّا عندما كانت منفصلة.

طاقة أقل تعني كتلة أقل (الكتلة الكلية للنيوكليونات أكبر من كتلة نواة اليورانيوم).

ج. بجمع كتل البروتونات والنيوترونات المنفصلة ثم طرح كتلة نواة اليورانيوم من ناتج الجمع لإيجاد النقص في الكتلة.

ومن ثم تطبيق المعادلة $\Delta E = \Delta m c^2$

(ΔE) هي طاقة الربط النووي ثم يقسم الناتج على عدد النيوكليونات للحصول على طاقة الربط النووي لكل نيوكليون.

١٤. أ. الاندماج النووي هو ربط نواتَين خفيفتَين أو (أكثر) لتشكيل نواة أثقل.

ويجب التغلّب على قوة التنافر الكهروستاتيكية بين الأنوية، والحاجة إلى درجات حرارة عالية جدًا تعني أن الجسيمات يجب أن تتحرك بسرعة عالية جدًا أي أن يكون لها طاقة عالية جدًا.

ب. ١. لأن القوى الكهروستاتيكية أكبر حيث إن الشحنة على كل نواة هيليوم (He) تكون ضعف الشحنة على نواة الهيدروجين (H).

٢. الطاقة المنبعثة في عملية ألفا الثلاثية:

$\Delta m = 12.000000 - (3 \times 4.001506)$

$= 0.004518$ u

$\Delta m = 0.004518 \times 1.660 \times 10^{-27}$

$= 7.500 \times 10^{-30}$ kg

$\Delta E = 7.500 \times 10^{-30} \times (3.00 \times 10^8)^2$

$= 6.75 \times 10^{-13}$ J

اقبل الإجابة 9.15×10^{-14} J إذا كانت كتلة نواة الكربون-12 مأخوذة من الجدول ٩-١.

١٥. أ. قدرة جسيمات ألفا الآتية من خارج الجسم على الاختراق ضعيفة جدًا، لأنه يتم توقيفها بواسطة خلايا الجلد الميتة.

ولكن الغبار يمكن تنفّسه، الأمر الذي يجعل النظير ينحل ويطلق جسيم ألفا داخل الجسم، عندها تكون جسيمات ألفا خطِرة جدًا.

ب. عدد ذرات البولونيوم:

$N = \frac{2.4}{218} \times 6.02 \times 10^{23} = 6.63 \times 10^{21}$

$\lambda = \frac{\ln 2}{183} = 3.79 \times 10^{-3}\ s^{-1}$

النشاط الإشعاعي الابتدائي للبولونيوم المتحرّر:

$A_0 = \lambda N = 3.79 \times 10^{-3} \times 6.63 \times 10^{21}$

$= 2.51 \times 10^{19}$ Bq

ج. $\lambda t = \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) = \ln\left(\frac{2.51 \times 10^{19}}{10}\right)$

$= \ln(2.51 \times 10^{18})$

الزمن المطلوب:

$t = \frac{\ln(2.51 \times 10^{18})}{3.79 \times 10^{-3}} = 11200\ s = 3.1\ hours$

١٦. أ. طاقة حركة للأجزاء المنشطرة.

ب. ١. النقص في الكتلة:

$\Delta m = 3.90 \times 10^{-25} - (1.44 \times 10^{-25} + 2.42 \times 10^{-25} + 1.67 \times 10^{-27} \times 2)$

$= 6.60 \times 10^{-28}$ kg

الطاقة المنبعثة:

$\Delta E = 6.60 \times 10^{-28} \times (3.00 \times 10^8)^2$

$= 5.94 \times 10^{-11}$ J

٢. عدد الانشطارات في كل ثانية:

$= \frac{200 \times 10^6}{5.94 \times 10^{-11}} = 3.37 \times 10^{18}$

٣. عدد الانشطارات في كل سنة:

$= 3.37 \times 10^{18} \times 3.15 \times 10^7 = 1.06 \times 10^{26}$

عدد مولات اليورانيوم-235 المطلوبة في كل سنة:

$= \frac{1.06 \times 10^{26}}{6.02 \times 10^{23}} = 176$

كتلة اليورانيوم-235 المطلوبة في سنة:

$= 176 \times 235 = 4.14 \times 10^4\ g = 41.4\ kg$

إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة

إجابات أسئلة الأنشطة

نشاط ٩-١: وزن المعادلات النووية

١. بروتون (^1_1p)

٢. أ. $235 + 1 = 90 + 144 + 2A$

$A = 1$

ب. $92 + 0 = 38 + 54 + 2Z$

$Z = 0$

ج. نيوترون

٣. أ. $4 \times 1 = 2 + (x \times 1)$

$x = 2$

ب. بوزيترون (β^+)

٤. أ. $238 = x + 4$

$x = 234$

ب. جسيم ألفا (نواة ذرة الهيليوم).

ج. انبعاث ألفا أو انحلال ألفا.

٥. $^3_2He + ^1_0n \rightarrow ^4_2He$

٦. $^{10}_5B + ^1_0n \rightarrow ^7_3Li + ^4_2He$

نشاط ٩-٢: النقص في الكتلة وطاقة الربط النووي

١. **طاقة الربط النووي:** الحد الأدنى من الطاقة الخارجية المطلوبة لفصل جميع نيوكليونات نواة ما إلى ما لا نهاية.

عدد النيوكليونات: العدد الإجمالي للبروتونات والنيوترونات في نواة ما.

النقص في الكتلة: الفرق بين الكتلة الكلية للنيوكليونات المنفصلة المفردة وكتلة النواة.

٢. أ. الطاقة المكافئة:

$\Delta E = \Delta mc^2 = 1.0 \times 10^{-3} \times (3.00 \times 10^8)^2$

$= 9.0 \times 10^{13}$ J

ب. الطاقة المعادلة لـ 1 u بوحدة الجول:

$1\ u = 1.66 \times 10^{-27}$ kg

$E = 1.66 \times 10^{-27} \times (3.00 \times 10^8)^2$

$E = 1.49 \times 10^{-10}$ J

بوحدة الـ (MeV):

$E = \frac{1.49 \times 10^{-10}}{1.6 \times 10^{-19}} = 9.3 \times 10^8$ eV $= 930$ MeV

ج. النيوترون هو عبارة عن نيوكليون مفرد، ولا يمكن تقسيمه إلى نيوكليونات أصغر.

٣. أ. 90 بروتون و 138 نيوترون

ب. الكتلة الكلية للنيوكليونات:

$= (90 \times 1.6726 \times 10^{-27}) + (138 \times 1.6749 \times 10^{-27})$

$= 3.8167 \times 10^{-25}$ kg

ج. النقص في الكتلة:

$\Delta m = 3.8167 \times 10^{-25} - 3.7857 \times 10^{-25}$

$= 3.1002 \times 10^{-27}$ kg

د. طاقة الربط بوحدة الجول:

$\Delta E = \Delta mc^2 = 3.1002 \times 10^{-27} \times (3.00 \times 10^8)^2$

$= 2.79 \times 10^{-10}$ J

هـ. طاقة الربط بوحدة eV:

$\Delta E = \frac{2.79 \times 10^{-10}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.7 \times 10^9$ eV

٤. أ. النقص في الكتلة بوحدة الـ u:

$\Delta m = (2 \times 1.0073) + (2 \times 1.0087) - 4.0015$

$= 0.0305$ u

ب. النقص في الكتلة بوحدة الـ kg:

$\Delta m = 0.0305 \times 1.66 \times 10^{-27} = 5.06 \times 10^{-29}$ kg

ج. طاقة الربط النووي بوحدة الجول:

$$\Delta E = \Delta m c^2 = 5.06 \times 10^{-29} \times (3.00 \times 10^8)^2$$

$$= 4.56 \times 10^{-12} \text{ J}$$

د. طاقة الربط النووي بوحدة eV:

$$\Delta E = \frac{4.56 \times 10^{-12}}{1.6 \times 10^{-19}} = 2.85 \times 10^7 \text{ eV}$$

٥. أ. طاقة الربط النووي بوحدة الجول:

$$\Delta E = 2.24 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} = 3.58 \times 10^{-13} \text{ J}$$

ب. النقص في كتلة النواة بوحدة الـ kg:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{3.58 \times 10^{-13}}{(3.00 \times 10^8)^2} = 3.98 \times 10^{-30} \text{ kg}$$

ج. الكتلة الكلية للبروتون والنيوترون عند فصلهما:

$$= 1.67262 \times 10^{-27} + 1.67493 \times 10^{-27}$$

$$= 3.34755 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

د. كتلة النواة بوحدة الـ kg:

$$= 3.34755 \times 10^{-27} - 3.98 \times 10^{-30}$$

$$= 3.34357 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

٦. أ. النقص في الكتلة أثناء التفاعل بأكمله بوحدة الـ u:

$$\Delta m = 235.124 + 1.009 - (89.920 + 143.923 + (2 \times 1.009))$$

$$= 0.272 \text{ u}$$

ب. النقص في الكتلة بوحدة الـ kg:

$$\Delta m = 0.272 \times 1.66 \times 10^{-27}$$

$$= 4.51 \times 10^{-28} \text{ kg}$$

الطاقة المنبعثة:

$$\Delta E = \Delta m c^2 = 4.51 \times 10^{-28} \times (3.00 \times 10^8)^2$$

$$= 4.06 \times 10^{-11} \text{ J}$$

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

١. أ.

النواة	عدد النيوكليونات	طاقة الربط النووي (MeV)	طاقة الربط النووي لكل نيوكليون (MeV)
$^{235}_{92}U$	235	1790	7.60
$^{56}_{26}Fe$	56	492	8.79
$^{87}_{35}Br$	87	748	8.60

ب. الحديد (Fe) الأكثر استقرارًا لأن طاقة الربط لكل نيوكليون أكبر أي تحتاج نواة الحديد إلى أكبر قدر من الطاقة لإزالة نيوكليون واحد منها.

٢. أ. طاقة الربط لنواة الـ ^2_1H:

$$= 2 \times 1.1 = 2.2 \text{ MeV}$$

ب. طاقة الربط لنواة الـ ^4_2He:

$$= 4 \times 7.1 = 28.4 \text{ MeV}$$

ج. الطاقة المنبعثة خلال هذا التفاعل النووي:

$$= 28.4 - (2 \times 2.2) = 24 \text{ MeV}$$

٣. أ. عدد النيوكليونات للنظير الأكثر استقرارًا هو نحو 60 نيوكليونًا.

ب. الاندماج النووي هو اتحاد أنوية خفيفة معًا لتكوين نواة ذات كتلة أكبر.

الانشطار النووي هو تفكّك نواة كبيرة إلى نواتَين متساويتَين في الكتلة تقريبًا.

ج. طاقة الربط لنواة ما = طاقة الربط لكل نيوكليون × A

تكون طاقة الربط للنواة المتكونة في الاندماج النووي أكبر من مجموع طاقتَي الربط للنواتَين الأصليتَين.

تكون طاقة الربط للنواة الأم في الانشطار النووي أقل من مجموع طاقات الربط للأجزاء المتكوّنة.

د. هناك زيادة حادة في طاقة الربط لكل نيوكليون للأعداد القليلة من النيوكليونات (الأنوية قليلة النيوكليونات)، حيث يحدث الاندماج النووي، مقارنة بالانخفاض في طاقة الربط لكل نيوكليون للأعداد الكبيرة من النيوكليونات (الأنوية كثيرة النيوكليونات)، حيث يحدث الانشطار النووي.

هـ. تحتوي النواة المتكوّنة على طاقة ربط لكل نيوكليون أقل من النواة الأصلية، وبالتالي فإن طاقة الربط الكلية بعد الاندماج تكون أقل ممّا كانت عليه قبل الاندماج، وهذا ممكن فقط إذا كانت الأنوية الابتدائية لها طاقة حركة كبيرة.

و. طاقة الربط لكل نيوكليون من التمثيل البياني:

$= 12 \times 10^{-13}$ J

طاقة الربط لنواة U–238:

$= 238 \times 12 \times 10^{-13} = 2.9 \times 10^{-10}$ J

ز. طاقة الربط لكل نيوكليون من التمثيل البياني:

$= 13.5 \times 10^{-13}$ J

طاقة الربط لنواة 119:

$= 119 \times 13.5 \times 10^{-13} = 1.6 \times 10^{-10}$ J

ح. الطاقة المنبعثة:

$= (2 \times 1.6 \times 10^{-10}) - 2.9 \times 10^{-10}$

$= 3.0 \times 10^{-11}$ J

ط. عدد أنوية 1 g يورانيوم:

$N = \frac{1}{238} \times 6.02 \times 10^{23} = 2.53 \times 10^{21}$

الطاقة المنبعثة الكلية:

$= 2.53 \times 10^{21} \times 3.0 \times 10^{-11} = 7.6 \times 10^{10}$ J

نشاط ٩-٤: عمر النصف وثابت الانحلال

١.

	عمر النصف (s)	ثابت الانحلال (s^{-1})	عدد الأنوية الابتدائي	النشاط الإشعاعي الابتدائي (Bq)	عدد الأنوية غير المنحلة بعد 10 s	النشاط الإشعاعي بعد 10 s (Bq)
أ	5.0	0.139	1000	139	250	35
ب	347	0.0020	5000	10	4900	9.8
ج	100	0.00693	100	0.693	93 أو 93.3	0.65 أو 0.647
د	6.93	0.1	10000	1000	3680	368
هـ	5.0	0.139	4000	554	1000	139

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

$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} = \frac{\ln 2}{300} = 2.3 \times 10^{-3}$ min^{-1}

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

$A = \lambda N = 2.3 \times 10^{-3} \times 1.8 \times 10^{6}$

$= 4.2 \times 10^{3}$ min^{-1}

ج. النشاط الإشعاعي الابتدائي بوحدة (Bq):

$A = \frac{4.2 \times 10^{3}}{60} = 69$ Bq

٣. أ. ثابت انحلال البوتاسيوم بوحدة الـ (h^{-1}):

$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} = \frac{\ln 2}{12} = 0.058$ h^{-1}

ب. ثابت انحلال البوتاسيوم بوحدة الـ (s^{-1}):

$\lambda = \frac{0.058}{60 \times 60} = 1.6 \times 10^{-5}$ s^{-1}

ج. النسبة المئوية للبوتاسيوم المشع المتبقي بعد 12 ساعة:

12 ساعة هي عمر نصف واحد، أي يتبقى 50%

د. النسبة المئوية للبوتاسيوم المشع المتبقي بعد 20 ساعة:

$$N = N_0\, e^{-\lambda t} = N_0 \times e^{(-\,0.058 \times 20)}$$

$$N = 0.31 N_0$$

يتبقى 31%

٤. أ. عدد أنوية الكربون–14:

$$N = \frac{5.0 \times 10^{-14} \times 6.02 \times 10^{23}}{14} = 2.15 \times 10^{9}$$

ب. ثابت الانحلال:

$$\lambda = \frac{A}{N} = \frac{30}{2.15 \times 10^{9}} = 1.4 \times 10^{-8}\ s^{-1}$$

ج. عمر النصف:

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2}{1.4 \times 10^{-8}} = 5.0 \times 10^{7}\ s$$

د. معادلة النشاط الإشعاعي:

$$A = A_0\, e^{-\lambda t}$$

$$6.0 = 30 \times e^{-\lambda t}$$

$$e^{-\lambda t} = \frac{6.0}{30} = 0.20$$

$$-\lambda t = \ln 0.20 = -1.6$$

$$t = \frac{1.6}{1.4 \times 10^{-8}} = 1.2 \times 10^{8}\ s$$

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

١. أ. ١. عمر النصف أو النشاط الإشعاعي يبقيان نفسَيهما مهما كانت العوامل الخارجية مثل درجة الحرارة أو الضغط أو وجود أنوية أخرى.

٢. الانحلال لنواة ما والذي لا يمكن التنبؤ به.

٣. يُظهر النشاط الإشعاعي في أثناء الانحلال تباينات أو تذبذبات.

ب. ١. $^{3}_{1}\mathrm{He} \rightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$

٢. النقص في كتلة نواة التريتيوم بوحدة الـ u:

$$\Delta m = 1.007277 + (2 \times 1.008665) - 3.016050$$

$$= 0.008557\ u$$

٣. الحد الأدنى من الطاقة الخارجية المطلوبة لفصل جميع نيوكليونات نواة ما إلى ما لا نهاية.

٤. النقص في كتلة نواة التريتيوم بوحدة الـ kg:

$$\Delta m = 0.008557 \times 1.66 \times 10^{-27}$$

$$= 1.42 \times 10^{-29}\ kg$$

طاقة الربط بالجول لنواة التريتيوم:

$$\Delta E = \Delta m c^2 = 1.42 \times 10^{-29} \times (3.00 \times 10^{8})^2$$

$$= 1.28 \times 10^{-12}\ J$$

٥. النقص في الكتلة بوحدة الـ u:

$$\Delta m = 3.016050 - (3.014932 + 0.000549)$$

$$= 0.000569\ u$$

النقص في الكتلة بوحدة الـ kg:

$$\Delta m = 0.000569 \times 1.66 \times 10^{-27}$$

$$= 9.45 \times 10^{-31}\ kg$$

الطاقة المتحررة من انحلال نواة التريتيوم:

$$\Delta E = \Delta m c^2 = 9.45 \times 10^{-31} \times (3.00 \times 10^{8})^2$$

$$= 8.50 \times 10^{-14}\ J$$

٢. أ. معادلة الانحلال:

$$^{22}_{11}\mathrm{Na} \rightarrow {}^{22}_{10}\mathrm{Ne} + {}^{0}_{+1}\mathrm{e}$$

ب. ١. احتمال انحلال نواة ما في الوحدة الزمنية.

٢. ثابت الانحلال للصوديوم–22:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} = \frac{\ln 2}{2.60} = 0.267\ y^{-1}$$

٣. لأن احتمال انحلال الأنوية في الثانية يكون صغيرًا مع وجود ثابت انحلال صغير، كما أن عدد الأنوية التي تنحلّ في وحدة الزمن يكون صغيرًا أيضًا. لذلك يستغرق الانحلال زمنًا طويلًا حتى ينخفض عدد

الأنوية المنحلّة إلى نصف عدد الأنوية الابتدائية.

ج. ١. $\lambda = 0.267\ y^{-1} = 8.45 \times 10^{-9}\ s^{-1}$

عدد الأنوية الابتدائية:

$$N_0 = \frac{A_0}{\lambda} = \frac{1.7 \times 10^3}{8.45 \times 10^{-9}} = 2.0 \times 10^{11}$$

٢. عدد الأنوية المتبقية:

$$N = N_0\, e^{-\lambda t} = 2.0 \times 10^{11} \times e^{(-0.267 \times 5.0)}$$

$$= 5.3 \times 10^{10}$$

٣. عدد أنوية النيون المتكوّنة:

$$2.0 \times 10^{11} - 5.3 \times 10^{10}$$

النسبة:

$$= \frac{5.3 \times 10^{10}}{2.0 \times 10^{11} - 5.3 \times 10^{10}} = 0.36$$

٣. أ. لا يمكننا التنبؤ بوقت انحلال أي نواة؛ لأن النشاط الإشعاعي يُظهر تغيرات أو تذبذبات.

ب. ثابت الانحلال:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} = \frac{\ln 2}{7.0 \times 10^8} = 9.9 \times 10^{-10}\ y^{-1}$$

$$N = N_0\, e^{-\lambda t}$$

$$= \frac{N}{N_0} = 0.011$$

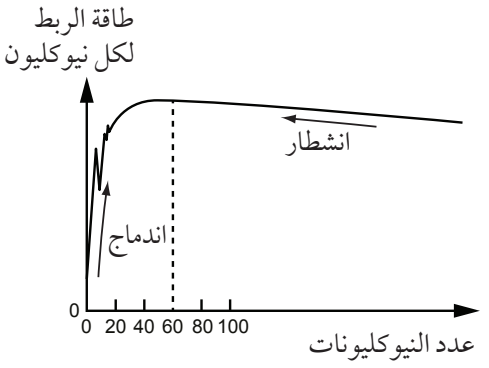
$$e^{-\lambda t} = 0.011$$

$$-\lambda t = \ln 0.011$$

عمر الأرض:

$$t = \frac{\ln 0.011}{-9.9 \times 10^{-10}} = 4.6 \times 10^9\ \text{years}$$

ج. ١.



٢. تتحرّر الطاقة عندما تزيد طاقة الربط النووي لكل نيوكليون. في الانشطار النووي تنقسم النواة الكبيرة فتتجمّع الأنوية الصغيرة معًا. توجد الأنوية الأكثر استقرارًا في قمة التمثيل البياني.

يحدث الانشطار النووي على الجانب الأيمن من التمثيل البياني حيث عدد النيوكليونات يكون كبيرًا، في حين يحدث الاندماج النووي على الجانب الأيسر حيث يكون عدد النيوكليونات قليلًا.

٤. أ. عدد الأنوية المنحلّة لكل وحدة زمنية أو معدّل انحلال الأنوية.

ب. ١. لأن الانحلال الإشعاعي عشوائي.

٢. ثابت الانحلال:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} = \frac{\ln 2}{8.0} = 0.087\ day^{-1}$$

متوسط N_0 = 3940 عدّ

$$C = C_0\, e^{-\lambda t} = 3940 \times e^{(-0.087 \times 10)}$$

$$= 1650$$

ج. ١. انقسام النواة إلى أجزاء أصغر بعد قذفها بواسطة نيوترون.

٢. تزداد طاقة الربط لكل نيوكليون بعد حصول الانشطار النووي لنواة اليورانيوم-235 فتصبح طاقة الربط النووي للنواتج أكبر من طاقة الربط النووي لنواة اليورانيوم الابتدائية الأمر الذي يترجم كنقصان في الكتلة نتيجة الانشطار النووي؛ وهذا النقصان في الكتلة يتحول إلى طاقة بناء على معادلة (الكتلة – الطاقة) لأينشتاين.

تم بحمد الله

الفيزياء – دليل المعلّم

يُعدّ دليل المعلّم المكوّن الداعم المصاحب لكتاب الطالب وكتاب التجارب العملية والأنشطة، حيث يقدم الدعم للمعلّم للتخطيط لدروس رائعة وتغطية محتوى المنهج الدراسي، بما في ذلك الاستقصاءات العملية، إضافة إلى ذلك فإنه يوفر مجموعة متنوعة من أفكار التدريس النشطة في كل الموضوعات، مع تحديد المدة الزمنية المقترحة لكل فكرة. كما يتضمن دعمًا لتطوير مهارات الاستقصاء لدى الطلبة وتعزيزها، من خلال شرح مفصل تم تصميمه بما يتوافق مع أهداف التعلم، وتتوافر في الدليل إرشادات للملخص، ودعم التعليم المتمايز (تفريد التعليم)؛ بالاضافة إلى أفكار خلّاقة عن الكثير من الأنشطة، ما يعطي السلسلة قيمة إضافية.

كما يتضمن هذا الدليل إجابات نموذجية لأسئلة كتاب الطالب، وأسئلة كتاب التجارب العملية والأنشطة.

يشمل منهج الفيزياء للصف الثاني عشر من هذه السلسلة أيضًا:

- كتاب الطالب.
- كتاب التجارب العملية والأنشطة.

www.moe.gov.om

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS