الفيزياء

كتاب الطالب

المستوى الحادي عشر

PHYSICS

STUDENT BOOK

GRADE 11

الفصل الدراسي الثاني - الجزء الثاني

SECOND SEMESTER - PART 2

2020 - 2019

(نسخة تجريبية - Trial version)

www.jnob-jo.com

© وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر

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 وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر.

تمّ إعداد الكتاب بالتّعاون مع شركة تكنولاب.

التأليف: فريق من الخبراء بقيادة الدكتور توم سو وبالتّعاون مع شركة باسكو العلميّة.

التّرجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.

الطبعة التجريبية 2019-2020 م

www.jnob-jo.com

النشيد الوطني

قَسَـمًا بِمَـنْ رَفَـعَ السَّـمَاءْ قَسَـمًا بِمَـنْ نَشَـرَ الضِّـيَاءْ
قَطَـرٌ سَتَبْـقَى حُـرَّةً تَسْمُـو بِـرُوحِ الأَوْفِـيَـاءْ
سِـيرُوا عَـلَى نَـهْـجِ الأُلَـى وَعَـلَى ضِيَـاءِ الأَنْبِـيَاءْ
قَطَـرٌ بِقَـلْـبِي سِـيرَةٌ عِـزٌّ وَأَمْجَـادُ الإِبَـاءْ
قَطَـرُ الرِّجَـالِ الأَوَّلِـين حُمَـاتُنَـا يَـوْمَ النِّـدَاءْ
وَحَمَـائِـمٌ يَـوْمَ السَّـلاَمْ جَـوَارِحٌ يَـوْمَ الفِـدَاءْ

www.jnob-jo.com

www.jnob-jo.com

المراجعة والتّدقيق العلميّ والتّربويّ

إدارة التّوجيه التّربويّ

خبرات تربويّة وأكاديميّة من المدارس

الإشراف العلميّ والتربويّ

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

www.jnob-jo.com

يعدّ كتاب الطّالب مصدرًا مثيرًا لاهتمام الطّلّاب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر، فهو يستهدف جميع المعارف والمهارات الّتي يحتاجون إليها للنّجاح في تنمية المهارات الحياتيّة وبعض المهارات في الموادّ الأخرى.

وبما أنّنا نهدف إلى أن يكون طلّابنا مميّزين، نودّ منهم أن يتّسموا بما يأتي:

- البراعة في العمل ضمن فريق.
- امتلاك الفضول العلميّ عن العالم من حولهم، والقدرة على البحث عن المعلومات وتوثيق مصادرها.
- القدرة على التّفكير بشكلٍ ناقدٍ وبنّاء.
- الثّقة بقدرتهم على اتّباع طريقة الاستقصاء العلميّ، عبر جمع البيانات وتحليلها، وكتابة التّقارير، وإنتاج الرّسوم البيانيّة، واستخلاص الاستنتاجات، ومناقشة مراجعات الزّملاء.
- الوضوح في تواصلهم مع الآخرين لعرض نتائجهم وأفكارهم.
- التّمرّس في التّفكير الإبداعيّ.
- التّمسّك باحترام المبادئ الأخلاقيّة والقيم الإنسانيّة.

يتجسّد في المنهج الجديد العديد من التّوجّهات مثل:

- تطوير المنهج لجميع المستويات الدّراسيّة بطريقة متكاملة، وذلك لتشكيل مجموعة شاملة من المفاهيم العلميّة الّتي تتوافق مع أعمار الطّلاب، والّتي تسهم في إظهار تقدّمهم بوضوح.
- مواءمة محتوى المصادر الدّراسيّة لتتوافق مع الإطار العامّ للمنهج الوطنيّ القطريّ بغية ضمان حصول الطّلّاب على المعارف والمهارات العلميّة وتطوير المواقف (وهو يُعرف بالكفايات) ممّا يجعل أداء الطّلاب يصل إلى الحدّ الأقصى.
- الانطلاق من نقطة محوريّة جديدة قوامها مهارات الاستقصاء العلميّ، ما أسّس للتّنوّع في الأنشطة والمشاريع في كتاب الطّالب.

www.jnob-jo.com

- توزّع المعرفة والأفكار العلميّة المخصّصة لكلّ عام دراسيٍّ ضمن وحدات بطريقة متسلسلة مصمّمة لتحقيق التّنوّع والتّطوّر.
- تعدّد الدّروس في كلّ وحدة، بحيث يعالج كلّ درس موضوعًا جديدًا، منطلقًا ممّا تمّ اكتسابه في الدّروس السّابقة.
- إتاحة الفرصة للطّلّاب، في كلِّ درسٍ، للتّحقّق الذّاتيّ من معارفهم ولممارسة قدرتهم على حلّ المشكلات.
- احتواء كلّ وحدة على تقويم للدّرس وتقويم الوحدة الّتي تمكِّن الطّلّاب والأهل والمدرّسين من تتبّع التّعلّم والأداء.

العلوم مجموعة من المعارف الّتي تشمل الحقائق والأشكال والنّظريّات والأفكار. ولكنَّ العالِم الجيّد يفهم أنّ «طريقة العمل» في العلوم أكثر أهمّيّة من المعرفة الّتي تحتويها.

سوف يساعد هذا الكتاب الطُّلّاب على تقدير جميع هذه الأبعاد واعتمادها ليصبحوا علماء ناجحين وليواجهوا مجموعة واسعة من التّحدّيات في حياتهم المهنيّة المستقبليّة.

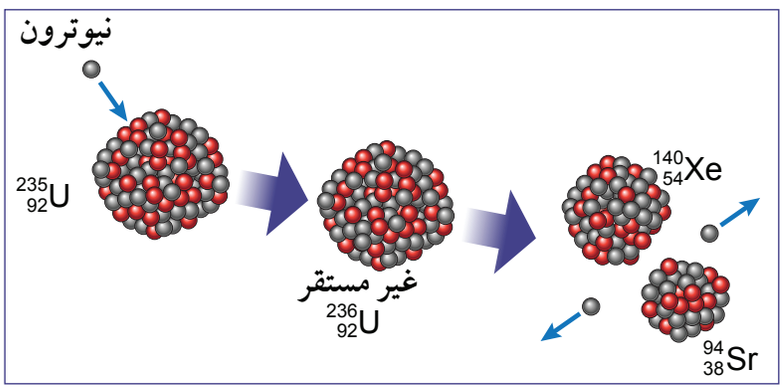
مفتاح كفايات الإطار العام للمنهج التّعليمي الوطني لدولة قطر

- الاستقصاء والبحث
- التّعاون والمشاركة
- التّواصل
- التّفكير الإبداعيّ والناقد
- حلّ المشكلات
- الكفاية العددية
- الكفاية اللغويّة

www.jnob-jo.com

الوحدة الثالثة من الفصل الثاني تتناول الموجات. تنقل الموجات الطاقة والمعلومات في الطبيعة وفي كافة التقنيات التي يستخدمها الإنسان. فالموجة نفسها التي تسخّن طعامك في فرن الميكروويف تنقل أيضا المحادثات في أجهزة الهواتف النقّالة.

تغوص الوحدة الأخيرة من الفصل الثاني داخل الذرات وأنويتها. فالذرة تحتوي في داخلها على طاقة مخبّأة داخل نواة لا يزيد قطرها عن 10^{-15}m. سيتم شرح النشاط الإشعاعي والتقنيات الفعّالة لكل من الإنشطار والإندماج النوويين.



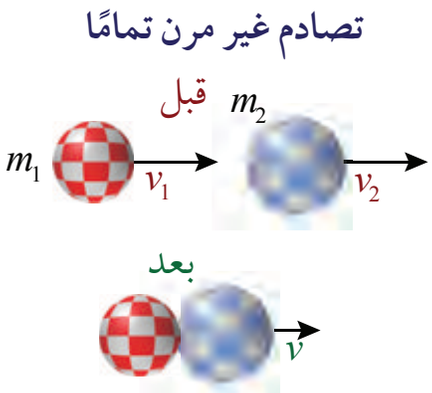
الإنشطار نووي.

www.jnob-jo.com

بعض أقسام هذا الكتاب

الرّسوم التّوضيحيّة

مفاهيم مهمّة وبيانات وأمثلة لكل فكرة جديدة معروضة من خلال الإيضاحات المفصّلة والشّروحات



أسئلة للمناقشة

سؤال للمناقشة

فكّر في موقف اضطررت فيه إلى إغماض عينيك بسبب وهج الضوء غير المريح

أسئلة المناقشة تزوّد الصّفّ بفرصة مناقشة المفاهيم والمعلومات الجديدة.

شريط الأفكار المهمّة

تنتشر جميع الموجات الكهرومغناطيسية بسرعة الضوء.

تحديد وتذكّر النّقاط الرّئيسة.

المسائل الرّياضيّة

1-7 العدد الكُتَلي

$$A = Z + N$$

العدد الكُتَلي (عدد النيوكليونات)	A	
العدد الذرّي (عدد البروتونات)	Z	
عدد النيوترونات	N	

مثلّت علاقات الكمّيّات الفيزيائيّة من خلال المتغيّرات ووحدات قياسها بشكل واضح.

الأمثلة

مثال 6

يتم تجهيز موجة موقوفة على وتر ذي نهايتين مثبتتين، حيث تردُّد النغمة التوافقية الأولى هو 140 Hz. تبلغ سرعة انتقال الموجات على الوتر 230 m/s، وسرعة الصوت في الهواء 340 m/s.

a. احسب طول هذا الوتر.

b. احسب الطول الموجي للصوت المتولِّد.

المطلوب: **a.** طول الوتر L.

b. الطول الموجي للصوت λ

تُظهر الأمثلة جميع خطوات الحلّ والتّبرير للحصول على حسابات صحيحة.

العلم والعلماء

الدرس 7-4: التفاعلات النووية

ضوء على العلماء

إنريكو فيرمي (1901-1951)

يُعدّ الفيزيائي الإيطالي/الأمريكي إنريكو فيرمي «مهندس العصر النووي»؛ وهو الذي ابتكر أول مُفاعِل نووي في العالم، شيكاغو بايل-1، وحصل على جائزة نوبل في الفيزياء.

ولد إنريكو فيرمي في روما بإيطاليا عام 1901. تطوّرت ميوله في الرياضيات والفيزياء في سنّ مبكِرة، واستخدم كثيرًا من الكتب المختلفة لتعليم نفسه. تقدَّم فيرمي عام 1918 للدراسة في جامعة سكولا نورمال سوبرويير بمدينة بيزا الإيطالية، وحصل على المرتبة الأولى في امتحان القبول، وتخرَّج فيها عام 1922 بدرجة دكتوراه

تمّ تطوير معارفنا العلميّة على مدى أكثر من ثلاثة آلاف عام. تُطلعُنا هذه المقالات على إلهام الإنسان وتبصُّرِه في التعامل مع العلم والتكنولوجيا.

www.jnob-jo.com

الأنشطة

التدرّب العملي من خلال المختبر والمشاريع البحثيّة وغيرها من الأنشطة التي تُرسّخ معاني الأفكار الجديدة وتطوّر العمل المخبري.

نشاط 4-6

توليد الموجات الموقوفة

سؤال الاستقصاء	دراسة وبحث العلاقة بين سرعة الموجة والطول الموجي.
الموادّ المطلوبة	وتر مطاطي (0.5 m)، مولّد إشارة، مولّد اهتزازات، كابلا توصيل، حامل بملاقط

الخطوات

1. اربط مولّد الإشارة بمولّد الاهتزاز مُستخدمًا كابلات التوصيل. قم بتغذية أحد طَرَفي الوتر

تقويم الدّرس

يتميّز كل درس بعرض يحتوي على الأسئلة التي تغطي جميع المفاهيم والمعلومات في هذا الدرس.

تقويم الدرس 7-1

1. أي مما يأتي حجمه أقرب إلى حجم نواة الذرّة؟
   a. بروتون
   b. إلكترون
   c. ذرّة هيدروجين
   d. نظير كربون-12.
2. عنصر تحتوي نواته على 19 بروتونًا و 20 نيوترونًا. كم تبلغ كتلة ذرّة هذا العنصر؟
   a. 6.528×10^{-29}kg

مراجعة الوحدة

ملخّص قصير عند نهاية كل وحدة وهو مرجع سريع للأفكار والمصطلحات الرئيسة.

مراجعة الوحدة

الدرس 7-1: الذرّة

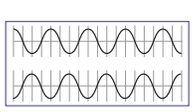
- **الذرّة** هي أصغر جُسيم لعنصر يمكن أن يوجد بشكل منفرد، أو مركّب مع ذرّات أخرى. تتألف الذرّة من نواة ثقيلة مُحاطة بإلكترون واحد أو أكثر.
- **الإلكترون** واحد من مُكوّنات الذرّة (جُسيم دون ذرّي) له شُحنة سالبة مقدارها -1.602×10^{-19} C، وكتلة مقدارها 9.109×10^{-31} kg.

تقويم الوحدة

زوّدت كل وحدة بمجموعة من الأسئلة ذات الخيارات المتعددة كعينة تحضّر الطالب لاختبار نموذجي.

اختيار من مُتعدّد

1. ما فرق الطور بين الموجتين في الرسم التخطيطي؟
   a. 0°
   b. 90°
   c. 180°
   d. 360°



تقويم الوحدة

أسئلة الاجابة القصيرة وأسئلة ذات الإجابة المطوّلة ذات مستويات ثلاثة من الصعوبة عند نهاية كل وحدة.

21. استخدم مخطّطًا لإظهار تغيّر فهمنا لتركيب الذرّة على امتداد آلاف السنين الغابرة.
22. في تجربة التشتُّت لرذرفورد، ما هو سبب عبور معظم جُسيمات ألفا لرقاقة الذهب من دون انحراف؟
23. في تجربة التشتُّت لرذرفورد، ما هو سبب ارتداد بعض جُسيمات ألفا إلى الوراء؟
24. ما هي نسبة كتلة كل من الإلكترونات والنواة في ذرّة الكربون إلى كتلة الذرّة الكاملة؟

www.jnob-jo.com

مخطّط المادّة

الوحدة 6

الخصائص المتقدمّة للموجات

الصوت موجة منتقلة من الانضغاطات، والضوء موجة منتقلة من اهتزازات المجالات الكهرومغناطيسية، وكلاهما يتشاركان في خصائص الموجات، ومنها التردُّد.

الوحدة 7

الفيزياء الذرّية والنووية الحديثة

يمكن إعادة ترتيب البروتونات والنيوترونات داخل نواة الذرّة للحصول على نواة لذرّة أخرى. قد تحتاج هذه العملية إلى كمّيات هائلة من الطاقة وقد تعطيها.

جدول المحتويات

الوحدة 6

الخصائص المتقدمّة للموجات 2

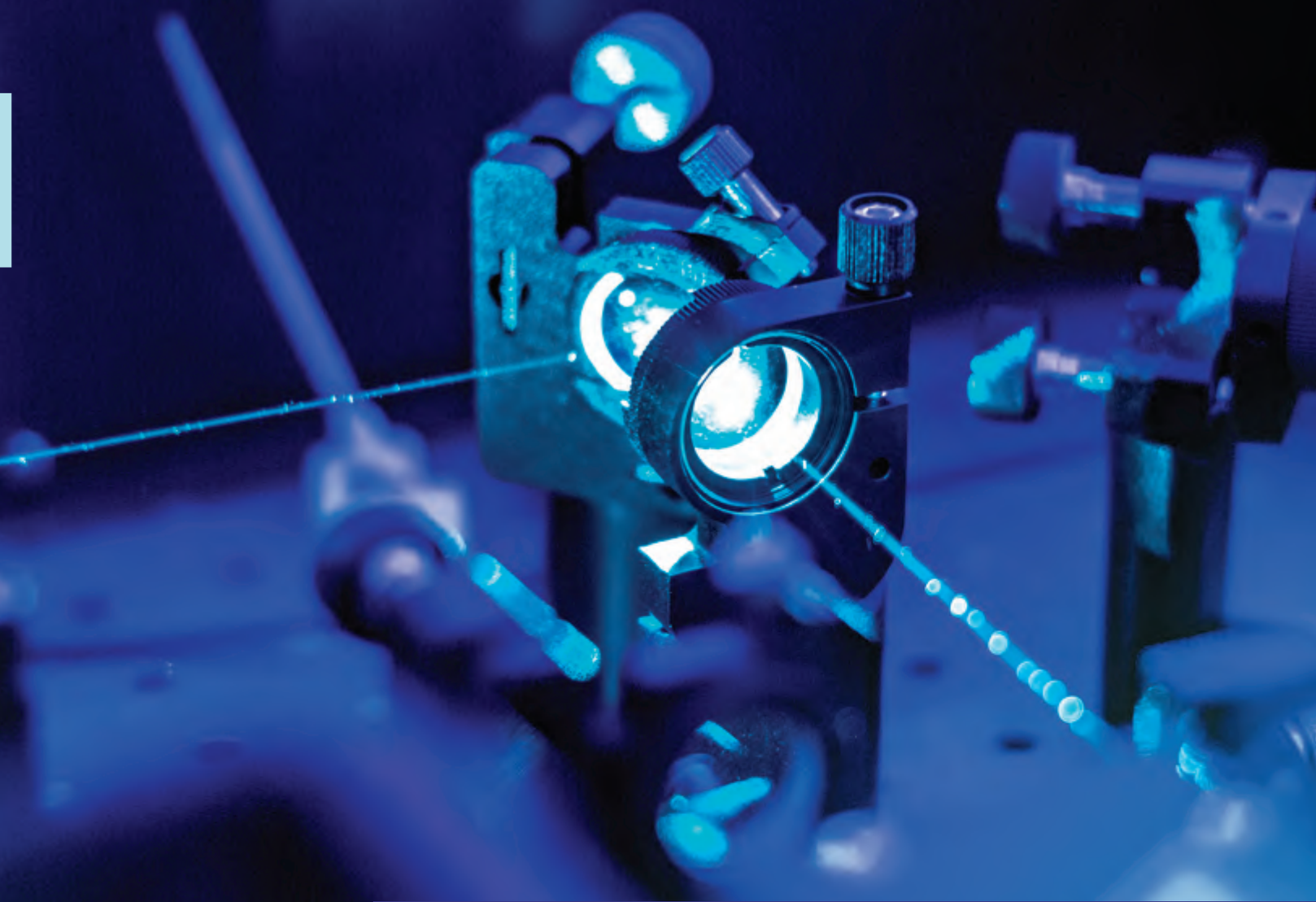
الدرس 6-1 خصائص الموجات 4
الدرس 6-2 التداخل في الضوء 13
الدرس 6-3 الأشعة الكهرومغناطيسية 25
الدرس 6-4 الموجات الموقوفة 32

الوحدة 7

الفيزياء الذرّية والنووية الحديثة 58

الدرس 7-1 الذرّة 60
الدرس 7-2 النشاط الإشعاعي 68
الدرس 7-3 عمر النصف 80
الدرس 7-4 التفاعُلات النووية 87

www.jnob-jo.com



الوحدة 6

الخصائص المتقدِّمة للموجات

في هذه الوحدة

الدرس 6-1: خصائص الموجات
الدرس 6-2: التداخل في الضوء
الدرس 6-3: الأشعة الكهرومغناطيسية
الدرس 6-4: الموجات الموقوفة

P1117
P1118
P1119
P1120

www.jnob-jo.com

6 الوحدة

مقدّمة الوحدة

يُعدّ الضوء الذي ينتقل من الشمس إلى الأرض، والأشعة السينية التي تكشف عن الكسور في العظام، وموجات الراديو المستخدمة في المذياع الذي نستمع إليه، أمثلة على الموجات وتطبيقاتها. تنقل الموجات الطاقة داخل الوسط من خلال اهتزاز نقاطه، من دون نقل جزيئات الوسط نفسه. يحدث التداخل عند التقاء موجتان معًا وفق شروط معينة، وينتج من التداخُل موجات ذات سعة أكبر أو أصغر. سوف ندرس تأثير التداخل في موجات الصوت والضوء. عندما تنعكس الموجة عن سطح معيَّن، فإنها تتداخل مع الموجة القادمة، وتُنتج الموجات الموقوفة التي تُعدّ أساس الأجهزة التي تعتمد على الرنين. الطيف المرئي جزء من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يشتمل على المدى الكامل للتردُّدات والأطوال الموجية للموجات الكهرومغناطيسية. تتكوَّن الموجات الكهرومغناطيسية من مجال كهربائي وآخر مغناطيسي يهتزان باتجاهَين مُتعامدَين، بينما تنتشر الموجة في اتجاه ثالث عمودي على هذين الاتجاهين. سوف ندرس الطيف الكهرومغناطيسي وتطبيقات موجات مختلفة داخل الطيف.

الأنشطة والتجارب

1-6 تداخُل موجات الصوت

2-6 حساب الطول الموجي للضوء

3-6 استقطاب الضوء

4-6 توليد الموجات الموقوفة

www.jnob-jo.com

الدرس 6-1
خصائص الموجات

قد تكون مشاهدة فيلم في الطائرة أمرًا مُحبطًا بسبب هدير محرِّكاتها. يمكن تفادي هذا الأمر باستخدام سمّاعة الرأس. سماعة الرأس التي تعمل على البطاريات لديها ميكروفون يلتقط كُل الأصوات في المنطقة المحيطة. يُنتِج مُولّد الإشارة موجة لها خصائص مطابقة للصوت القادم، من حيث التردُّد والطول الموجي والسِّعة، لكن فرق الطور بينهما يساوي 180°. تصل الموجة الصوتية الجديدة إلى آذاننا مع الضوضاء من الخارج، فتتداخل الموجتان تداخُلًا هدّامًا، حيث يُلغى ضجيج مُحرِّكات الطائرة وهديرها.

يمكن لسماعات الرأس أن تلغي 70% من الضوضاء تقريبًا. يجد كثير من الناس تلك السماعات مفيدة حتى من دون وجود جهاز صوتي. ويعتبر الكثير منهم أن وضع تلك السماعات على آذانهم يجعل الرحلة بالقطار أو الطائرة أكثر راحة ومتعة.

الشكل 6-1 سَمّاعات الرأس تقلّل الضجيج في الطائرة.

مخرجات التّعلُّم

P1117.1 يصف، مستخدمًا مخططات مناسبة، مبدأ تراكب الموجات، ويستخدمه لتوضيح التداخُل.

P1117.2 يناقش شروط الحصول على تداخُل ملحوظ للموجات، ويربط التداخُل البناء والهدام بفرق الطور.

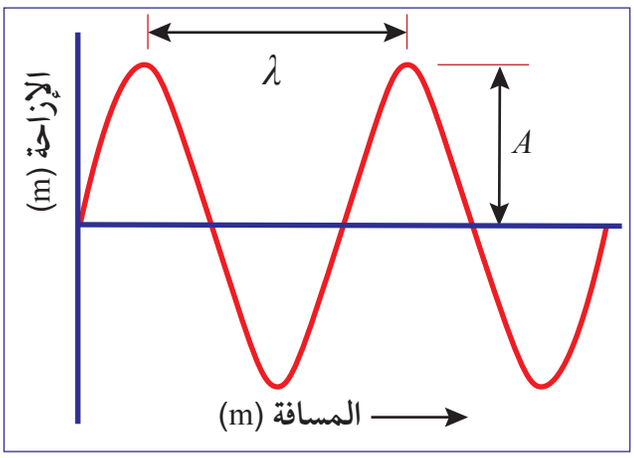
المفردات

الطور	Phase
فرق الطور	Phase difference
التداخُل	Interference
مبدأ التراكُب	Principle of superposition
تداخُل بنّاء	Constructive interference
تداخُل هدّام	Destructive interference
الضربات	Beats
فرق المسار	Path difference

www.jnob-jo.com

خصائص الموجات

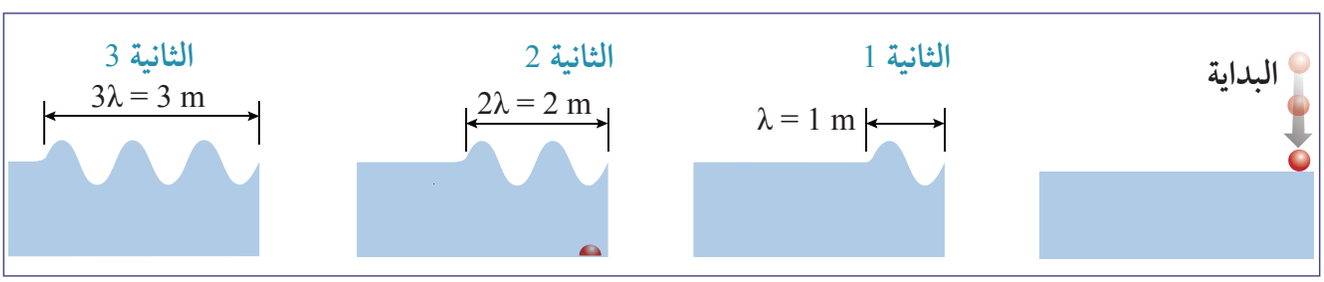
تنتج الموجة من اهتزاز ينتقل في وسط ما، ولها خصائص معيَّنة كالطول الموجي والتردُّد والسعة. الطول الموجي λ هو المسافة التي تقطعها الموجة المنتقلة خلال دورة كاملة، والسعة A هي أقصى إزاحة للاهتزاز، (**الشكل 6-2**). أما التردُّد f فهو عدد الاهتزازات في وحدة الزمن، ووحدة قياسها الهرتز Hz، وهي عدد الاهتزازات خلال ثانية واحدة.



الشكل 6-2 سرعة الموجة.

تزداد طاقة الموجة بزيادة التردُّد أو السعة أو كليهما. عند ثبات السعة تملك الموجة التي لها تردُّد أعلى طاقة أكبر. بالمقابل، تملك الموجة التي لها تردُّد منخفض طاقة أصغر. وكذلك عند ثبات التردُّد، تملك الموجة التي لها سعة أعلى، طاقة أكبر.

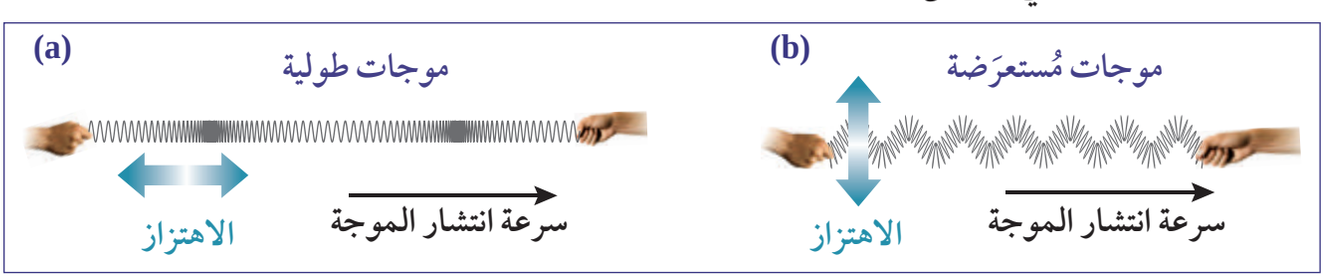
سرعة الموجة v هي حاصل ضرب التردُّد في الطول الموجي (**المعادلة 6-1**). فالموجة ذات التردد 1 Hz والتي تنتشر في وسط معيّن بسرعة 1 m/s يكون طولها الموجي 1 m. ويبيّن **الشكل 6-3** حركة موجية طولها 1 m وسرعتها 1 m/s.



الشكل 6-3 سرعة الموجة.

1-6	سرعة الموجة		
$v = f\lambda$		v	سرعة الموجة (m/s)
		f	التردُّد (Hz)
		λ	الطول الموجي (m)

تُقسَّم الموجات وفق اتِّجاه اهتزازِها، إلى قسمين: موجات طولية كالموجات الصوتية، تهتز في اتّجاه انتشارها كما في **الشكل 6-4 (a)**، وموجات مُستعرَضة كالموجات المائية، تهتز في اتّجاه عمودي على اتّجاه انتشارها، كما في **الشكل 6-4 (b)**.

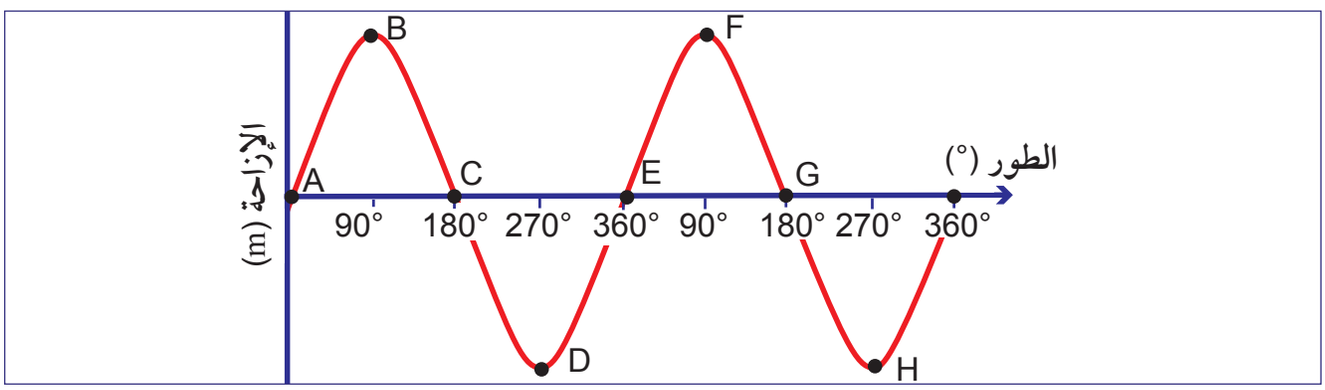


الشكل 6-4 الموجات الطولية والموجات المُستعرَضة.

www.jnob-jo.com

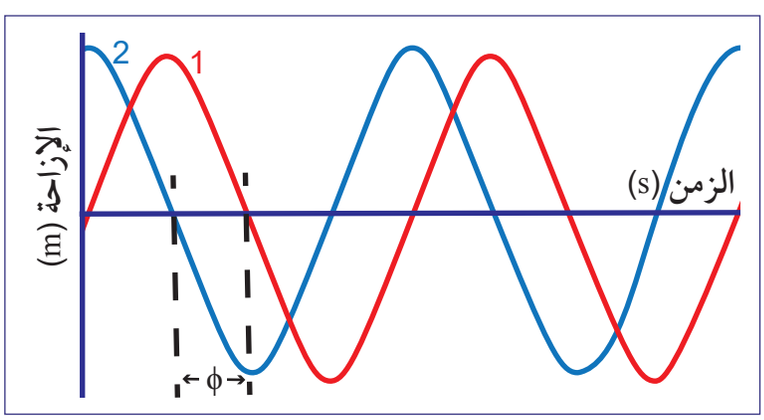
طور الموجة

عند انتقال موجة في بركة ماء، تهتز جُسيمات الماء صعودًا ونزولًا. يمكن وصف موقع أيّ من جُسيمات الماء أثناء دورة اهتزاز واحدة من خلال **طور Phase** ذلك الجُسيم. يمكن تحديد هذا الموقع بالدرجات (°)، أو بجزء من الطول الموجي، أو بالراديان (rad). يمثِّل **الشكل 6-5** إزاحة جُسيم أثناء مرور موجة عبره. عندما يكون الجُسيم عند النقطتين A و E، يتحرَّك إلى الأعلى بدءًا من موقع الاتِّزان؛ وبالتالي يكون الطور هو نفسه عند هاتين النقطتين. يمكن تمثيل هذه الدورة الكاملة بـ 2π(rad) أو 360°، لأنها تستغرق اهتزازة كاملة من أوّلها إلى آخرها. على الرغم من أن موقع النقطتين C و G مشابه لموقع النقطة A، فإنهما تتحرَّكان إلى الأسفل ولهما الطور نفسه أيضًا، لكنّ فرق الطور بين كل منهما وبين النقطة A يتمثل بـ π rad أو 180°. النقطتان B و F، أيضًا لهما الطور نفسه، كذلك النقطتان H و D لهما الطور نفسه.



الشكل 6-5 اهتزاز جُسيم الماء.

فرق الطور



الشكل 6-6 فرق الطور بين موجتين.

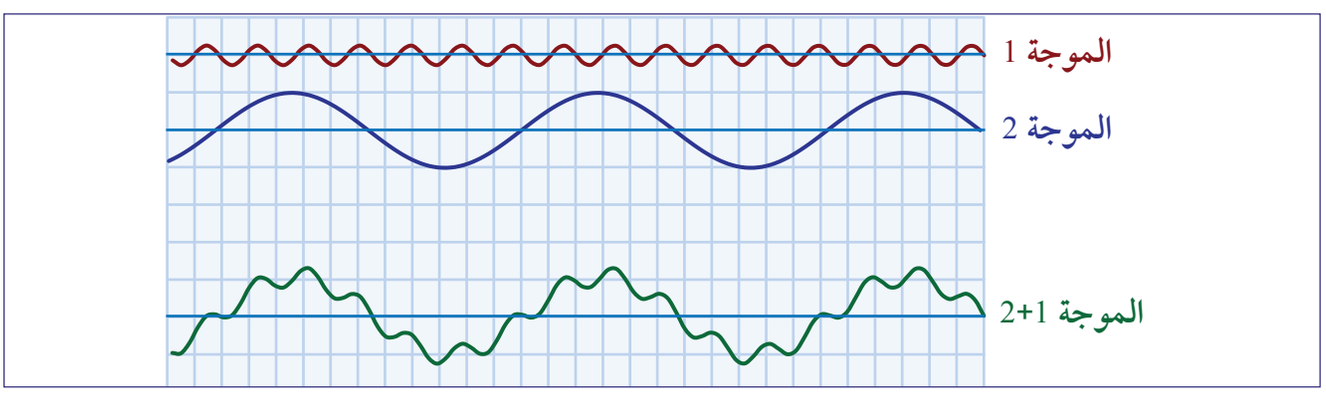
افترض أن موجتين متماثلتين، من حيث الطول الموجي والتردُّد والسعة، تنطلقان في لحظتين زمنيتين مختلفتين. نقول عندئذ إن هناك فرقًا في **الطور Phase difference** بين الموجتين. يمكن قياس فرق الطور بالدرجات أو بالراديان. يمثِّل **الشكل 6-6** فرق الطور بين موجتين لهما نفس التردُّد والسعة والطول الموجي. لإيجاد فرق الطور بين الموجتين نأخذ نقطتين متماثلتين للموجتين (قمتين أو قاعين مثلًا)، ثم نحسب الفرق بينهما بالدرجات أو بالراديان. في هذه الحالة، نرى أن الموجة 1 تتقدَّم على الموجة 2 بمقدار $\frac{\pi}{2}$ rad أو 90°. ومن هنا نقول إن فرق الطور بينهما 90°.

www.jnob-jo.com

مبدأ التراكُب

إذا أسقطنا حجر صغير في بركة ماء، تنشئ اهتزازات صغيرة أو موجات حولها. وإذا أسقطنا حجرًا أكبر عند نقطة أخرى قريبة، فإن الموجات حوله ستكون أكبر. يكون هناك نقاط تلتقي عندها الموجتان الصغيرة والكبيرة. تتداخل الموجتان وفق مبدأ يُسمّى مبدأ التراكب الذي يفسِّر ما يحدث عند التقاء موجتين.

ينصّ **مبدأ التراكب Principle of superposition** على الآتي: عندما تلتقي موجتان عند نقطة معيّنة في وسط ما، تكون الإزاحة الكلّية للنقطة هي حاصل جمع إزاحة الموجتين، كُلٌّ على حدة. الموجتان 1 و 2 في **الشكل 6-7**، مثلًا، تمتلك كل منهما طولًا موجيًّا وتردُّدًا وسعة محدَّدة. عندما تلتقي هاتان الموجتان في الموقع نفسه واللحظة الزمنية نفسها، فإن جمع الإزاحتين يعطينا شكل الموجة 2+1 التي لها طول موجي وتردُّد وسعة مختلفة عن كل من الموجتين 1 و 2. يوضِّح هذا المثال تراكُب موجتين. ولكن في الواقع قد تكون هناك عدة موجات في الوقت نفسه والمكان نفسه.

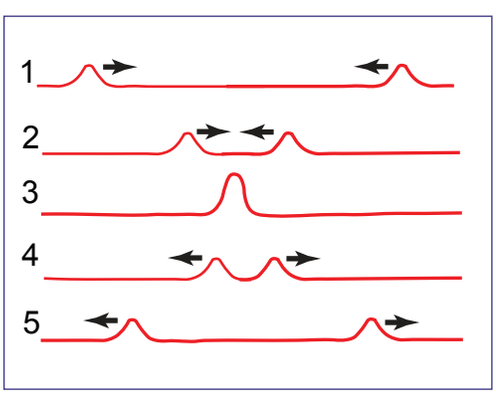


الشكل 6-7 تراكُب موجتين.

التداخُل المؤقَّت للموجات

عندما تسير موجتان إحداهما نحو الأخرى، فإنهما تتداخلان وتنشئان اضطرابًا كبيرًا.

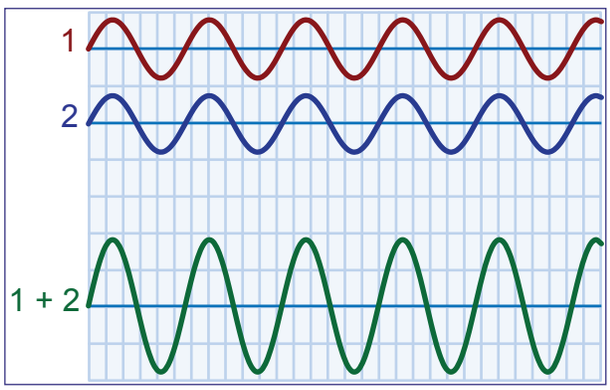
يظهر **الشكل 6-8** نبضتين تسيران في اتّجاهين متعاكسين. تتداخل النبضتان بشكل مؤقت لحظة التقائهما (3)، ثمّ تفترقان، وتتابع كل نبضة طريقها. لا يغيِّر التداخُل المؤقَّت من كمّية الطاقة لكل نبضة.



الشكل 6-8 تداخُل مؤقَّت لنبضتين.

www.jnob-jo.com

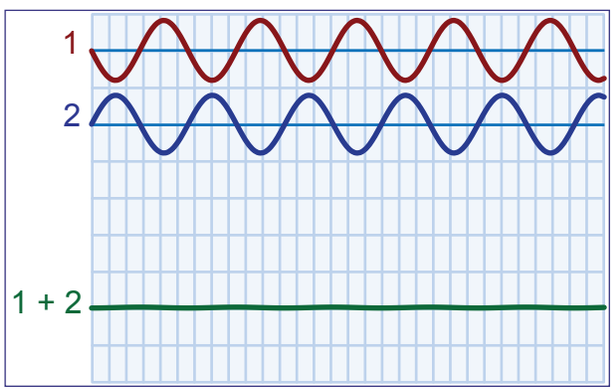
التداخُل البنّاء



الشكل 6-9 تداخُل بنّاء.

يؤدّي وجود موجة أو أكثر لها التردُّد نفسه في نقطة واحدة إلى موجة محصِّلة تكون سعتها أكبر أو أصغر من الموجات المُتداخلة. إذا كان لتلك الموجات الطور نفسه، تكون سعة الموجة المحصِّلة أقصى ما يمكن، وهي حاصل جمع سعات الموجات، ويُسمَّى التداخُل في هذه الحالة **تداخُلًا بنّاء Constructive interference**. يُظهر **الشكل 6-9** مثالًا على تداخُل بَنّاء لموجتين لهما الطور نفسه والسعة نفسها. تكون سعة الموجة المحصِّلة ضعفي سعة إحدى الموجتين، في حين يبقى تردُّدها وطولها الموجي كأيٍّ من الموجتين.

التداخُل الهدّام

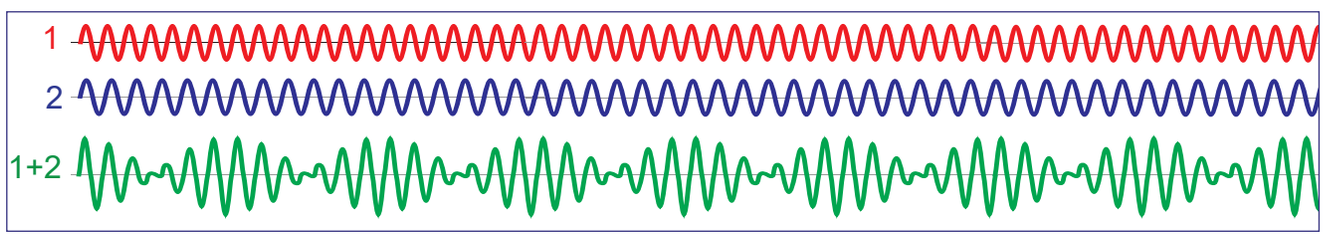


الشكل 6-10 تداخُل هدّام.

ليست كل التداخُلات بنّاءة. فإذا كان الفرق في الطور بين موجتين، لهما نفس التردّد والسِّعة متداخلتين عند نقطة معيّنة، 180° (π rad)، تلتقي قمة إحداهما مع قاع الأخرى، ويكون **التداخُل هدَّامًا Destructive interference**. يوضح **الشكل 6-10** تداخُلًا هدّامًا بين موجتين لهما السعة نفسها، فتكون سعة الموجة المحصِّلة صفرًا في هذه الحالة. لكن إذا كان للموجتين سعتان مختلفتان، تكون سعة الموجة المحصِّلة حاصل طرح السعتين.

الضربات

في كثير من الحالات، يحدث تراكُب بين موجتين ليس لهما التردُّد نفسه **الشكل 6-11**. عند جمع موجتين صوتيتين بتردُّدين مختلفَيْن قليلًا، تكون المحصِّلة عبارة عن تراكباتٍ بنّاءة وهدّامة بشكل منتظم ومتوالٍ، ينتج منها صوت نابض ومزعج بعض الشيء يُسمّى بالضربات.

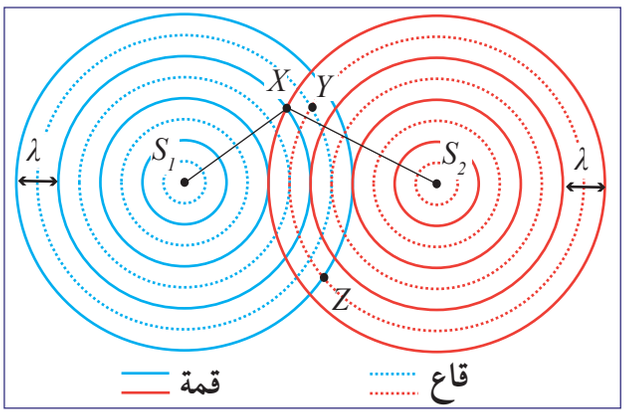


الشكل 6-11 الضربات.

www.jnob-jo.com

تداخُل مصدر مزدوِج

يمكن تمثيل الموجات بجبهاتها الموجية التي تعبِّر عن طريقة انتشارها، فتكون كروية أو مستوية. عند تحليل التداخُل باستخدام الجبهات الموجية، يصبح حساب النتائج أسهل. لنفترض مصدرَي الموجة الكرويين في **الشكل 6-12** اللذين يصدران موجات لها نفس التردُّد والسعة والطول الموجي والسرعة. تجتمع الجبهات الموجية من كلا المصدرين في عدّة نقاط.



الشكل 6-12 تداخُل موجتين من مصدرين.

لنفرض أن النقطة X هي نقطة التقاء قمّتي موجتين من المصدرين S_1 و S_2. تبعد النقطة X مسافة 3λ عن المصدر S_1، و 4λ عن المصدر S_2. وبما أن النقطة X هي نقطة التقاء قمّتين، فإن التداخُل هنا يعتبر تداخُلًا بنّاءً، وعليه فإن سعة المحصّلة تكون ضعفي سعة كل موجة. يمكن أيضًا ملاحظة التداخُل البنّاء للنقطتين X و Y من خلال حساب فرق المسار، Δl، وهو الفرق في المسافة بين بعد النقطة عن المصدر S_1 وبُعدها عن المصدر S_2 (l_1 و l_2).

فرق المسار للنقطة X	فرق المسار للنقطة Y
$\Delta l = \lvert l_1 - l_2 \rvert$	$\Delta l = \lvert l_1 - l_2 \rvert$
$\Delta l = \lvert 3\lambda - 4\lambda \rvert = \lambda$	$\Delta l = \lvert 3.5\lambda - 3.5\lambda \rvert = 0$

تمثِّل النقطة Y نقطة التقاء قاع الموجة من المصدر S_1 مع قاع الموجة من المصدر S_2. يساوي فرق المسار عند هذه النقطة صفرًا. لذلك نستنتج الآتي: إذا كان فرق المسار عند أي نقطة يساوي صفرًا أو أعدادًا صحيحة من الطول الموجي، فإن التداخُل عند هذه النقطة يكون تداخُلًا بنّاء.

يحدث التداخُل الهدّام عند النقاط التي يساوي فيها فرق المسار مضاعفات لأعداد فردية من نصف الطول الموجي. لنفرض أن النقطة Z هي نقطة التقاء قمّة موجة من المصدر S_1 وقاع موجة من المصدر S_2 يكون فرق المسار عندها:

$$\Delta l = \left| 4\lambda - 3\frac{1}{2}\lambda \right| = \frac{1}{2}\lambda$$

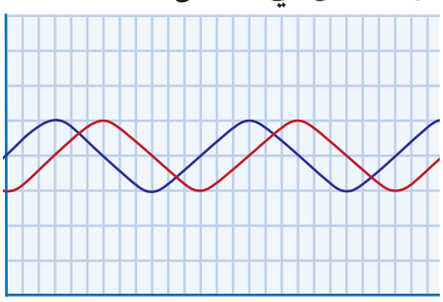
التداخُل البنّاء يحدث عند نقطة يكون فرق المسار فيها يساوي $n\lambda$، حيث n عدد صحيح.

التداخُل الهدّام يحدث عند نقطة يكون فرق المسار فيها يساوي أعدادًا فردية من نصف الطول الموجي.

www.jnob-jo.com

مثال 1

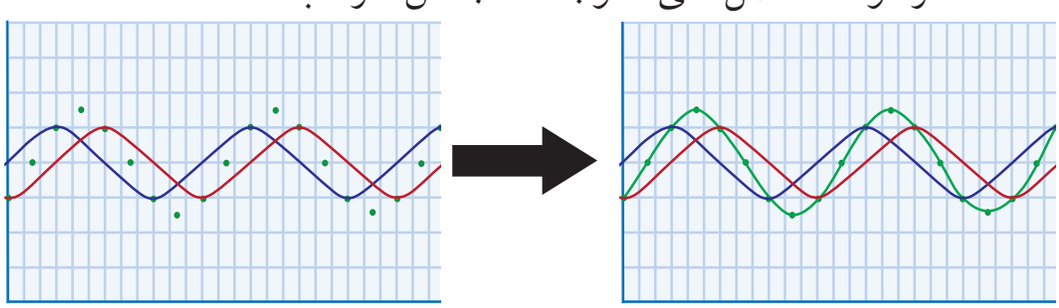
ارسم نموذج التراكب للموجتين الموضحتين في الشكل.



المطلوب: رسم الموجة المحصِّلة

الحل:

1. حدِّد موقع نقاط تشكِّل القمم والقيعان للموجة المحصَّلة، وهي النقاط التي تلتقي فيها الموجتان المُتراكبتان.
2. حدِّد موقع النقاط التي تكون فيها الموجة المحصَّلة في حالة اتِّزان (إزاحتها صفر)، وهي النقاط التي تكون عندها إزاحتا الموجتين متعاكستين.
3. يمكن إضافة محصِّلة نقاط عند لحظات زمنية مختلفة، بجمع الإزاحتين جبريًّا.
4. صِل النقاط المرسومة لتحصل على الموجة الناتجة من التراكُب.



مثال 2

تنتشر موجتان متماثلتان، بطول موجي 2 m، من مصدريهما في الوقت نفسه. تلتقي هاتان الموجتان عند النقطة X التي تبعد 12 m من المصدر الأوّل، و 15 m من المصدر الثاني. ما نوع التداخُل عند النقطة X؟

المطلوب: نوع التداخُل عند النقطة X ،

المُعطى: الطول الموجي $\lambda = 2\ m$، البعد عن المصدر الأوّل $l_1 = 12\ m$ وعن المصدر الثاني $l_2 = 15\ m$

الحل: فرق المسار $\Delta l = 15 - 12 = 3\ m$

فرق المسار بدلالة الطول الموجي $\Delta l = n\ \lambda\ ;\ n = 1.5 \Rightarrow \Delta l = 3\ m\ ;\ \lambda = 2\ m$

وهو مضاعف فردي لنصف الطول الموجي، لذلك يكون التداخُل هدّامًا.

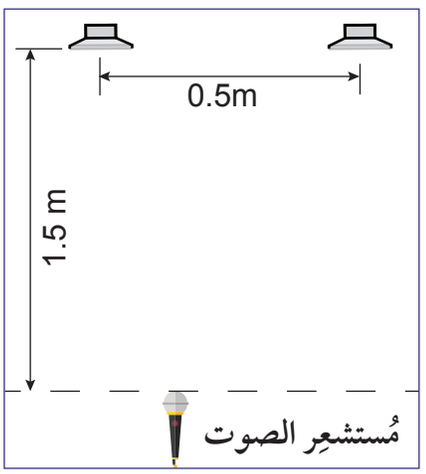
www.jnob-jo.com

نشاط

1-6 تداخُل موجات الصوت

سؤال الاستقصاء	كيف نتحقَّق من حدوث التداخُل؟
الموادّ المطلوبة	ميكروفون أو مُستشعِر صوت، راسم ذبذبات، عصا مترية، ورق عمل

خطوات التجربة



الشكل 6-13 قياس تداخُل الصوت.

1. سيقوم معلِّمك بتجهيز الغرفة بمكبِّري صوت ومولِّد إشارة.
2. قم بتجهيز نظام الكشف عن الصوت.
3. على خط يبعد 1.5m، سرْ ومعك جهاز مُستشعِر الصوت، حتى تحصل على أدنى مستوى للصوت.
4. سيقوم معلِّمك بإيقاف أحد مُكبِّري الصوت.
5. سيعيد معلِّمك تشغيل المكبِّر مرة أخرى. قِس فرق المسار بين هذه النقطة وكل من المكبّرين.
6. سرْ على طول الخط للعثور على الحد الأدنى التالي، ثم دوِّنه على ورقة العمل، ثم احسب فرق المسار الجديد.
7. ابحث، الآن، عن موقعين يكون فيهما مستوى الصوت أقصى ما يمكن، ثم احسب فرق المسار لكل موقع.

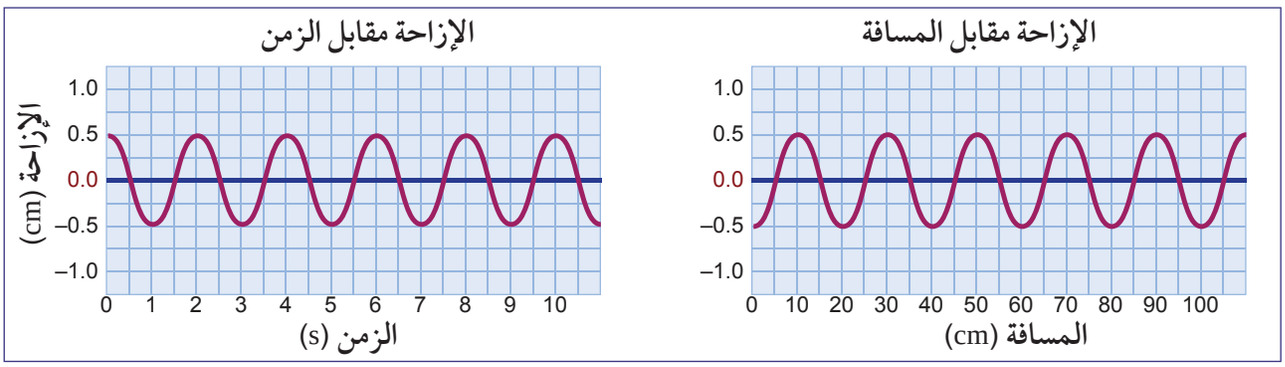
الأسئلة

a. اشرح ما لاحظته عند إيقاف تشغيل أحد مكبِّري الصوت.
b. استخدم قيَم فرق المسار التي قستها لحساب الطول الموجي للصوت.
c. إذا كانت سرعة الصوت 340m/s، احسب طول موجة الصوت باستخدام المعادلة $v=f.\lambda$.
d. ما مدى تطابُق قيمتَي الطول الموجي في الفرعين b و c؟ إذا كان هناك أي فرق فما سببه؟

www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 6-1

1. الشكل الأوّل أدناه هو رسم بياني لاهتزاز نقطة على موجة مستعرضة بدلالة الزمن، والشكل الآخر هو رسم بياني للموجة نفسها بدلالة المسافة. استخدم الرسمين البيانيين للإجابة عن الأسئلة الآتية:



أوجد:

a. تردُّد الموجة.

b. الطول الموجي.

c. سعة الموجة.

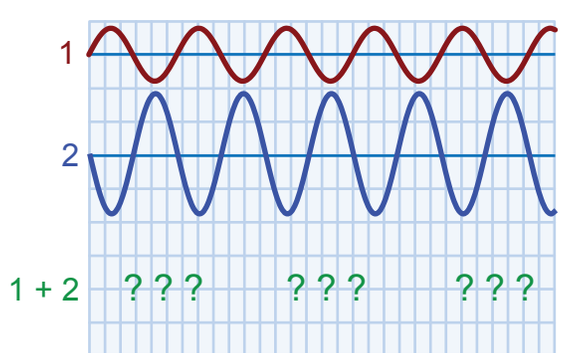
d. سرعة الموجة.

2. هل يمكن إيجاد موجة لها سعة صفر ناتجة من تداخُل موجتين سعة كل منهما لا تساوي الصفر؟ اشرح ذلك.

3. إذا أردت أن تجعل مصدر الضوء أكثر إضاءةً، فهل تستخدم تداخُلًا بنّاء أم هدّامًا؟

4. ارسم موجتين لهما الطول الموجي نفسه والسعة نفسها لتتداخلا تداخُلًا بنّاء، وكذلك تداخُلًا هدّامًا.

5. تتراكب الموجتان 1 و 2 الموضَّحتان في الشكل أدناه. كيف يمكن مقارنة السعة والطول الموجي وطور الموجة المحصَّلة للموجتين 1 و 2؟

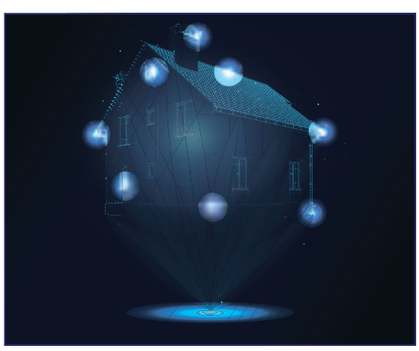


www.jnob-jo.com

الدرس 6-2
التداخُل في الضوء

أثارت الهولوجرامات (الصور المُجسَّمة) المشاهدين لأكثر من 50 عامًا. وعلى الرغم من أن تقنية جعل الصور المُجسَّمة أكثر واقعية لا تزال قيد التطوير، فإن الصور الثلاثيَّة الأبعاد التي يتم إنتاجها لا تزال مذهلة. يتم إنتاج صور الهولوجرام جرّاء التداخُلات البنّاءة والهدّامة التي تحدث نتيجة التقاء موجات الضوء.

تَستخدِم الصور المُجسَّمة ضوء ليزر يسقط على جسم يُسمّى نصف مرآة، وهو عبارة عن لوح زجاجي مطليّ بطبقة رقيقة من الفضّة. يسمح نصف المرآة لجُزء من ضوء الليزر بعبوره، ويسبِّب انعكاس بقية موجات الضوء، ويحرِّكها في اتّجاه آخر. يتم توجيه هذين الشعاعين المنفصلين على النقطة نفسها من لوحة فوتوغرافية باستخدام مرايا. يتولّد هناك فرق في المسار الذي يسلكه الشعاعان، لأن أحدهما يسلك مسارًا أطول من الآخر. يتسبّب هذا الاختلاف في المسار بالتداخُل؛ حيث يُضَخَّم الضوء في بعض الأماكن وتقلّ شدّته في أماكن أخرى.



الشكل 6-14 إسقاط صورة ثلاثية الأبعاد لمنزل.

مخرجات التّعلُّم

P1118.1 يعرض كيف تبين تجربة الشق المزدوج «تجربة يونج» السلوك الموجي للضوء، ويحل مسائل حسابية باستخدام المعادلة: $\lambda = dx/D$.

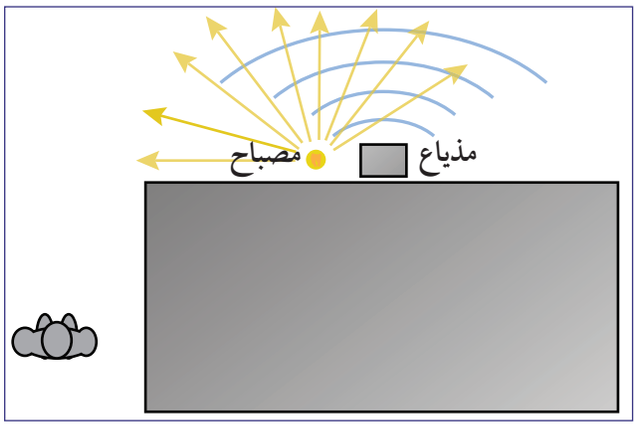
P1118.2 يشتق معادلة محزوز الحيود $d\sin\theta = n\lambda$ ويستخدمها في استقصاء محزوز الحيود والأطوال الموجية لضوء الليزر.

المفردات

Diffraction	الحيود
Polychromatic light	ضوء متعدِّد الألوان
Monochromatic light	ضوء أحادي اللون
Coherent light	ضوء مترابط
Bright fringes	أهداب مضيئة
Dark fringes	أهداب معتمة
Fringe spacing	التباعد الهدبي
Central maximum fringe	الهدبة المُضيئة المركزية
First minimum fringe	الهدبة المُعتمة الأوّلى
Second Maximum fringe	الهدبة المُضيئة الثانية

www.jnob-jo.com

الحيود

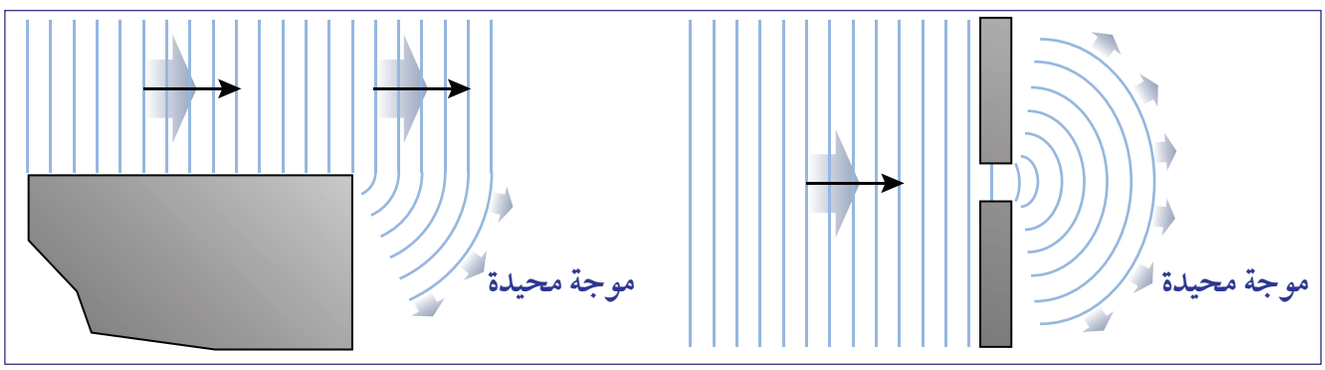


الشكل 6-15 يمكن سماع صوت المذياع، ولكن لا يمكن رؤية المصباح.

صحيح أن كلًّا من الصوت والضوء موجاتٌ منتشرة، لكنَّهما يتصرّفان بشكل مختلف عندما يواجهان حواجز. إذا وُضع مصباح ومذياع خلف زاوية في غرفة ، لا يمكن رؤية المصباح لكن يمكن سماع صوت المذياع (**الشكل 6-15**). يعود ذلك إلى **الحيود Diffraction** الذي هو خاصية الموجات التي تسمح للموجة بالانحراف لدى اصطدامها بحافة أو زاوية، أو المرور من فتحة ضيّقة عرضها أقل أو يساوي الطول الموجي.

تحيد الموجات الصوتية حول الزاوية، لأن الطول الموجي للموجات الصوتية يكون في حدود بضعة سنتيمترات، وهي تقارن بمقياس الزاوية. لكن الطول الموجي النموذجي للموجة الضوئية هو 10^{-5} cm وهو أصغر كثيرًا من مقياس الزاوية نفسها، وبالتالي يكون مقدار الحيود دقيقًا جدًّا وغير ملحوظ. بشكل عام ، إذا كان الطول الموجي أصغر كثيرًا من قياس الفتحة التي تمر بها الموجة، فإنها تمر من دون تغيُّر تقريبًا.

يتناسب مقدار الحيود مع النسبة بين الطول الموجي ومقياس الجسم المسبِّب للحيود.



الشكل 6-16 الحيود.

غالبًا ما يغيِّر الحيود اتِّجاه الموجة وشكلها. تحيد الموجة المستوية التي تصل إلى حافة مناسبة، حيث تصبح جبهات الموجة دائرية تقريبًا عند الحافة (**الشكل 6-16**). تنتشر الموجة المستوية نفسها التي تمر عبر فتحة على شكل موجة دائرية عند الجانب الآخر من الفتحة. يفسِّر حيود الصوت سماعك لصوت شخص في الغرفة الأخرى، وإن كان الباب مغلقًا وليس به إلا فتحة صغيرة، أو فتحة المفتاح. يؤدّي الحيود إلى انتشار موجة صوتية من الشق. تحدث الظاهرة نفسها للموجات الضوئية، ولكن في هذه الحالة علينا النظر إلى أجسام صغيرة جدًّا أو تفاصيل دقيقة للغاية لمعرفة آثار حيود الضوء.

www.jnob-jo.com

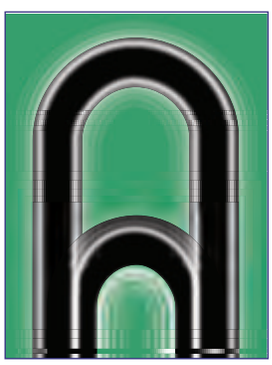
حيود الضوء

تحيد الموجات الصوتية حول حافة جدار الغرفة، لكن الموجات الضوئية لا تحيد، لأن طول موجة الضوء أصغر كثيرًا من قياس الحافة. يمكننا مراقبة حيود الموجات الضوئية حول الأجسام الصغيرة.

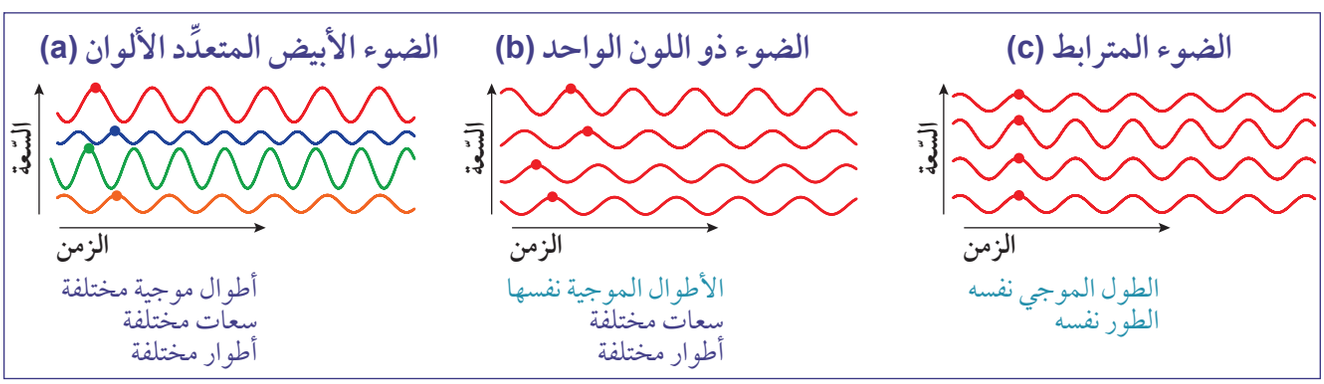
سؤال للمناقشة

أين لاحظت حيود الضوء؟ هل يحدث ذلك بشكل طبيعي؟

عندما تجتاز موجات الضوء حاجزًا، فإن القليل من موجات الضوء ينحرف حول حافة الحاجز. تتداخُل تلك الموجات مع موجات ضوئية أخرى تحيد حول الجانب الآخر من الحاجز. ينتج من ذلك نمط من التداخُل. إذا تم إسقاط الضوء بعد حيوده على شاشة، يظهر نمط من الحزَم المضيئة والمعتمة حول حافة الحاجز. يُظهر **الشكل 6-17** نموذج الحيود حول ظل مشبك ورقي. الحزَم المُضيئة هي عبارة عن تداخُل بَنّاء، والحزم المعتمة هي تداخُل هَدّام. يشكِّل هذا النمط من حيود الضوء مثالًا على كيفية تصُّرف الضوء كموجة.



الشكل 6-17 الحيود حول ظل مشبك الورق.



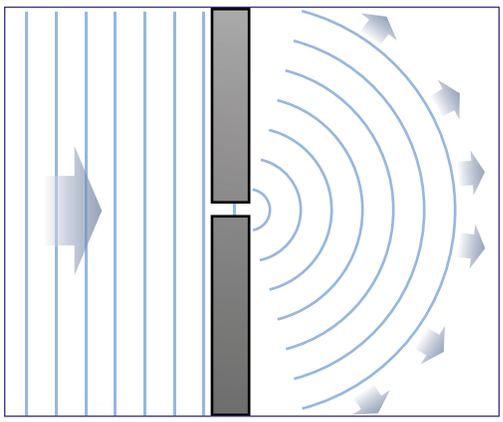
الشكل 6-18 أنواع مختلفة من الضوء.

لا نرى في العادة تداخلًا يؤدي إلى نمط حيود كما في **الشكل 6-17** لأن الضوء الأبيض العادي هو خليط من ألوان لها أطوال موجية وسِعات وأطوار مختلفة. الضوء الذي يشتمل على خليط من الأطوال الموجيَّة يسمى **الضوء المتعدِّد الألوان Polychromatic light** (**الشكل 6-a18**). لا يشكّل الضوء المتعدّد الألوان نمط تداخل واضح بسبب خليط الأطوال الموجيّة.

يكون الضوء **أحادي اللون Monochromatic light** إذا كان له طول موجي واحد (**الشكل 6-b18**). ويكون **الضوء مُترابطًا Coherent** عندما يكون له نفس الطول الموجي والطور (**الشكل 6-c18**)، كما في ضوء الليزر. ظاهرة الحيود الواضحة في **الشكل 6-17** هي نتيجة لضوء أخضر (أحادي اللون) ومترابط. يشكل الضوء المترابط نمط تداخل واضح لأن الموجات لها الطور نفسه. فإذا تداخلت موجتان من موجات المصدر بشكل بَنّاء عند نقطة معينة، فإن كل موجات المصدر تتداخل بشكل بَنّاء عند النقطة نفسها.

www.jnob-jo.com

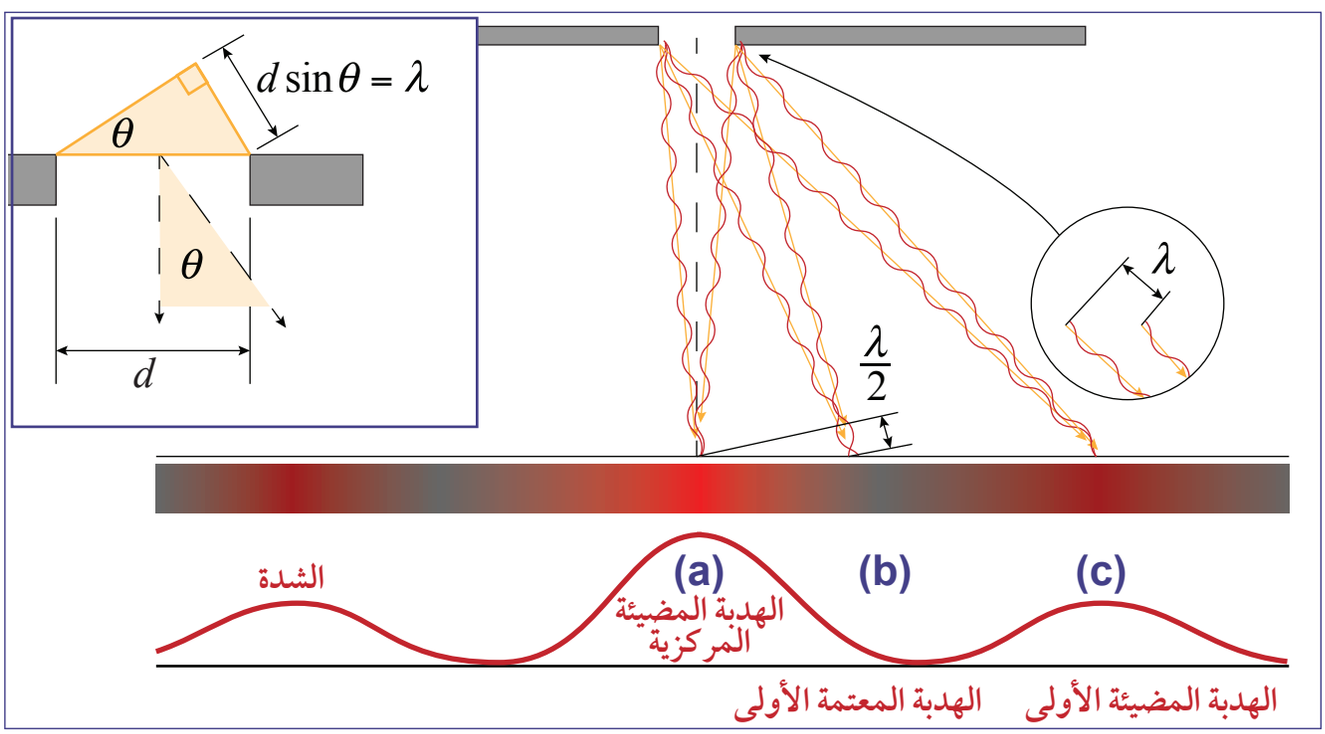
حيود الضوء عبر شقّ



الشكل 6-19 الحيود من خلال شق رفيع.

تحيد الموجات عند عبورها فتحةً ضيقةً أو شقًّا. عندما يكون مقدار الطول الموجي قريبًا من عرض الشق، تحيد الموجة المستوية من خلال الشق إلى موجة دائرية، كما هو موضَّح في **الشكل 6-19**. لمشاهدة حيود الضوء، نستخدم شقًّا رفيعًا له عرض مماثل لطول موجة الضوء.

يشكّل الضوء المار عبر شق رفيع النموذج الموضَّح في **الشكل 6-20**. يسبِّب الهدبَ المضيئة والهدبَ المعتمة التداخُلُ الناتج من الضوء الذي يعبر الجانبين المتواجهين للشق. في **الشكل 6-20 (a)**، يتراكب الضوء الذي يمرّ مباشرة عبر الفتحة بشكلٍ بَنّاء لإنشاء بقعة مركزية مضيئة على الشاشة تُعرف بالهدبة المركزية المُضيئة.



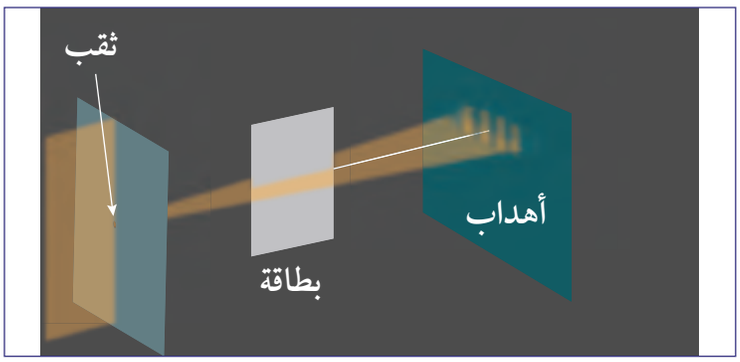
الشكل 6-20 الحيود خلال شق مفرد.

ينتقل الضوء من أجزاء الفتحة المختلفة مسافات مختلفة للوصول إلى الشاشة (**الشكل 6-20**). عندما يكون الفرق في المسار $\lambda/2$، تتداخل الموجات من الحواف المقابلة للشق بشكل هدّام. تُظهِر الشاشة منطقة مظلمة تسمّى الحد الأدنى الأوّل (الهدبة المعتمة الأوّلى) **(b)**. وعندما يكون الفرق في المسافة λ، تتداخل الموجات من الحواف المقابلة للشق بشكل بنّاء. تظهر الشاشة منطقة مضيئة تسمّى الهدبة المضيئة الأولى **(c)**. تتشكّل الهدبة المضيئة الأولى ($n = 1$) عندما يكون $d\sin\theta = \lambda$، حيث d هو عرض الشق و θ هي الزاوية إلى الهدبة المضيئة الأولى.

www.jnob-jo.com

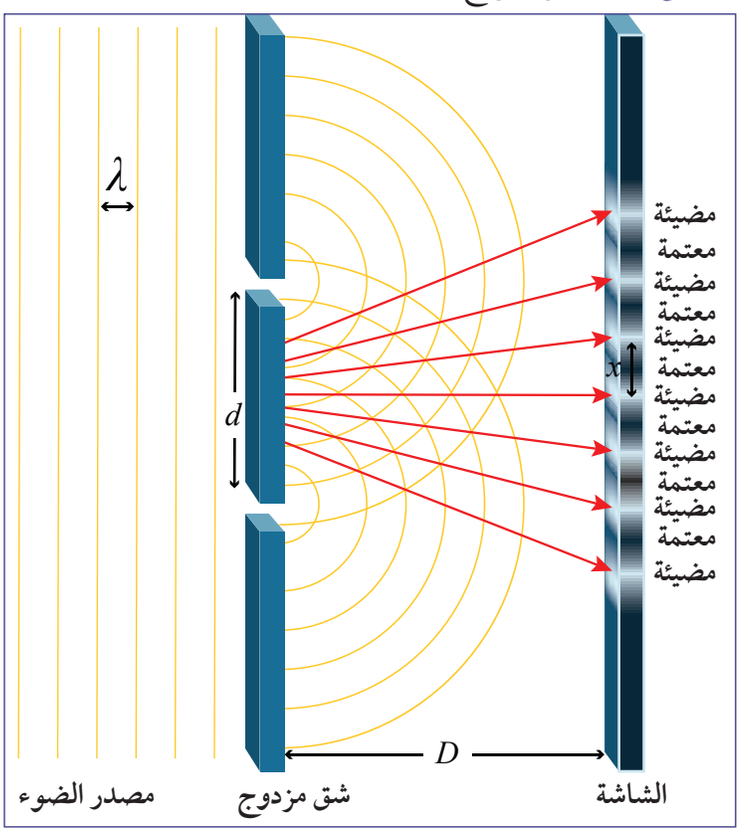
تجربة يونج للشق المزدوج

أجرى توماس يونج عام 1801، تجربة لإظهار أنماط التداخُل الضوئي. استخدم يونج ثقباً للحصول على حزمة ضيقة من أشعّة الشمس، ثم قسّم الحزمة ببطاقة رقيقة. لاحظ يونج ضوءًا قادمًا من الشقَّين لينتج نمط تداخُل على الشاشة المقابلة.



الشكل 6-21 تجربة يونج.

تستخدم الطريقة الحديثة للتجربة شقَّين ضيّقين للغاية أمام حزمة من ضوء الليزر. عندما يمر الضوء خلال الشقّين، يتداخل الضوء المار عبر أحد الشقّين مع الضوء المار عبر الشقّ الآخر (**الشكل 6-22**). يمكن رؤية نمط التداخُل الناتج على الشاشة الموضوعة على مسافة معيَّنة مقابل الشقّين. يظهر نمط من **الأهداب المضيئة Bright fringes** بالتناوب مع **الأهداب المعتمة Dark fringes** على الشاشة. الهدبة المضيئة هي النقطة التي يكون فيها فرق المسار مضاعفات أعداد صحيحة للطول الموجي.



الشكل 6-22 تجربة الشق المزدوج.

أمّا الهدبة المُعتمة فهي النقطة التي يكون فيها فرق المسار مضاعفات أعداد صحيحة فردية لنصف الطول الموجي. تساوي المسافة بين هدبتين مُعتمتين مُتتاليتين المسافة بين هدبتين مُضيئتين مُتتاليتين. تُعرَف هذه المسافة باسم **التباعُد الهدبي Fringe spacing**. يثبت نمط التداخُل أن الضوء يتصرف كموجة. يمكن استخدام تجربة الشق المزدوج لحساب الطول الموجي لمصدر الضوء، باستخدام **المعادلة 6–2**.

2-6	الطول الموجي من تجربة يونج		
$\lambda = \frac{dx}{D}$		λ	الطول الموجي (m)
		d	المسافة بين الشقين (m)
		x	التباعُد الهدبي (m)
		D	المسافة بين الشق المزدوج والشاشة (m)

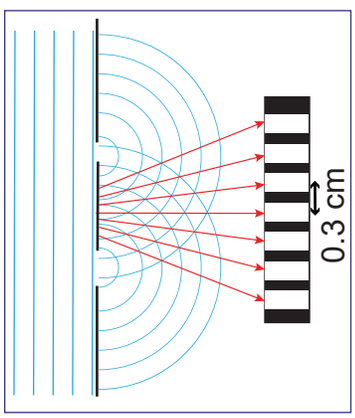
www.jnob-jo.com

مثال 3

يوضّح **الشكل 6-23** تجربة تداخُل شقّ مزدوج. تبلغ المسافة بين الشقّين 4.6×10^{-4} m، بينما تبعد الشاشة عن الشقّين مسافة 2.5 m.

a. احسب الطول الموجي للضوء المُستخدَم في هذه التجربة.

b. ينتج من الضوء نفسه تباعُد هدبيّ يبلغ 0.4 cm مع شق مزدوج مختلف. ما المسافة الفاصلة بين الشقّين إذا كانت المسافة بين الشق المزدوج والأهداب هي نفسها؟



الشكل 6-23

المطلوب:

a. الطول الموجي للضوء، λ ؛

b. المسافة بين الشقّين، a.

المعطى:

a. التباعُد الهدبي $x = 0.3$ cm ؛ المسافة بين الشقّين $d = 4.6\times10^{-4}$ m ؛ المسافة بين الشقّين والشاشة $D = 2.5$ m ؛

b. التباعُد الهدبي $x = 0.4$ cm.

العلاقات:

الحل:

a. التباعُد الهدبي المُعطى هو 0.3 cm. يجب أن تكون المسافة بالأمتار. 0.3 cm = 0.003 m. باستخدام العلاقة المعطاة:

$$\lambda = \frac{dx}{D} = \frac{4.6\times10^{-4}(0.003)}{2.5} = \boxed{5.52\times10^{-7}\,\text{m}}$$

b. التباعُد الهدبي هو 0.4 cm. التحويل إلى المتر، 0.4 cm = 0.004 m.

نعلم أن طول الموجة هو : $\lambda = 5.52\times10^{-7}$ m

إعادة ترتيب المعادلة المعطاة وحساب المسافة بين الشقّين:

$$d = \frac{\lambda D}{x} = \frac{5.52\times10^{-7}(2.5)}{0.004} = \boxed{3.45\times10^{-4}\,\text{m}}$$

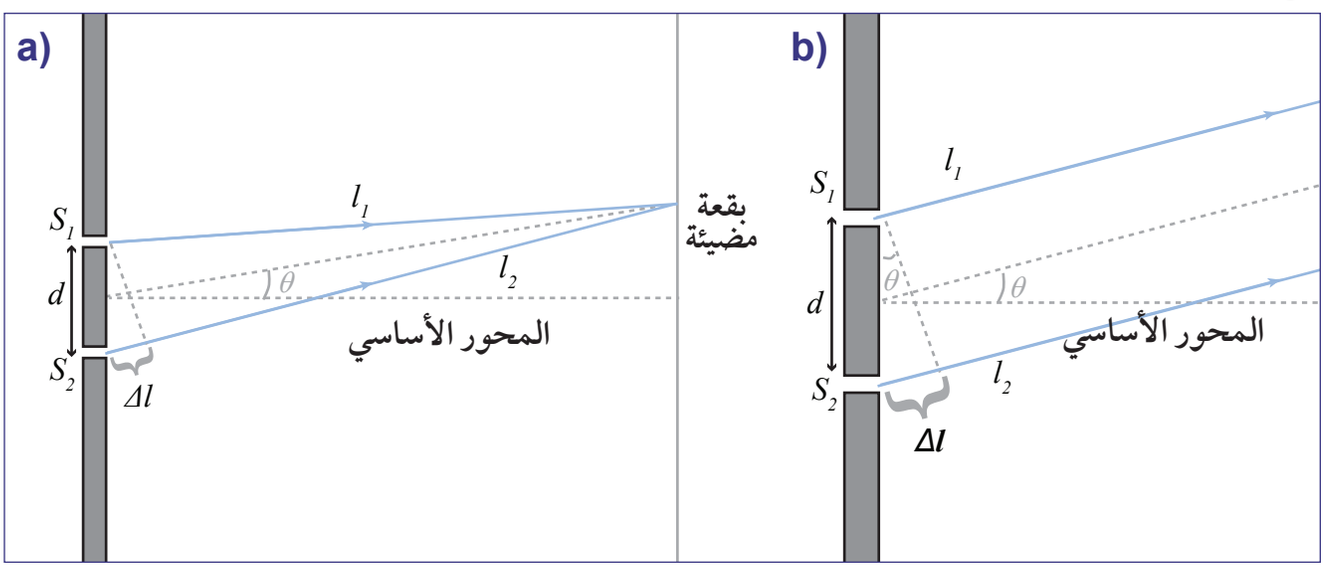
www.jnob-jo.com

حساب فرق المسار في تداخُل الضوء

افترض شقّين ضيّقين تفصل بينهما مسافة صغيرة جدًّا d. يمكن أن يعمل هذان الشقّان كمصدرين مترابطين للضوء، عندما يمر ضوء الليزر عبرهما. إذا تم وضع شاشة على بعد أمتار قليلة من المصدر، يتشكَّل نمط من الأهداب المضيئة والمعتمة على الشاشة. يمكن حساب موقع الهدبة المضيئة أو الهدبة المعتمة من مركز الشاشة. سوف تظهر هدبة مضيئة على الشاشة، عندما يكون فرق المسار مضاعفات أعداد صحيحة من الطول الموجي، بينما تظهر هدبة معتمة عندما يكون فرق المسار مضاعفات أعداد فردية صحيحة لنصف الطول الموجي.

تداخُل بَنّاء

يوضِّح **الشكل 6-24(a)** موجات الضوء المترابطة التي تدخل شقَّين ضيّقين، وتجتمع على شاشة توضع على بعد أمتار قليلة. نلاحظ أن مسار الموجات التي تخرج من الشق S_2 تقطع مسافة إضافية Δl مقارنة بالموجات القادمة من S_1، فيكون فرق المسار بينهما Δl. وبالنظر إلى أن المسافة بين الشقّين صغيرة جدًّا مقارنة بالمسافة بين الشقّين والشاشة، يمكننا أن نعتبر أن l_1 و l_2 شبه متوازيين (**الشكل 6-24(b)**). باستخدام علم المثلثات نرى أن، $\Delta l = d\sin\theta$. إذا كانت الموجات تجتمع في نقطة يحدث فيها تداخُل بنّاء، يكون فرق المسار هو $d\sin\theta = n\lambda$ (**المعادلة 6-3**)، حيث n رتبة التداخُل، أي رتبة الهدبة المضيئة من مركز الشاشة.



الشكل 6-24 فرق المسار عند نقطة معيّنة.

6-3	التداخُل البناء	λ	الطول الموجي (m)
	$d\sin\theta = n\lambda$	d	المسافة بين الشقّين (m)
		n	رتبة التداخُل
		θ	الزاوية بين الأشعّة والمحور الأساسي (rad) وهي زاوية صغيرة.

www.jnob-jo.com

مثال 4

يمر ضوء الليزر عبر شقّين تفصل بينهما مسافة 0.01 mm، ويشكِّل موقع الهدبة المضيئة الثانية زاوية تبلغ 7.27^{o} مع المحور الأساسي.

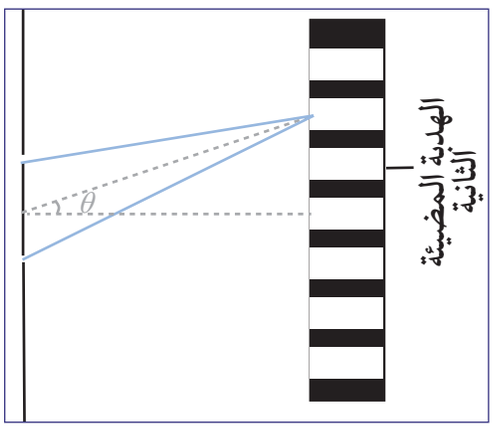
a. ما الطول الموجي للضوء؟

b. ما أعلى رتبة للتداخُل البنّاء الممكن وفق الترتيب الموضَّح؟

المطلوب

a. الطول الموجي للضوء، λ؛

b. الحد الأقصى n الذي يمكن تحقيقه.



الشكل 6-25

المعطى:

المسافة بين الشقَّين $d = 0.01\ mm$ ؛

زاوية الهدبة الثانية مع المحور الأساسي $\theta = 7.27^{o}$ ؛

رتبة التداخُل $n = 2$.

العلاقات: $d\sin\theta = n\lambda$

الحل:

a. نحوِّل المسافة بين الشقَّين من mm إلى m: $d = 0.01\ mm = 1\times10^{-5}\ m$

باستخدام العلاقة المعطاة: $d\sin\theta = n\lambda$

$$\lambda = \frac{d\sin\theta}{n}$$

$$\lambda = \frac{1\times10^{-5}\left(\sin 7.27^{\circ}\right)}{2}$$

$$\lambda = \boxed{633\times10^{-9}\ m}$$

b. نرى من العلاقة المعطاة الآتي: مع ازدياد الرتبة n، تزداد $\sin\theta$، ويكون حدها الأقصى $\sin\theta = 1$.

باستبدال القيم المعروفة في (a) والحل لـ n:

$$n = \frac{d\sin\theta}{\lambda} = \frac{1\times10^{-5}\left(1\right)}{633\times10^{-9}\ m} = 15.8$$

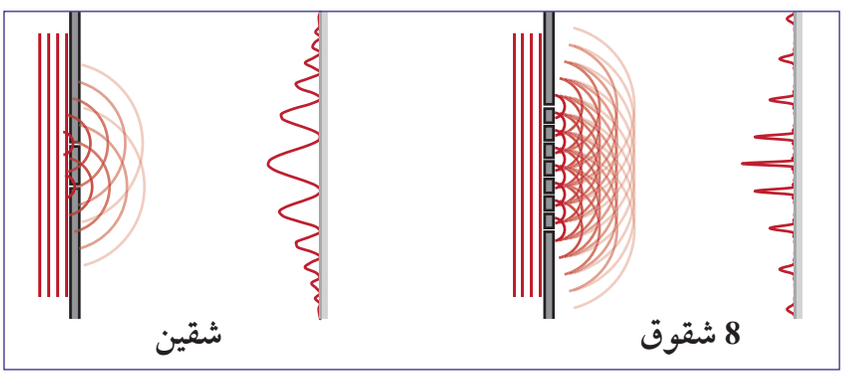
وبما أن n يجب أن تكون عددًا صحيحًا، فإن أعلى رتبة للتداخُل البنّاء الممكن في الترتيب الموضح، هي 15.

www.jnob-jo.com

الحيود من خلال شقوق مُتعدِّدة

تناولنا أنماط التداخُل التي تتشكَّل عند مرور الضوء من خلال شقّ مفرد وشق مزدوج. يمكن استخدام أنماط التداخُل تلك لحساب الطول الموجي للمصدر الضوئي. يمكن أيضًا استخدام جهاز يُسمّى محزوز الحيود لحساب الطول الموجي لمصدر ضوئي مُعيَّن. **محزوز الحيود Diffraction grating** جهاز ذو شقوق عديدة متوازية ضيّقة جدًّا موزَّعة بالتساوي على شريحة، تُستخدم بدلاً من شق واحد أو شق مزدوج؛ لأن زيادة عدد الشقوق تجعل نمط التداخُل الناتج أكثر حدّة ووضوحًا، ما يُسَهّل القياس والاستفادة من العمليات الحسابية.

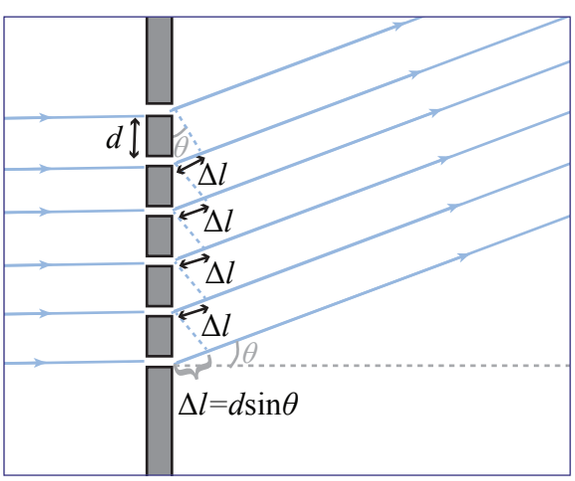
يوضِّح **الشكل 6-26** الفرق بين نموذج التداخُل الناتج من شقّين وآخر ناتج من ثمانية شقوق. النمط الناتج من محزوز الشقوق الثمانية هو أكثر دقة وأسهل في عمليات القياس.



الشكل 6-26 مع ازدياد عدد الشقوق، يصبح نمط التداخُل أكثر دقة.

تحليل محزوز الحيود

تعمل موجات الضوء الأحادية اللون التي تمر عبر محزوز الحيود على نحو مماثل لتلك التي تمر عبر الشقوق المزدوجة. يوضِّح **الشكل 6-27** الأشعّة القادمة إلى نقطة محدَّدة على الشاشة والقادمة من شقوق مختلفة. تقطع هذه الأشعّة مسافات مختلفة للوصول إلى النقطة نفسها على الشاشة، إذ يقطع كل شعاع مسافة إضافية dsinθ مقارنة بالمسافة التي يقطعها الشعاع الواقع فوقه. ولكي يؤدّي تجمّع الموجات عند نقطة إلى تداخُل بنّاء، يجب أن يكون فرق المسار مساويًا لمضاعفات أعداد صحيحة للطول الموجي، أي nλ.



الشكل 6-27 الفرق بين مَسارَي شعاعين متتاليين هو dsinθ.

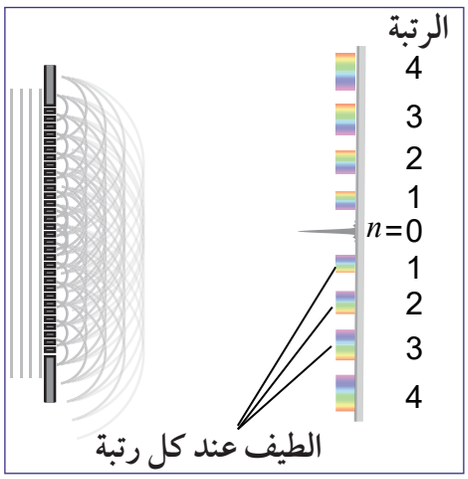
يتم التمييز بين محزوز حيود وآخر، حسب عدد الخطوط في المليمتر الواحد بدلاً من المسافة بين الشقوق. يمكن الحصول على المسافة بين الشقوق عن طريق حساب معكوس عدد الخطوط في المليمتر. إن شبكة ذات 600 خط في كل mm، مثلًا، تكون فيها المسافة بين أي خطّين متجاورين:

$d = 1.67\times10^{-6}$ m.

www.jnob-jo.com

الضوء الأبيض من خلال محزوز الحيود

تناولنا نتائج مرور ضوء أحادي اللون عبر محزوز الحيود. ماذا عن ضوء متعدِّد الألوان، كالضوء الأبيض؟ عندما يمر الضوء الأبيض عبر محزوز الحيود، يشكِّل بقعة بيضاء عند الهدبة المركزية (n=0). لا يحدث أي فصل لألوان الضوء الأبيض في هذه الهدبة المركزية. لكن عند الهدب المضيئة الأخرى (حول طرفَي الهدبة المركزية)، يتشكَّل طيف من الألوان. يحدث ذلك لأن لكل طول موجي من مكوِّنات الضوء الأبيض موقع تداخُل بَنّاء خاصًّا به على الشاشة (**الشكل 6-28**).



الشكل 6-28 يتشكَّل الطيف عندما يمر الضوء الأبيض عبر محزوز الحيود.

مثال 5

يسقط ضوء طوله الموجي 760 nm عموديًّا على محزوز حيود يتكوَّن من 10000 خطّ في كل cm.

a. ما قياس الزاوية التي تفصل الهدبة المركزية (n = 0) عن الهدبة المضيئة التالية (n = 1)؟

b. ما عدد الهدب المُضيئة التي يمكن رؤيتها؟

المطلوب:

a. قياس الزاوية θ التي تفصل بين الهدبتين n = 0 و n = 1

b. أقصى عدد n يمكن تحقيقه.

المعطى:

خطوط محزوز الحيود، 10000 خط في كل cm ؛

الطول الموجي λ = 760 nm

العلاقات:

$d\sin\theta = n\lambda$

الحل:

a. يمكن حساب المسافة بين الشقوق بواسطة:

$$d = \frac{1}{10,000} = 1\times10^{-4}\,\text{cm} = 1\times10^{-6}\,\text{m}$$

ولحساب قياس الزاوية بين الرتبتين n = 0 إلى n = 1، نستخدم n = 1 في العلاقة: $d\sin\theta = n\lambda$

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

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{n\lambda}{d}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1\left(760\times10^{-9}\right)}{1\times10^{-6}}\right) = \boxed{49.46^\circ}$$

b. إذا اخترنا n = 2، تصبح $\sin\theta = 2 \times 0.76 = 1.52 > 1$، وبالتالي لا يمكن حساب θ، لذلك يكون الحد الأقصى n هو 1.

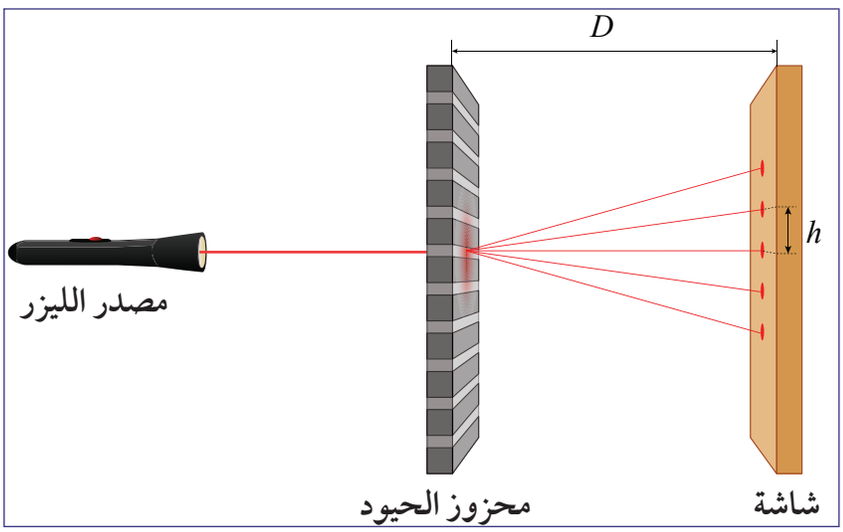
www.jnob-jo.com

نشاط

6-2 حساب الطول الموجي للضوء

سؤال الاستقصاء	احسب الطول الموجي للضوء بعد مروره عبر محزوز حيود.
الموادّ المطلوبة	محزوز حيود 600 خط لكل mm، محزوز حيود غير معروف، ريشة، مصدر ليزر، ورقة ملصق فارغة، قلم رصاص، مسطرة، حامل مشبك.

1. ضع محزوز الحيود على حامل المشبك.
2. ضع ورقة الملصق على بعد 2m من محزوز الحيود.
3. ثبّت مصدر الليزر ووجّه ضوءه من خلال محزوز الحيود.
4. سيقوم طالب آخر برسم عام للأهداب الناتجة.



الشكل 6-29 ضوء ليزر يمر من خلال محزوز حيود.

5. قسِ المسافة بين الهدبة المضيئة المركزية والهدبة المضيئة الأولى ثم احسب قياس الزاوية θ، باستخدام القياسات وعلم المثلثات. ($\theta = \tan^{-1}(h/D)$).
6. احسب الطول الموجي لليزر باستخدام المعادلة 6-3.
7. كرِّر الخطوات من 1 إلى 6 باستخدام الليزر نفسه، وباستخدام محزوز حيود ذي عدد خطوط غير معروف.
8. احسب التباعُد بين الشقوق، وعدد الخطوط في كل 1 mm.
9. استخدم تقنية الحيود نفسها لحساب التباعد بين الشقوق وعدد الشقوق في المليمتر الواحد للريشة.

الأسئلة:

a. افترض أن لديك مصدر ليزر طوله الموجي 480 mm. تنبّأ بمقدار التباعد الهدبي باستخدام المحزوز نفسه الذي استُخدم في الخطوة 1.

b. اشرح لماذا ينتج عن الريشة نمط حيود مشابه للنمط الذي نحصل عليه بواسطة المحزوز.

c. ارسم شكلًا مكبّرًا للريشة وأشر إلى أجزائها التي أدّت إى نمط الحيود الذي لاحظته.

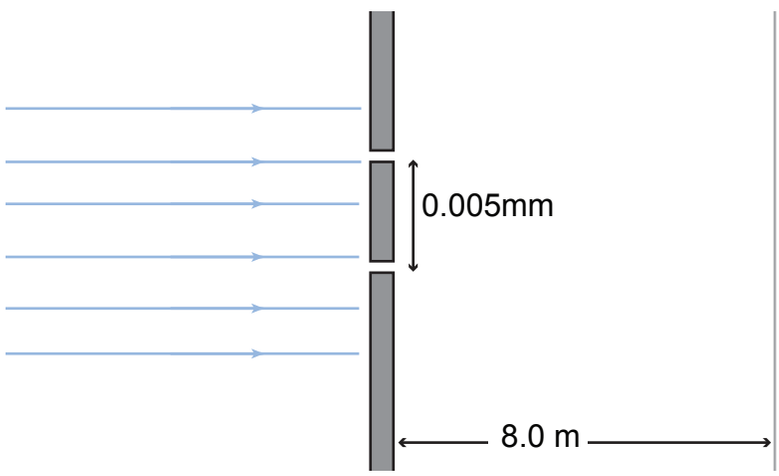
www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 2-6

1. تُستخدم تجربة يونج للشق المزدوج بغية تقسيم حزمة واحدة من الضوء، فينتج عنها مصدران منفصلان. هل يُنتِجُ مصدران حقيقيان، كمصباحَيْ سيّارة أماميان، أو أي مصباحان متقاربان، نمط التداخُل نفسه؟ اشرح ذلك.

2. اذكر أوجه التشابه وأوجه الاختلاف بين الضوء المتعدِّد الألوان والضوء الأحادي اللون.

3. هل جميع الأضواء الأحادية اللون مترابطة؟ اشرح ذلك.



4. يمر ضوء أحادي اللون ومترابط عبر شقَّين ضيّقين كما هو مبين أعلاه. يظهر نمط التداخُل على الشاشة التي تبعد 8.0 m عن الشقّين.
   a. إذا كان التباعُد الهدبي 3.5 cm، احسب الطول الموجي للضوء.
   b. ما هو قياس زاوية الهدبة المُضيئة ذات الرتبة الأوّلى؟

5. يمر ضوء مترابط طوله الموجي 700 nm عبر شقّ مزدوج، وينتج هدبة مضيئة من الرتبة الثانية. ما هي أصغر مسافة ممكنة بين الشقوق؟

6. يبلغ الطول الموجي لضوء أحمر 720 nm، يتم إسقاطه بزاوية عمودية على شقين تفصل بينهما مسافة 0.3 mm. يتم تشكيل أهداب على شاشة موضوعة على مسافة 1.2 m من الشقّين.
   a. احسب التباعُد الهدبي.
   b. يعطي الضوء نفسه تباعُدًا هدبيًّا يبلغ 2 mm، لدى تمريره عبر زوج مختلف من الشقوق. ما الفاصل بين الشقّين الجديدين، إذا بقيت المسافة بينهما وبين الشاشة هي نفسها؟

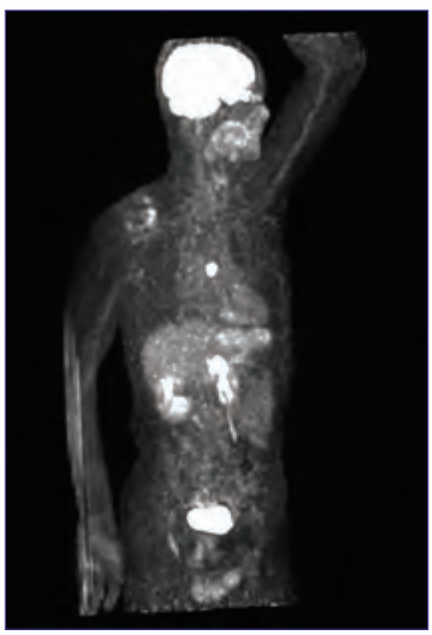
www.jnob-jo.com

الدرس 6-3

الأشعّة الكهرومغناطيسية

لأشعّة جاما استخدامات كثيرة في المجال الطبّي، من تعقيم الأدوات الطبيّة، إلى قتل الخلايا السرطانية، إلى التشخيص الطبّي.

السينتيجرافيا (التصوير بأشعّة الوميض) واحد من الاستخدامات الطبيّة لأشعّة جاما. فهي تنتج صورًا لأعضاء الجسم الداخلية. يُحقَن الجسم بنظير مشعّ يبث إشعاعاته حالما تسري فيه مادته الكيميائية. تقوم آلة تصوير جاما بالتقاط الإشعاع وتشكيل صورة ثنائية الأبعاد 2-D. تستخدم الصورة لمُعاينة العظام والأنسجة والرئتين والغدد والقلب، وأنظمة أخرى للجسم. يمكن لهذا التصوير الثنائي الأبعاد أن يطلع الطبيب على تغيّرات صحية في وقت مبكر، مقارنة بأنواع الفحص الأخرى.



الشكل 6-30 التصوير بالوميض لكامل الجسم.

مخرجات التّعلُّم

P1119.1 يوضح ظاهرة ترابط الموجات المستعرضة واستقطابها ويصف استخدامات كل منها.

P1119.2 يوضح المقصود بالأشعّة الكهرومغناطيسية من حيث تذبذب المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي ويدرك أن جميع الموجات الكهرومغناطيسية تتحرك بالسرعة نفسها في الفراغ.

المفردات

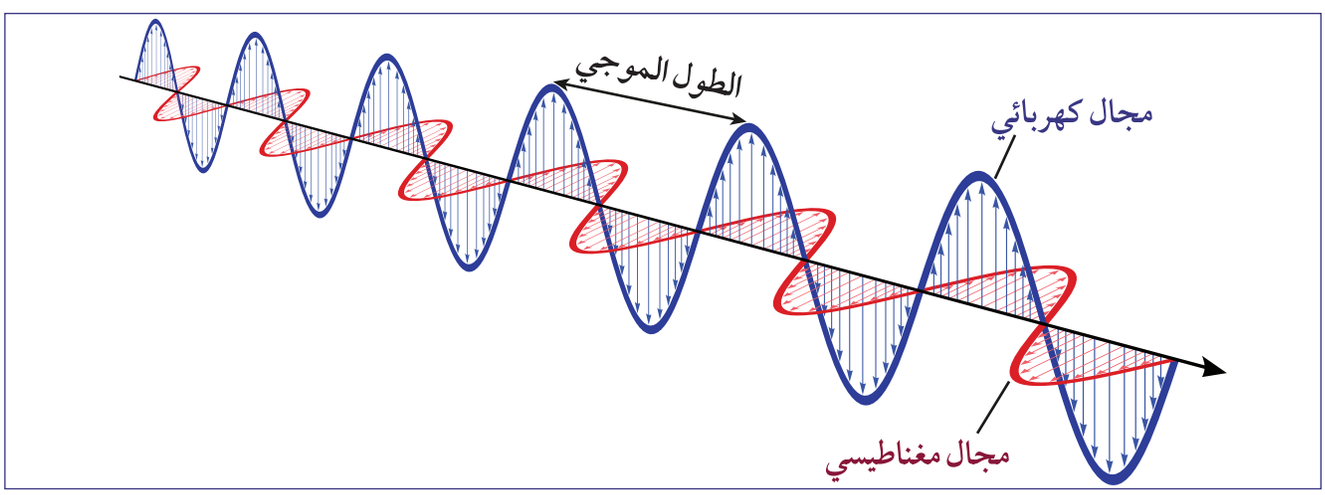
Electromagnetic wave	الموجة الكهرومغناطيسية
Electromagnetic radiation	الأشعّة الكهرومغناطيسية
Electromagnetic spectrum	الطيف الكهرومغناطيسي
Gamma rays	أشعّة جاما
X-rays	الأشعّة السينية
Ultraviolet rays	الأشعّة فوق البنفسجية
Infrared radiation	الأشعّة تحت الحمراء
Microwaves	أشعَّة الميكروويف
Radio-waves	موجات الراديو
Un-polarized	غير مستقطب
Polarized	مستقطب

www.jnob-jo.com

الموجات الكهرومغناطيسية

يعدّ الضوء مثالًا على الموجات الكهرومغناطيسية. **الموجة الكهرومغناطيسية Electromagnetic wave** موجة ناتجة من انتشار لمجالين كهربائي ومغناطيسي، يهتزان في اتجاهين متعامدين. كيف يتم إنتاج هذين المجالين؟

بفرض أن شحنة موجبة تهتز صعودًا ونزولًا، فإنها تولّد اهتزازًا في المجال الكهربائي. وتولِّد الشحنة الكهربائية المتحرِّكة (التيار الكهربائي) أيضًا مجالًا مغناطيسيًّا. وبذلك تولِّد الشحنة الكهربائية الموجبة المتذبذبة مجالين متذبذبين: كهربائي ومغناطيسي. وأي تغيُّر لأحد هذين المجالين مع الزمن يؤدي إلى تولّد المجال الآخر. يظلّ المجالان الكهربائي والمغناطيسي متعامدين أثناء انتشارهما معًا، ويظلّان مترابطين، ولهما الطور نفسه، حيث يصلان إلى القمم والقيعان في الوقت نفسه (**الشكل 6-31**).



الشكل 6-31 يولِّد المجالان الكهربائي والمغناطيسي المتذبذبان موجة كهرومغناطيسية.

لا تقتصر الموجات الكهرومغناطيسية على الضوء المرئي . فهناك كثير من الموجات غير المرئية ذات الأطوال الموجية المختلفة، مثل أشعّة جاما، والأشعّة تحت الحمراء، وموجات الراديو. تشكِّل كل تلك الموجات طيفًا من الموجات الكهرومغناطيسية، وتحمل طاقة إشعاعية. لذلك يشار إليها **بالأشعّة الكهرومغناطيسية Electromagnetic radiation**.

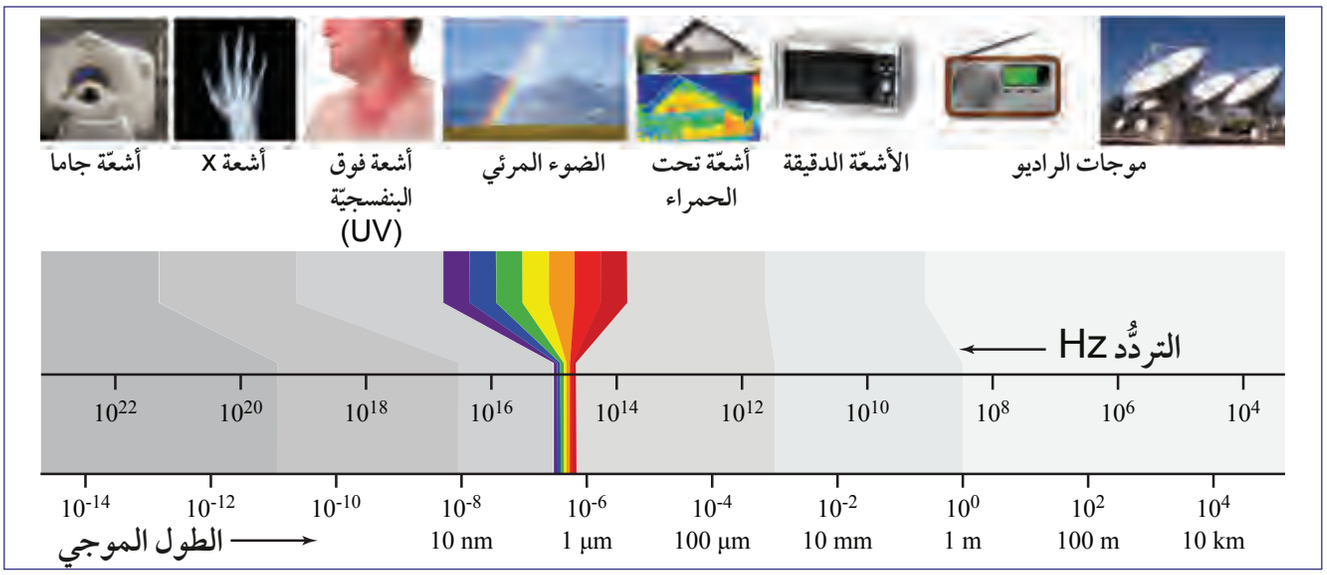
يشتمل الطيف الكامل للموجات الكهرومغناطيسية على نطاق واسع من التردُّدات والأطوال الموجية والطاقة. ولكنها جميعها تنتقل عبر الفضاء بالسرعة نفسها $c = 3.00\times10^{8}\ m/s$، وهي سرعة الضوء في الفراغ. الموجات الكهرومغناطيسية موجات مُستعرَضة، يمكنها الانتشار في الفراغ.

تنتشر جميع الموجات الكهرومغناطيسية بسرعة الضوء.

www.jnob-jo.com

الطيف الكهرومغناطيسي

يطلق على المدى الكامل للموجات الكهرومغناطيسية اسم **الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic spectrum** كما في **الشكل 6-32**. يقسم الطيف الكهرومغناطيسي إلى سبع مناطق رئيسة.



الشكل 6-32 الطيف الكهرومغناطيسي.

أشعّة جاما ($\lambda < 10^{-13}$ m) والأشعّة السينية (10^{-13} m $< \lambda <$ 10^{-8} m)

تتمثّل الطاقة العُليا للموجات في الطيف الكهرومغناطيسي بطاقة **أشعّة جاما (γ rays)** وبطاقة **الأشعّة السينية (X-rays)** وهما تشكّلان خطرًا على الإنسان إذا تعرّض لهما بجرعات كبيرة. يمكن للأشعّة السينية أن تخترق الجسم، لكن قدرتها غير كافية لاختراق العظام. يمكننا الحصول على صورة للهيكل العظمي من دون الحاجة إلى أدنى جراحة (**الشكل 6-33**). يمكن أن يتتبّع الطبيب حقنة سائل مشع باستخدام PET scan من أشعّة جاما، ويمكنه استخدام الأشعّة السينية CAT scan للحصول على مقاطع ثلاثية الأبعاد للأجزاء الداخلية من جسم المريض.

الشكل 6-33 تصوير للصدر بالأشعّة السينية.

الأشعة فوق البنفسجيّة (10^{-8} m $< \lambda <$ 10^{-10} m)

تعد الأشعة **فوق البنفسجيّة Ultraviolet light** أكثر طاقة من الضوء المرئي، إلا أنه يُحجَب جزئيًّا بواسطة الغلاف الجوي. تمتلك هذه الأشعّة طاقة كبيرة تجعلها أكثر ضررًا لخلايا جلد الإنسان. لذلك يُنصحُ بارتداء واقٍ من أشعّة الشمس في الأيام المشمسة لحماية الجلد. إلا أن حَيّزاً ضيّقاً من الضوء UV يستخدم لمُعالجة مشكلات جلدية، مثل الأكزيما أو الصدفية. (**الشكل 6-34**).

الشكل 6-34 معالجة الجلد باستخدام الأشعّة فوق البنفسجيّة UV.

www.jnob-jo.com

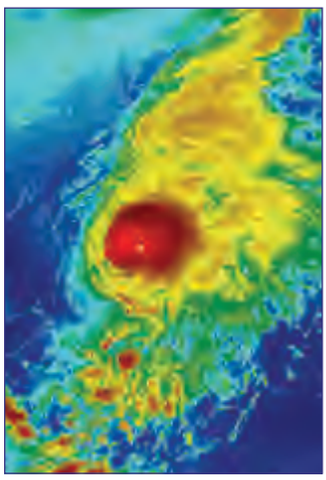
الضوء المرئي

الشكل 6-35 ضوء الشمس يشع من خلال الغيوم.

عندما يتحدث معظم الناس عن الضوء إنما يقصدون عادة الضوء المرئي الذي تراه أعيننا. الضوء المرئي الأبيض هو في الحقيقة مزيج من الألوان الأحمر والأخضر والأزرق.

المصابيح الضوئية والشمس ونجوم أخرى تشع معظم طاقتها الضوئية على شكل ضوء مرئي. كما يُظهر **الشكل 6-35**. تُركِّز مصادر الليزر الضوء المرئي للاستخدامات الطبية والتقنية كما في أجهزة DVD.

الأشعّة تحت الحمراء ($7.4 \times 10^{-7}\ m < \lambda < 10^{-3}\ m$)



الشكل 6-36 صورة لإعصار بالأشعّة تحت الحمراء.

الأشعّة تحت الحمراء Infrared radiation (أو الأشعّة الحرارية) يكون طولها الموجي أطول من الطول الموجي للضوء المرئي، ولكن طاقتها أقلّ. كل جسم في الكون، يطلق عند درجة حرارة معيّنة إشعاعات بمختلف الأطوال الموجية. غير أن معظم الأشعّة التي يطلقها أي جسم تكون من الأشعّة تحت الحمراء. تفيد أجهزة التصوير بالأشعّة تحت الحمراء في الكشف عن التسرّب الحراري في المنزل، وتسهم في خفض استهلاك الطاقة.

تستخدم نظّارات الرؤية الليلية في ساحات المعارك للكشف عن الأشعّة تحت الحمراء الصادرة من أسلحة العدو. أما الأقمار الاصطناعية التي تعمل بالأشعّة تحت الحمراء، والمخصّصة للأحوال الجوية، فهي مزوّدة بأجهزة حسّاسة للكشف عن بخار الماء، حتى خلال الليل كما في **الشكل 6-36**.

الميكروويف ($10^{-3}\ m < \lambda < 1\ m$)

الشكل 6-37 فرن الميكروويف.

تُستعمل موجات **الميكروويف Microwaves** لتسخين الطعام وطهوه، بالنظر إلى قدرتها على نقل الطاقة الحرارية(**الشكل 6-37**)، حيث تمتص جُزيئات ماء الطعام تلك الطاقة الحرارية. تفيد حزم الميكروويف في تكنولوجيا الهواتف المحمولة والرادارات. تكون تردُّدات الميكروويف أعلى من تردُّدات موجات الراديو، ما يجعلها مناسبة لنقل المزيد من البيانات، مقارنة بموجات الراديو.

موجات الراديو ($1\ m < \lambda$)

الشكل 6-38 برج اتصالات الراديو.

تتّسم تردُّدات هذه الموجات بأنها الأقل في مجموعة الطيف الكهرومغناطيسي. ويُذكَر أن هنريك هرتز Heinrich Hertz كان قد استعان بموجات الراديو لإثبات وجود الموجات الكهرومغناطيسية. تستخدم **موجات الراديو Radiowaves** للاتصالات بواسطة الأقمار الاصطناعية والبث عبر محطّات الإذاعة AM و FM (**الشكل 6-38**). وتستخدم موجات الراديو ذات الطول الموجي الأطول للاتصال بالغوّاصات.

www.jnob-jo.com

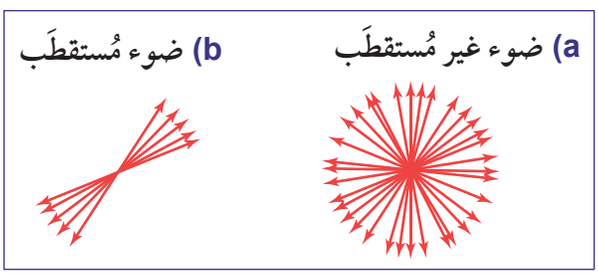
استقطاب الضوء

يتكوّن الضوء، كموجة كهرومغناطيسية، من مجالين كهربائي ومغناطيسي، يهتزان في اتِّجاهين مُتعامدين. وبما أن الضوء موجة مُستعرَضة، فإن اتِّجاه اهتزاز كل من هذين المجالين يتعامد مع اتِّجاه انتشارالضوء. قد يتّخذ اهتزاز المجال الكهربائي الاتجاه الأفقي، أو الاتِّجاه الرأسي أو أي اتِّجاه آخر.

سؤال للمناقشة

فكِّر في موقف اضطررت فيه إلى إغماض عينيك بسبب وهج الضوء غير المريح

عندما يهتز المجال الكهربائي في اتِّجاهات عشوائية (**الشكل 39-6a**) يكون الضوء **غير مُستقطَب**. لكن إذا كانت غالبية الاهتزازات في اتِّجاه واحد (**الشكل 39.6b**) فيكون الضوء **مُستقطبًا**. **الاستقطاب Polarization** هو خاصّية اهتزاز المجال الكهربائي (وبالتالي المجال المغناطيسي) في اتِّجاه ثابت وعمودي على اتّجاه انتشار الموجة.



الشكل 6-39 اتِّجاه ذبذبات المجال الكهربائي.

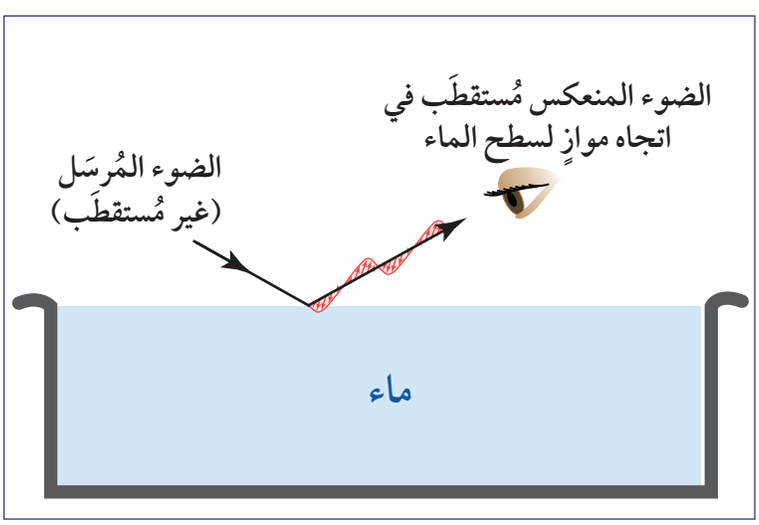
الانعكاس يستقطب الضوء

معظم أشكال الضوء المحيطة بنا، بما فيها ضوء المصابيح وضوء الشمس، إنَّما هي أشكال غير مستقطبة. عندما ينعكس هذا الضوء عن سطح، كالماء أو الثلج أو الرمل النظيف، يصبح مُستقطَبًا في اتِّجاه واحد. يسبِّب الضوء المُستقطَب وهجًا؛ فلا تكون الرؤية عندها مريحة. يظهر **الشكل 6-40** كيف أن الضوء المنعكس عن سطح الماء يصبح مُستقطَبًا أفقيًّا (متوازيًا مع السطح الذي انعكس عنه).

عند مشاهدة الضوء المُنعكِس من خلال مرشِّح بولاروید عمودي، نلحظ انخفاضًا في الوهج، وتكون الرؤية أكثر وضوحًا تحت الماء.

يسمح مرشِّح الاستقطاب العمودي فقط بمرور الضوء المستقطب عموديًّا، ويحجب الضوء المستقطب أفقيًّا. وهذا يجعل الرؤية في الخارج واضحة.

تباع أنواع كثيرة من النظّارات الشمسية المزوَّدة بمُرشِّحات الاستقطاب العمودي، لتخفيض وهج الضوء المنعكس. تزيد مُرشِّحات الاستقطاب في آلة التصوير من وضوح الغيوم في السماء.



الشكل 6-40 الضوء المُنعكِس يصبح أكثر استقطابًا.

www.jnob-jo.com

نشاط

3-6 استقطاب الضوء

سؤال الاستقصاء	كيف يؤثِّر مرشِّح بولاروید في شدّة الإضاءة؟
الموادّ المطلوبة	مُرشِّحا بولاروید، حوض ماء ، مقياس شدّة الضوء (لوكس ميتر)

الخطوات

1. انظر إلى السماء بالعين المجرَّدة، وأنت في فضاء مكشوف.
2. ضع مرشِّح بولاروید على عينك، وانظر من خلاله. سجِّل أي متغيِّرات.
3. أدِر مرشِّح البولاروید الثاني فوق الأوَّل بزاوية 90°، بحيث يتعامد محوراهما. انظر من خلال المُرشِّحين المجتمِعَيْن. سجِّل أي مُتغيِّرات.
4. سجِّل شدّة الإضاءة من دون مرشِّحَي بولاروید، مستخدمًا اللوكس ميتر.
5. سجِّل شدّة الإضاءة، عند استخدام مرشِّح بولاروید واحد.
6. سجِّل شدّة الإضاءة عند استخدام مرشِّحَي بولاروید، عندما يكون محوراهما متعامدَين.

الشكل 6-41 لوكس ميتر مع مُرشِّح بولاروید.

الجدول

	شدَّة الإضاءة (lux)
من دون مرشِّحات	
مع مرشِّح بولاروید واحد	
مع مرشِّحَي بولاروید	

أسئلة

a. لِمَ انخفضت شدّة الإضاءة عند إضافة مُرشِّح بولاروید؟
b. لِمَ تم تدوير المرشِّح الثاني 90°؟ توقّع ما كان ليحدث، لو لم نقم بتدوير المرشِّح الثاني 90°.
c. ما كنت لتلاحظ لو أضفنا مرشِّح بولاروید ثالثًا؟ اشرح إجابتك.

www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 3-6

1. صف أحد التطبيقات التكنولوجية المتعلقة بكلّ من الأجزاء الآتية من الطيف الكهرومغناطيسي : الأشعّة السينية، الضوء المرئي، الأشعّة تحت الحمراء، موجات الميكروويف، موجات الراديو.

2. تكون المراقبة الفلكية بتردُّد 1 THz أكثر وضوحًا من الأماكن الأكثر ارتفاعًا، حيث تقلّ نسبة بخار الماء. ما الطول الموجي لتلك الموجة؟ في أي من مناطق الطيف، هي؟

3. كيف يمكن للطبيب أن يستخدم الأشعّة المرئية لتشخيص حالة المريض؟

4. تستطيع الكلاب سماع أصوات يزيد تردُّدها على الأصوات التي يسمعها الإنسان. إذا كان هناك حيوان يستطيع رؤية ضوء بتردُّدات أعلى من تلك التي يراها الإنسان، فأي جزء من الطيف يستطيع أن يرى؟

5. عند استماع الناس إلى المذياع في سيّاراتهم، هل يكون ما يسمعونه هو موجات الراديو؟

6. هل يمكن حجب الضوء كلّيًّا باستخدام زوج من مرشِّحات بولاروید؟ اشرح ذلك.

7. اذكر طريقتين لاستقطاب الضوء.

8. سرعة الضوء هي $c = 3.00\times10^8$ m/s. حيث تدعو الحاجة، ابحث عن المسافة الفاصلة بين الأرض ومصادر الضوء المحدَّدة في الجدول الآتي، ثم احسب الزمن الذي يستغرقه وصول الضوء إلينا على الأرض.

المصادر	المسافة(m)	الزمن المُستغرَق (s)	الزمن المُستغرَق (سنوات)
التلفزيون	2		
مصباح الشارع	5		
القمر	3.83×10^8		
الشمس	1.5×10^{11}		
المجرَّة أندروماذا	2.40×10^{24}		
النجم بروكسيما سنتوري Proxima Centauri	4.01×10^{16}		

www.jnob-jo.com

الدرس 6-4
الموجات الموقوفة

آلة الناي من الآلات الشائعة جدًّا في منطقة الشرق الأوسط. فقد انتشرت منذ أكثر من 5000 عام، وكانت أول آلة من نوعها. تتألف آلة الناي من أنبوب مجوّف ومفتوح الطرفين، مصنوع من أعواد القصب. تحتوي مُعظم آلات الناي على سبعة ثقوب، ستة منها للأصابع، وواحد للإبهام. بينما يتألف الناي الفارسي من ستة ثقوب، خمسة منها للأصابع، وثقب واحد للإبهام.

يتغيّر تردُّد الصوت الذي يصدره الناي وفقًا للثقب الذي يُترَك مفتوحًا خلال العزف. التردُّد الأساسي هو أقلّ تردُّد ممكن لناي معيّن ويبقى ثابتًا. يمكن الحصول على مضاعفات للتردُّد الأساسي من خلال رفع إحدى الأصابع عن الثقوب المختلفة للآلة.

الشكل 6-42 مجموعة من آلات الناي.

مخرجات التّعلُّم

P1120.1 يميّز بين الموجات الموقوفة والموجات المستمرة ويصف المقصود بمصطلحي «العقدة» و «البطن».

P1120.2 يصف كيفية إنتاج النغمات التوافقية وعلاقة تردُّد وصوت النغمات التوافقيّة بالتردُّد الأساسي.

P1120.3 يمثّل ظاهرة الرنين اعتمادًا على اهتزاز الأوتار المشدودة والأعمدة الهوائيّة بالتحديد.

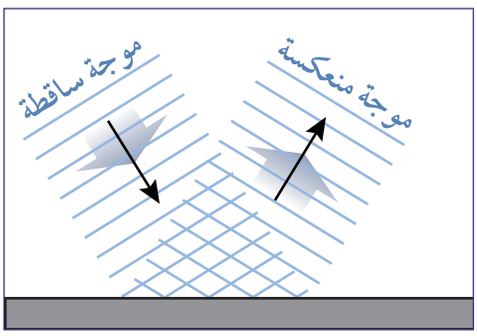
المفردات

Boundary	الحَدّ
Open boundary	الحدّ المفتوح
Closed boundary	الحدّ المغلق
Reflection	إنعكاس
Boundary condition	الشرط الحَدّي
Standing wave	الموجة الموقوفة
Node	عقدة
Anti-node	بطن
Fundamental frequency	التردُّد الأساسي
First harmonic	النغمة التوافقية الأولى
Resonance	الرنين

www.jnob-jo.com

الحدود والانعكاس

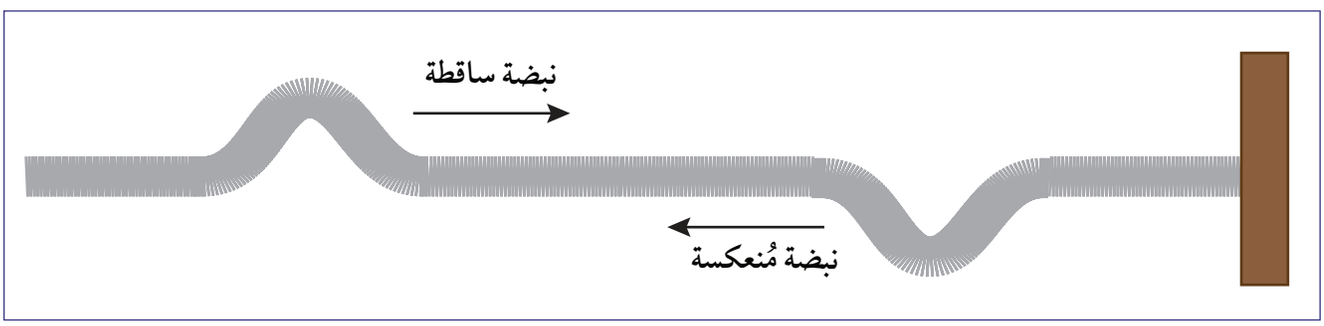
الحدّ Boundary هو فاصلٌ بين وَسطَين مختلفين لهما شروط مختلفة. وأحد أمثلة الحدود هو حائط الغرفة. فهو فاصل بين الهواء ووسط آخر كالخرسانة أو الخشب. ويمكن اعتبار طرف زنبرك طويل حدًّا فاصلًا للموجات على الزنبرك، لأنه يفصلها عن وَسَطٍ آخر.



الشكل 6-43 الانعكاس عن حَدٍّ ثابت.

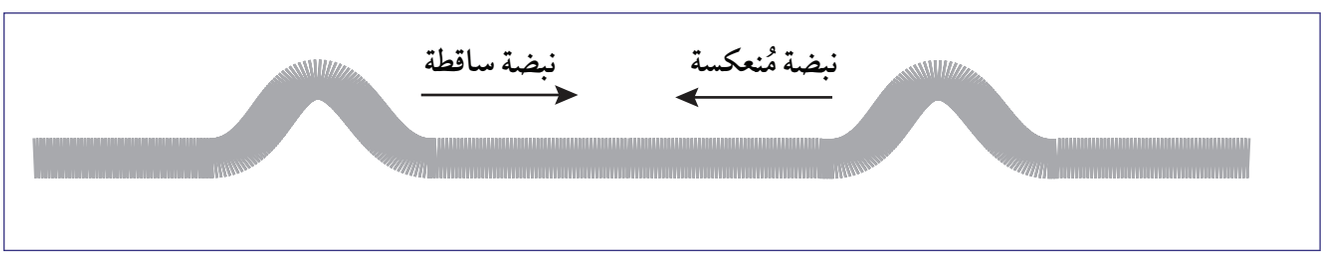
يمكن للموجة أن تنعكس عند وصولها إلى حدٍّ ما. و**الانعكاس Reflection** هو تغيُّر في اتِّجاه انتقال الموجة يصاحب تغيُّرًا في شكل جبهتها واتِّجاه انتشارها. يوضِّح **الشكل 6-43** انعكاس موجة عن حَدٍّ يفصل بين الهواء وجدار صُلب. تنعكس الموجة المستوية كموجة مستوية أخرى تنتشر في اتجاه آخر.

يعتمد نوع الانعكاس عند حد معيّن على كون هذا الحد مغلقًا أو مفتوحًا. الحد المُغلق (الثابت) لا يتحرّك مع وصول الموجة. ومن الأمثلة على **الحد المغلق Closed boundary**، طرف الزنبرك المربوط بجذع شجرة، أو الموجة الصوتية المنعكسة عن جدار صلب. يُظهر **الشكل 6-44** نبضة موجية منعكسة مقلوبة عن الجانب الآخر لزنبرك عند طَرَفِه الثابت.



الشكل 6-44 انعكاس نبضة من حد ثابت.

يُعتَبر الطرف الحُر للنابض **حدًّا مفتوحًا Open boundary**. حيث يتحرَّك الطرف الحر عند وصول الموجة المنتقلة إليه. يختلف الانعكاس عند حد مفتوح عن الانعكاس عند حَد مغلق. حيث تنعكس النبضة الموجية كما هي (معتدلة) عندما تواجه حّدًا مفتوحًا، كما هو مبيّن في **الشكل 6-45**، من دون أي تغيُّر في الطور.

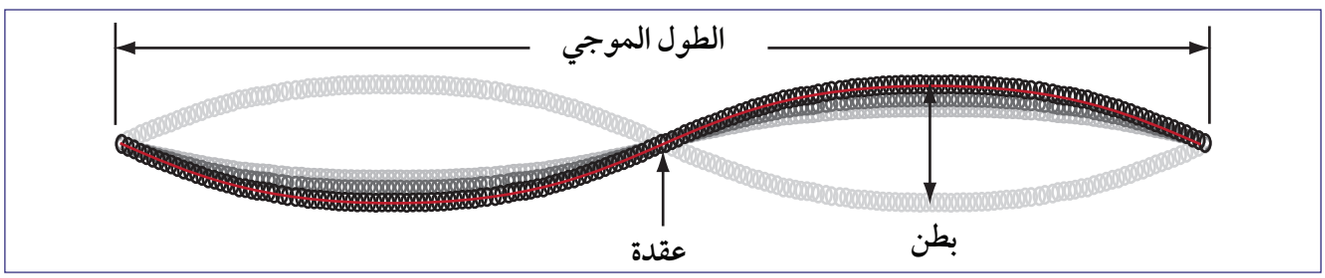


الشكل 6-45 انعكاس نبضة عند حد مفتوح.

www.jnob-jo.com

الموجات الموقوفة

عند انعكاس الموجة المُنتقلة من حدّ معين، فإنها تتداخل مع الموجة الأصليّة. يمكن للتداخُل البنّاء بين الموجة الساقطة والموجة المنعكسة أن ينتج موجات موقوفة. **الموجة الموقوفة Standing wave** هي اهتزاز للنظام تبقى فيه بعض النقاط (العُقَد) ثابتة، بينما تهتز نقاط أخرى في منتصف المسافة بين عقدتين بِسِعَة قصوى (بُطُون). تتكوّن الموجات الموقوفة نتيجة تداخُل موجتين لهما نفس السعة والطول الموجي والتردُّد، لكنهما تسيران في اتجاهين مختلفين.

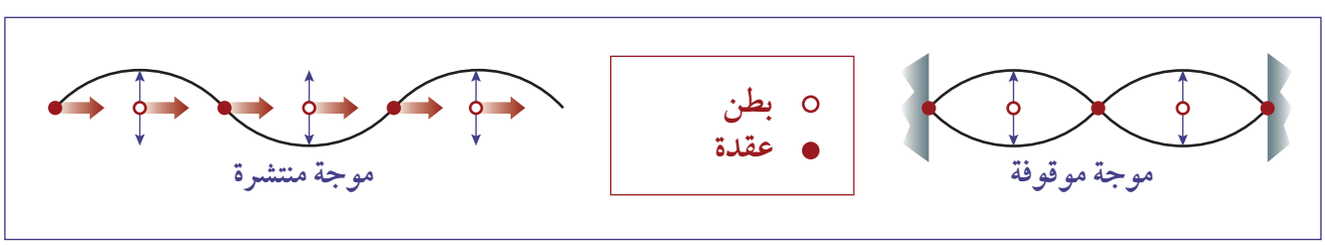


الشكل 6-46 موجة موقوفة لزنبرك.

يُظهر **الشكل 6-46** موجة موقوفة على زنبرك، حيث طول الزنبرك يساوي طول الموجة. **العُقدة Node** هي النقطة التي تكون سعة اهتزازها صفرًا، و**البطن Antinode** هو النقطة التي تهتز بأقصى سعة.

الجدول 6-1 مقارنة الموجات الموقوفة بالموجات المنتشرة.

الأمواج الموقوفة	الأمواج المستمرّة
العُقد والبطون تبقى ثابتة في مواقعها.	القمم والقيعان تنتشر بسرعة الموجة.
تنشأ نتيجة الانعكاس عند حدّ ما.	تنتقل دائمًا من دون حدود.
طاقة الموجة تبقى ثابتة في مكانها.	طاقة الموجة تنتقل مع الموجة.



الشكل 6-47 لا تنتقل عقد وبطون الموجة الموقوفة، بينما تنتقل قمم وقيعان الموجة المستمرّة بسرعة الموجة نفسها.

هناك العديد من الأمثلة على الموجات الموقوفة في الطبيعة والتكنولوجيا. وعلينا أن نفهم فكرتين أساسيتين حول الموجات الموقوفة:

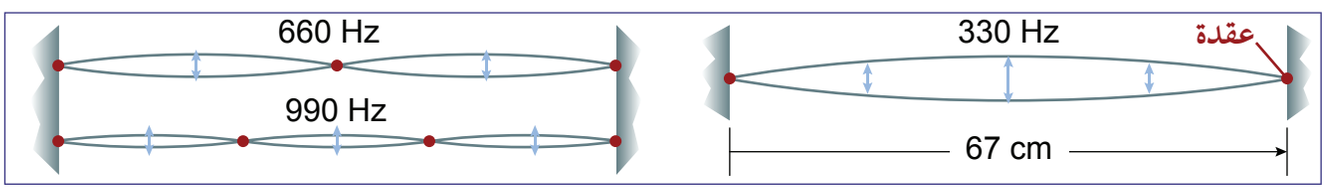
1. تنشأ الموجات الموقوفة من الانعكاس عند حدّ معيّن. ومعظم الموجات التي تُحتجز بين حَدّين انعكاسيين يمكن أن تشكل موجة موقوفة.
2. تحتوي الموجة الموقوفة على طاقة تبقى في مكانها، وتتركّز حول تردُّد الموجة الموقوفة.

www.jnob-jo.com

التردُّد الطبيعي

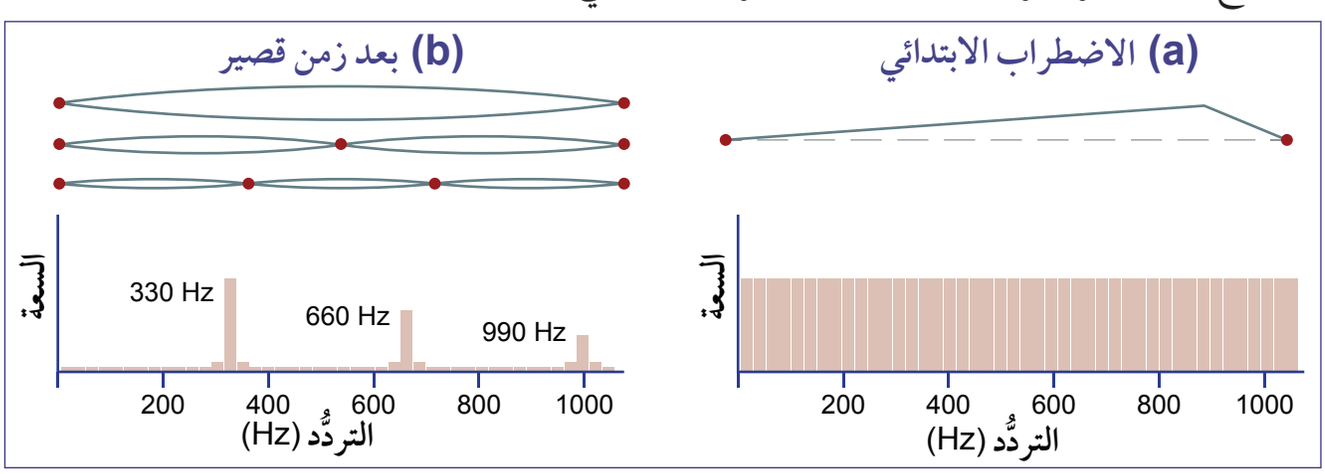
توضّح الموجات الموقوفة فكرة مهمّة، وهي أن لكل نظام تردُّدًا معيّنًا يميل إلى الاهتزاز تحت تأثيره. يُسمّى التردُّد الذي يميل النظام إلى الاهتزاز وفقه، **بالتردُّد الطبيعي Natural frequency**. إذا أُحْدَثَتَ اضطرابًا في خيط، فإنه سيهتز اهتزازًا سريعًا بتردُّده الطبيعي. يتحدّد التردُّد الطبيعي بواسطة الجسم والشروط الحدّية. فإذا افترضنا، على سبيل المثال، سلكًا فولاذيًّا طوله 67 cm وقوة شَدّه 72 N وقمنا بالضرب عليه، فإنه يهتز بتردُّد 330 Hz لسببين:.

1. العلاقة بين الطول الموجي والتردُّد ($v = f\lambda$).
2. يكون للموجة ذات التردُّد 330 Hz طول موجيّ يحقّق الشروط الحدّية لوجود عقدة عند كل طرف من طرفَي السلك.



الشكل 6-48 التردُّدات الطبيعية لسلك مثبّت من الطرفين.

لمعظم الأجسام أكثر من تردُّد طبيعي. **النمط Mode** هو طريقة معيَّنة للاهتزاز بالتردُّد الطبيعي لجسم. يُظهر **الشكل 6-48** الأنماط الثلاثة الأولى لسلك مهتزّ. يسُمّى أقلّ هذه التردُّدات **بالتردُّد الأساسي Fundamental frequency** وله عقدتان فقط، واحدة عند كل طرف. ويكون للنمط الثاني الذي يكون تردُّده مِثْلَي التردُّد الأساسي عقدتان عند طرفي السلك وواحدة في منتصفه. أما النمط الثالث، فله أربع عقد ويكون تردُّده ثلاثة أضعاف التردُّد الأساسي.



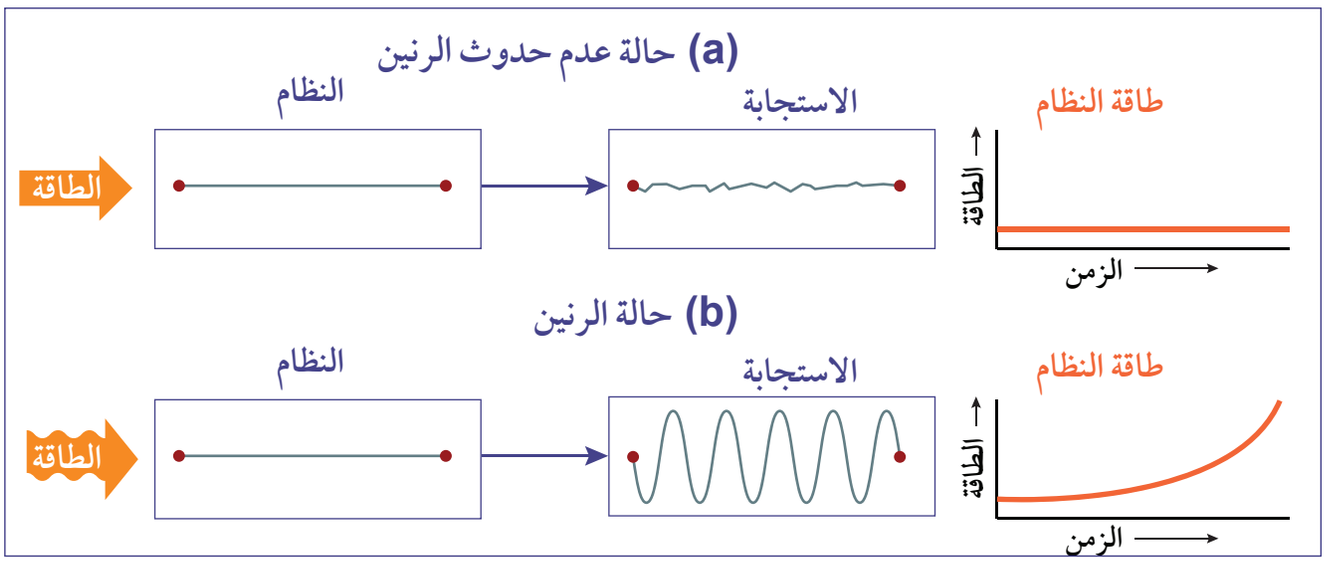
الشكل 6-49 التردُّدات غير التردُّد الأساسي تتضاءل بسرعة.

نلاحظ من خلال التجربة أن السلك يهتز بتردُّداته الطبيعية، بغض النظر عن الطريقة التي نُحدث فيها الاهتزاز الابتدائي. ولفهم ذلك، افترض اهتزازًا ابتدائيًا يشتمل على عدّة تردُّدات كما في **الشكل a49-6**. يؤدّي الاحتكاك وحركة السلك إلى تلاشٍ سريع لكلّ التردُّدات ما عدا التردُّدات الطبيعية. وبعد وقت قصير لا يبقى سوى اهتزازات التردُّد الطبيعي، كما في الشكل **الشكل b49-6**.

www.jnob-jo.com

الرنين

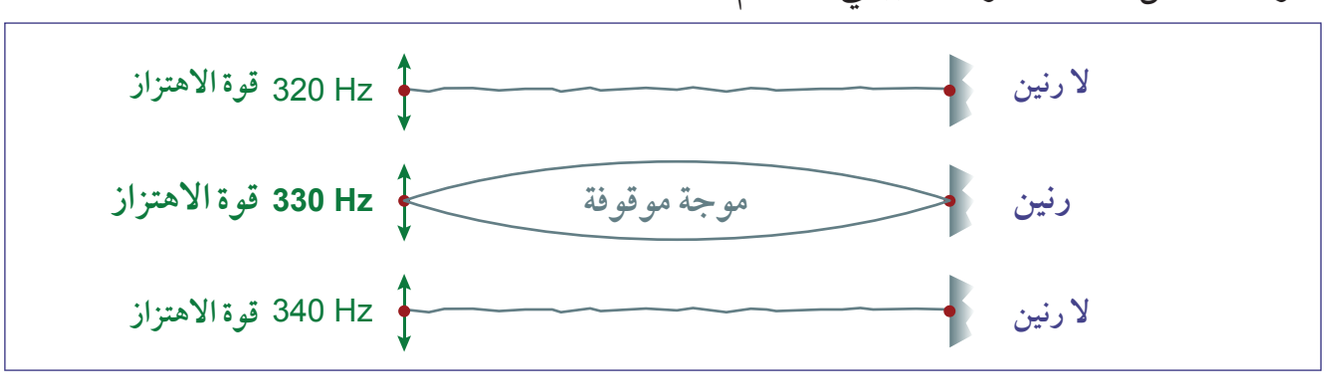
الموجات الموقوفة نوع من أنواع الرنين. والرنين **Resonance** هو تضخيم طبيعي لسعة الاهتزاز يحدث لدى تزويد النظام بطاقةٍ عند تردُّد يساوي تردُّده الطبيعي. تزداد كفاءة النظام الخاضع للرنين في امتصاص الطاقة، وتزداد سعة اهتزازه بسرعة (**الشكل 6-50**).



الشكل 6-50 الطاقة والرنين.

يؤثِّر الرنين بشكل فعّال في طاقة الموجات. يحافظ الرنين على طاقة الموجات عند تردُّدات معيَّنة بينما تتضاءل سِعات التردُّدات الأخرى إلى الصفر بسرعة. كل موجة نصادفها في حياتنا اليومية، بما فيها الموجات الضوئية أو الصوتية أو موجات الأرض أو موجات الراديو، تأخذ شكلها وفق الرنين. ومعظم التقنيات الحديثة، كفرن الميكروويف والآلات الموسيقية والتصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) تستخدم الرنين.

ولملاحظة الرنين، نطبّق قوة اهتزازية على نظام قابل للاهتزاز، كالخيط المشدود مثلًا. تؤمِّن القوة الاهتزازية طاقة داخلة للجسم المهتزّ. عندما يتطابق تردُّد القوة الاهتزازية مع التردُّد الطبيعي للجسم، تَنتُج موجة موقوفة ذات سعة عالية (**الشكل 6-51**). لا نحصل على هذه الموجة الموقوفة إذا لم يكن التردُّد الداخل مساويًا للتردُّد الطبيعي للجسم.



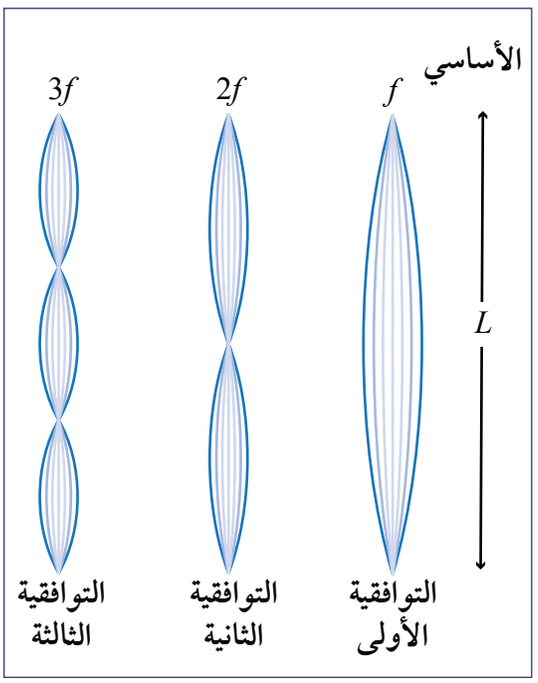
الشكل 6-51 ملاحظة الرنين في الخيط المشدود.

www.jnob-jo.com

الموجات الموقوفة في الأوتار المهتزّة

يُعتبر الوتر المهتزّ مثالًا جيدًا على الأنظمة الرنّانة. يحدث الرنين في الوتر المهتز بين حَدّين ثابتين عندما يكون طول الوتر من مضاعفات نصف الطول الموجي (**الشكل 6-52**).

- تُسَمّى الموجة الموقوفة ذات التردُّد الأقلّ f (الأساسي) **بالنغمة التوافقية الأولى First harmonic**.
- للنغمة التوافقية الثانية تردُّد يساوي مِثلي تردُّد التوافقية الأساسية أي $2f$.
- للنغمات التوافقية الأعلى تردُّدات nf حيث n عدد صحيح. فتردُّد النغمة التوافقية الثالثة، على سبيل المثال، يساوي $3f$.



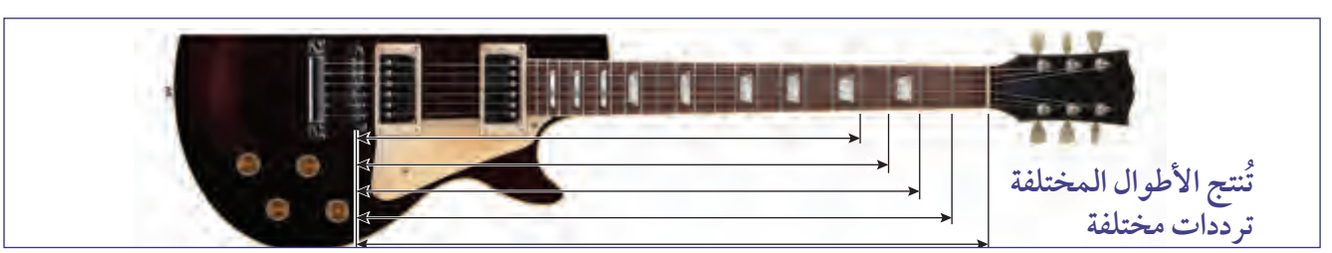
الشكل 6-52 الموجات الموقوفة على وتر.

افترض وترًا طوله L، بتردُّد النغمة التوافقية الأولى (**الشكل 6-52**). طول نموذج الاهتزاز في هذه الحالة يساوي نصف الطول الموجي أي $\lambda_1 = 2L$.

في أي نمط من أنماط الرنين يكون طول الوتر من مضاعفات نصف الطول الموجي. إذا اهتز الوتر بالنغمة التوافقية الثالثة يكون طوله مساويًا لثلاثة أنصاف الطول الموجي. وبناء على ذلك يكون $\lambda_3 = \frac{2}{3} L$. في الحالة العامة يكون الطول الموجي لأي نمط كما في **العلاقة 4-6**.

4-6	الطول الموجي للموجة الموقوفة		
	$\lambda_n = \frac{2L}{n}$	λ_n	الطول الموجي (m)
		L	طول الوتر(m)
		n	رتبة النغمات التوافقية

في العديد من الأنظمة، كما في حالة الآلات الموسيقية، يتعيَّن أن نحصل على تردُّد مُعيَّن. يحدث ذلك بضبط الطول الموجي للجسم الرنّان. فالأطوال المختلفة للأجسام المهتزّة لها تردُّدات رنين مختلفة. يُطبَّق هذا المبدأ على مختلف الآلات الموسيقية، كالعود والقانون والكمان والجيتار.



الشكل 6-53 يتم ضبط تردد الجيتار بتغيير طول وتره المهتز.

www.jnob-jo.com

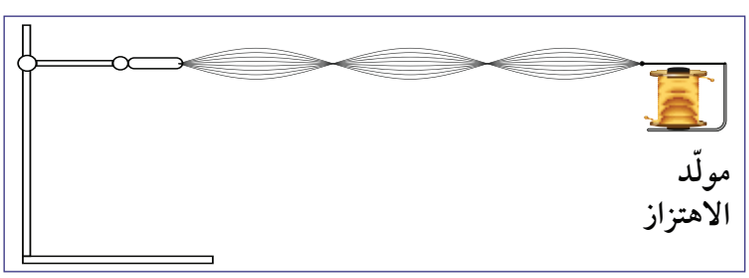
نشاط

4-6 توليد الموجات الموقوفة

سؤال الاستقصاء	دراسة وبحث العلاقة بين سرعة الموجة والطول الموجي.
الموادّ المطلوبة	وتر مطاطي (0.5 m)، مولّد إشارة، مولّد اهتزازات، كابلا توصيل، حامل بملاقط

الخطوات

1. اربط مولّد الإشارة بمولّد الاهتزاز مُستخدمًا كابلات التوصيل. قم بتغذية أحد طَرَفي الوتر المطاطي عن طريق مولّد الاهتزاز.
2. قم بشدّ الوتر المطاطي، حيث يصبح طوله 1 m، ثمّ علّق نهايته بملقط الحامل (قد تحتاج إلى تثبيت الحامل بالطاولة بواسطة ملقط).
3. زدْ تردُّدات مولّد الإشارة ببطء بدءًا بـ 10 Hz، حتى تشكّل النغمة التوافقية الأولى. سجّل التردُّد في الجدول المُعطى.
4. زدِ التردُّد مرَّة جديدة حتى تشكّل النغمة التوافقية الثانية. سجّل التردُّد.
5. كرّر التجربة لإيجاد النغمة التوافقية الثالثة، ثمّ سجِّلها.



الشكل 6-54 الوتر المطاطي مربوط بمولّد الاهتزاز.

الجدول

التردُّد (Hz)	الطول الموجي (λ)	السرعة (m/s)

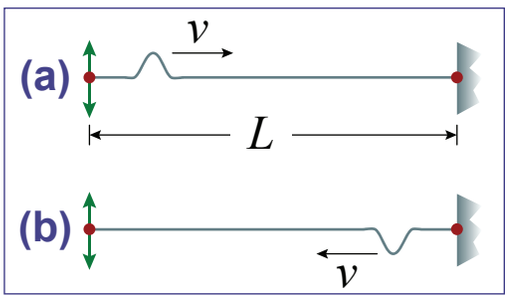
أسئلة

a. أكمل الحسابات لملء الجدول السابق.
b. احسب التردُّد الأساسي إذا كان طول الوتر ضعفي ما هو عليه.

www.jnob-jo.com

العلاقة مع السرعة

لنفرض أن أحد طرفَي الوتر قد اهتز بسعةٍ صغيرة. يُطلِق مصدر الاهتزاز موجة تصل إلى طرف الوتر الثابت ثم تنعكس عنه (**الشكل 6-55a**). يحدث الرنين عندما تتراكب الموجة المُنعكِسة مع الموجة التالية التي يُطلِقها المصدر. يلزم الموجة زمن t لتقطع المسافة $2L$ ذهابًا وإيابًا على الوتر (**الشكل 6-55b**).



الشكل 6-55 سرعة الموجة.

$T=\frac{2L}{v}$ ، لكن $v=\lambda f$ و $f=\frac{1}{T}$

بالتعويض نحصل على:

$$\lambda = 2L$$

وهو الطول الموجي الأساسي للرنين.

مثال 6

يتم تجهيز موجة موقوفة على وتر ذي نهايتين مثبتتين، حيث تردُّد النغمة التوافقية الأولى هو 140 Hz. تبلغ سرعة انتقال الموجات على الوتر 230 m/s، وسرعة الصوت في الهواء 340 m/s.

a. احسب طول هذا الوتر.

b. احسب الطول الموجي للصوت المتولِّد.

المطلوب: **a.** طول الوتر L.

b. الطول الموجي للصوت λ

المُعطى: التردُّد، f=140 Hz

سرعة الموجة على الوتر، v_1=230 m/s

سرعة الصوت في الهواء، v_2=340 m/s

العلاقات: $v = f\lambda$ ؛ $\lambda_n=\frac{2L}{n}$.

الحل: **a.** لحساب طول الوتر، نحسب الطول الموجي للتوافقية الأولى:

$$v = f\lambda \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = \frac{230}{140} \quad 1.64 \text{ m}$$

باستخدام الطول الموجي المحسوب، نجد الطول:

$$\lambda_1 = 2L \Rightarrow L = \frac{\lambda_1}{2} = \frac{1.64}{2} \quad \boxed{0.82 \text{ m}}$$

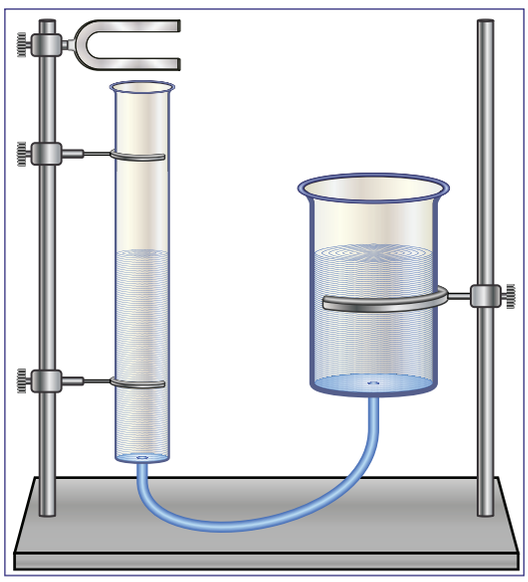
b. تردُّد الصوت المتولِّد هو تردُّد الوتر نفسه. فيكون الطول الموجي:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{140} = \boxed{2.43 \text{ m}}$$

www.jnob-jo.com

الموجات الموقوفة في الأعمدة الهوائية

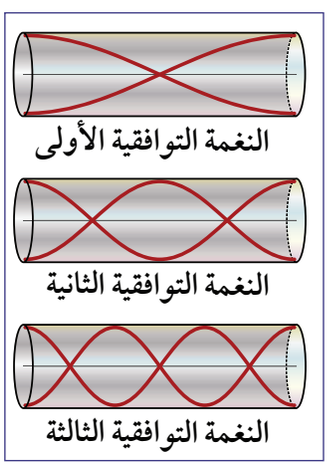
مزمار الرنين آلة يمكن استخدامها لتوليد موجة موقوفة في عمود هوائي (**الشكل 6-56**). إذا اهتزّت شوكة رنانة موضوعة أعلى أنبوب فيه ماء، ستدفع الهواء في الأنبوب على الاهتزاز بتردُّد الشوكة الرنانة نفسه. سوف يحدث الرنين فقط إذا كانت الشوكة الرنانة تهتز عند أحد التردُّدات الطبيعية للأنبوب. على الرغم من ذلك، يمكن تغيير التردُّد الطبيعي للأنبوب. إذا ارتفع مستوى الماء داخل حجرة الرنين، ينخفض طول الأنبوب، وبالتالي ينخفض معه الطول الموجي، فيزداد التردُّد المطلوب للرنين.



الشكل 6-56 رنين الأنبوب.

وكما هي الحال في الأوتار، يسبّب الرنين إحداث الموجات الموقوفة في الأعمدة الهوائية. قد يمتلك المزمار أو عمود الهواء نهايتين مفتوحتين، أو نهاية مفتوحة والأخرى مُغلقة.

الرنين في الأعمدة الهوائية المفتوحة



الشكل 6-57 عمود هوائي بنهايتين مفتوحتين.

ليكن لدينا عمود هوائيّ مفتوح الطرفين طوله L. إذا تكوّنت موجة موقوفة داخل أنبوبِهِ، يتشكّل بطنان عند الطرفين وعقدة في الوسط. يتشكّل البطنان ما دام طرفا الأنبوب مفتوحين. يُظهر **الشكل 6-57** نغمات توافقية مُتشكِّلة في العمود. لا تهتز الجُزيئات الموجودة عند عُقَد الموجة، بينما تكون الجُزيئات الأكثر اهتزازًا هي التي تقع عند البطون.

تُظهر النغمة التوافقية الأولى، طولًا موجيًّا يساوي 2L. ويحدث ذلك حين تهتز الموجة داخل العمود عند التردُّد الأساسي. ويتشكّل نصف الموجة فقط على طول العمود.

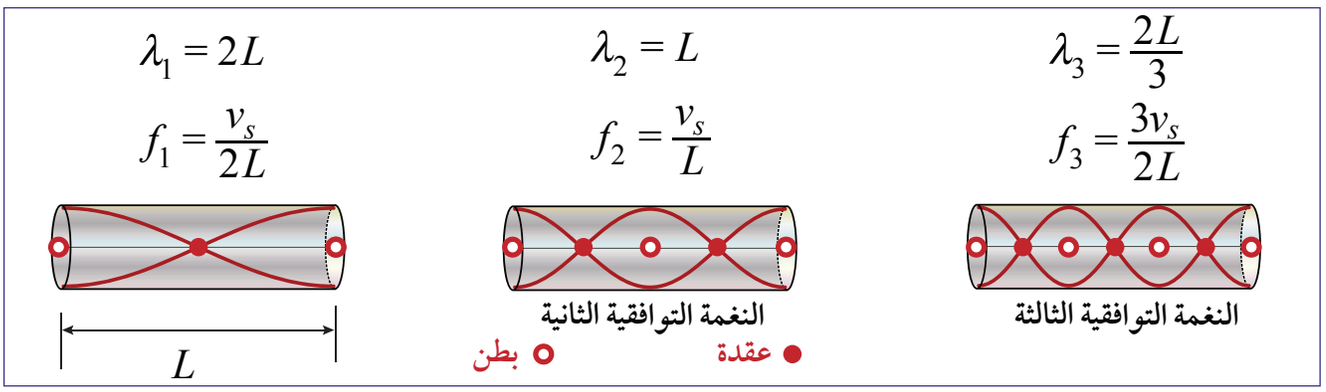
يحدث ذلك أيضًا في النغمة التوافقية الأولى التي تحدث في الوتر ذي الطرفين الثابتين، على الرغم من أن شكل التوافقية مُختلف. تتألَّف النغمة التوافقية الأوّلى في العمود ذي الطرفين المفتوحين من بطنين وعقدة واحدة. تُظهر النغمة التوافقية الثانية طولًا موجيًّا يساوي 1L، وتتألَّف الموجة من 3 بطون وعقدتين. تمتلك النغمة التوافقية الثالثة طولًا موجيًا يساوي $\frac{2L}{3}$، وتتألَّف الموجة من 4 بطون و 3 عُقد، وهكذا. وبما أنّ شرطي التردُّد والطول الموجي في العمود ذي الطرفين المفتوحين هو نفسه في حالة الوتر ذي الطرفين الثابتين، سوف تكون المعادلة المُستخدمة لحساب الأطوال الموجية هي نفسها.

www.jnob-jo.com

الشروط الحدّية في الأعمدة الهوائية المفتوحة

الأنابيب ذوات الأطراف المفتوحة أو المغلقة هي أمثلة على الشروط الحدّية، وهي قيود على الموجة عند الحدود. فالموجة المحصورة في عمود تملك شرطين حدّيّين، واحد عند كل طرف.

1. يتطلّب شرط الحد المفتوح وجود بطن للموجة الموقوفة عنده لحدوث حالة الرنين.
2. يتطلّب شرط الحدّ المُغلق وجود عُقدة للموجة الموقوفة عنده لحدوث حالة الرنين.



الشكل 6-58 الأطوال الموجية لموجة موقوفة في مزمار مفتوح الطرفَين.

5-6	الموجات الموقوفة لعمود مفتوح الطرفين	λ_n	الطول الموجي (m)
		f_n	التردُّد (Hz)
		n	رتبة النغمة التوافقية، n = 1 ، 2 ، 3 ، ...
		v_S	سرعة الصوت (343 m/s)
		L	طول عمود الهواء (m)

$$f_n = \frac{nv_s}{2L} \qquad \lambda_n = \frac{2L}{n}$$

مثال 7

احسب التردُّدات الأربعة الأولى لعمود هوائي طوله 0.5 m مفتوح الطرفين، عندما يكون المزمار في حالة رنين.

المطلوب: التردُّدات الأربعة

العلاقات:

$$f_n = \frac{nv_s}{2L}$$

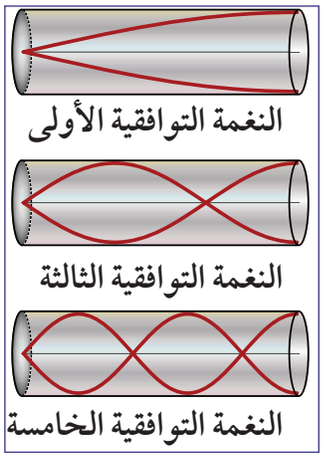
الحل: باستخدام العلاقة:

$$f_1 = \frac{(343 \text{ m/s})}{2(0.5 \text{ m})} = 343 \text{ Hz} \qquad f_2 = \frac{(2)(343 \text{ m/s})}{2(0.5 \text{ m})} = 686 \text{ Hz}$$

$$f_3 = \frac{(3)(343 \text{ m/s})}{2(0.5 \text{ m})} = 1029 \text{ Hz} \qquad f_4 = \frac{(4)(343 \text{ m/s})}{2(0.5 \text{ m})} = 1372 \text{ Hz}$$

www.jnob-jo.com

الرنين في الأعمدة الهوائية المغلقة



الشكل 6-59 عمود هوائي بطرف مُغلق.

نفترض عمودًا طوله L مفتوح عند أحد طرفَيه ومُغلق عند الطرف الآخر. تنطلق موجة صوتية عند الطرف المفتوح، فتصل إلى الطرف المغلق وتنعكس عنه، مولّدةً بذلك رنينًا. يحدث الرنين فقط إذا كان تردُّد الصوت الأصلي مساويًا لمضاعفات التردُّد الأساسي للعمود. لا يحدث اهتزاز للجُزيئات عند الطرف المُغلق للعمود، فتتشكّل عُقدة. لكن، عند الطرف المفتوح للعمود، يحدث أكبر اهتزاز للجُزيئات ويتشكّل بطن.

يُظهر **الشكل 6-59** أول ثلاث توافقيات ممكنة، عندما يكون أحد طرفي العمود مغلقًا. وبما أنّ التوافقية الأولى لها عُقدة عند أحد الطرفين وبطن عند الطرف الآخر، يكون طول العمود ربع الطول الموجي أي: $L = \lambda_1/4$.

لاحظ أن لا وجود للنغمتين التوافقيتين الثانية والرابعة، بل توافقيات فردية في العمود ذي الطرف المُغلق الواحد. يكون طول التوافقية الثالثة 3/4 الطول الموجي، أي: $L = 3\lambda_3/4$.

وبشكل مشابه، يكون عند التوافقية الخامسة $L = 5\lambda_5/4$، وهو ملخّص من خلال **المعادلة 6-6**.

6-6 الموجات الموقوفة لعمود هوائي مغلق

$$\lambda_n = \frac{4L}{n} \qquad f_n = \frac{nv_s}{4L}$$

$n = 1 ، 3 ، 5 ، \ldots$

λ_n	الطول الموجي (m)
f_n	التردُّد (Hz)
n	رتبة النغمة التوافقية، n = 1 ، 3 ، 5 ، ...
v_S	سرعة الصوت (343 m/s)
L	طول عمود الهواء المغلق (m)

في العمود الهوائي المغلق، تتشكّل فقط نغمات توافقية فردية (n=1,3,5,7....)

مثال 8

ما هي نسبة الطول الموجي للنغمة التوافقية الأولى على الطول الموجي للنغمة التوافقية التالية لعمود هوائي ذي طرف مغلق.

المطلوب نسبة الطول الموجي، λ_1/λ_3

العلاقات $\lambda_n = \frac{4L}{n}$;

الحل باستخدام العلاقة:

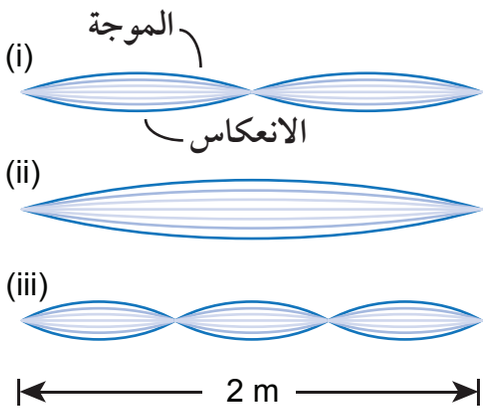
$$\frac{\lambda_1}{\lambda_3} = \frac{4L}{1} \times \frac{3}{4L} = 3/1$$

الطول الموجي للنغمة التوافقية الأولى هو 3 أضعاف الطول الموجي للنغمة التوافقية الثالثة.

www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 6-4

1. وقف صديقان عند طرفَيْ حبل طوله 2 m. قام أحدهما بهز الطرف الذي وقف عنده بشكل متكرّر إلى الأعلى والأسفل بعدة سنتيمترات. وبهزّ الحبل بعدة تردُّدات مختلفة، قام بتوليد الأنماط الثلاثة الظاهرة في الشكل المجاور.



a. ما الطول الموجي للموجة في النمط (i).

b. لنفترض أنّه أكمل حركة يد كاملة من الأعلى إلى الأسفل وبالعكس خلال نصف ثانية (0.5 s) حتى يتمكّن من توليد النمط (i). ما هو الزمن الدوري لتلك الموجة وتردُّدها وسرعة انتقالها؟

c. قام بعد ذلك بتوليد النمط (ii). ما الذي تضاعف: الطول الموجي أم التردُّد؟

d. في النمط (iii)، كم عدد الأطوال الموجية المحصورة بين طرفَي الحبل؟

e. أي من الأنماط يمثّل التردُّد الأساسي لاهتزاز الحبل؟

2. كم عدد العُقد والبطون الظاهرة في كل نمط من أنماط الموجة الموقوفة المبيّنة في الشكل السابق؟

3. ما العلاقة بين عدد العُقد وعدد البطون في موجة موقوفة على وتر مشدود وثابت الطرفين؟

4. قمنا برش مسحوق داخل أنبوبٍ أحد طرفيه مُغلق والآخر مفتوح. وُضع مصدر للصوت بتردُّد 3,000 Hz أمام الطرف المفتوح للأنبوب، فتجمّع المسحوق على شكل أكوام تفصل بينها مسافة 5.5 cm.

a. احسب الطول الموجي للموجة الناتجة.

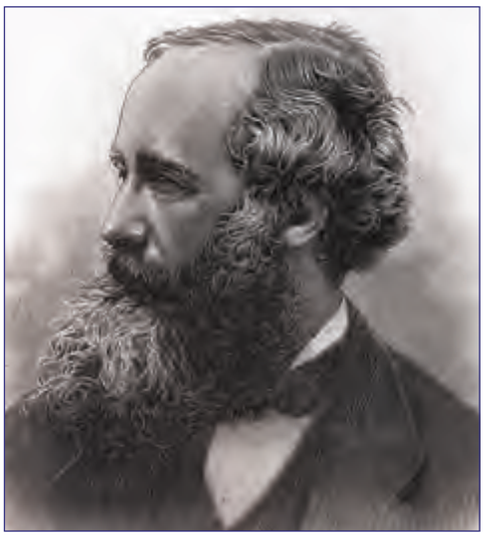
b. احسب سرعة الصوت.

5. احسب التردُّد الأساسي لمزمار مفتوح الطرفين، إذا كان طول المزمار 85 cm.

www.jnob-jo.com

ضوء على العلماء

جيمس كلارك ماكسويل (1831-1879)



الشكل 4-60 جيمس كلارك ماكسويل (1831-1879)

كان جيمس كلارك ماكسويل أول من افترض فكرة الموجات الكهرومغناطيسيّة في العام 1865. وقد أدّت إسهاماته دورًا حاسمًا في تطور الفيزياء التي نعرفها اليوم. ماكسويل، عالم اسكتلندي، ولد في مدينة أيدنبرج باسكتلندا، عام 1831.

تلقّى ماكسويل تعليمه في المنزل حتى سن العاشرة. كانت والدته مسؤولة عن تعليمه في السنوات الثماني الأولى. وحين توفيت، أدّى كل من والده وعمّته دورًا في تعليمه.

من عمر 11 وحتى 16 عامًا، التحق ماكسويل بأكاديميّة أيدنبرج، وهي مدرسة خاصة مرموقة لا تزال قائمة إلى الآن. كتب ماكسويل أول نشرة علميّة له في ذلك الوقت، بعنوان «المنحنيات البيضوية». انضم ماكسويل إلى جامعة أيدنبرغ كطالب جامعي لدراسة البصريات. وانتقل بعد ثلاث سنوات إلى كلية ترنيتي بجامعة كامبريدج. وتخرّج فيها عام 1854.

إسهاماته العلميّة

لماكسويل إسهامات علمية كثيرة نذكر بعضها. افترض بدايةً أنّ حلقات زُحل مصنوعة من جُسيمات، وهو ما تمّ إثباته في القرن العشرين.

تنبّأ ماكسويل بوجود موجة مُنتقلة بمجالين مهتزين: كهربائي ومغناطيسي (تعرف اليوم باسم الموجات الكهرومغناطيسية). ومن خلال التجربة اكتشف أنّه عند انتقال هذه الموجات في الفضاء الخالي، فإنها تنتقل بسرعة 310,740,000 متر في الثانية. وهذه القيمة قريبة جدًا من قيمة سرعة الضوء المعروفة اليوم: 299,792,458 m/s. لخّص ماكسويل أيضًا القوانين المعروفة المُتعلقة بالكهرباء والمغناطيسية، في أربع معادلات، تعرف اليوم باسم معادلات ماكسويل.

كان ماكسويل أول من أنتج صورة فوتوغرافية ملوّنة، عن طريق فصل صور لقماش صوفي بواسطة فلاتر منفصلة لكل من الألوان الأحمر والأزرق والأخضر، ثمّ إسقاط تلك الصور الثلاث بعضها فوق بعض.

www.jnob-jo.com

الوحدة 6

مراجعة الوحدة

الدرس 6-1: خصائص الموجات

- **طور** الموجة يصف الموقع الذي تكون فيه الموجة خلال دورتها الكاملة في أيِّ لحظة من الزمن، أو في أيّ مكان من الوسط. يبلغ طور الموجة الكاملة 360°، أما طور الموجة التي بلغت 1/4 مسارها خلال دورتها فيبلغ 90°.
- **فرق الطور** يحدث بين موجتين لا تنطلقان من النقطة نفسها في اللحظة نفسها. وهو بالتالي نتيجة الاختلاف في زمن البدء، أو الاختلاف في المسار.
- **التداخُل** هو تراكُب موجتين لهما التردُّد نفسه، عند نقطة معيَّنة.
- **مبدأ التراكُب** ينص على أن إزاحة أي نقطة على الموجة المُحصَّلة، هي مجموع إزاحات كل موجة على حدة، وبشكل مستقلّ عن الموجات الأخرى.
- **التداخُل البنّاء** هو التداخُل الذي يحدث عندما يكون للموجة المُحصَّلة أقصى سعة ممكنة، وهي جمع سعتَي الموجتين المُتداخلتين.
- **التداخُل الهدّام** هو التداخُل الذي يحدث عندما يكون للموجة المحصَّلة أقلّ سعة ممكنة، وهي حاصل طرح سعتَي الموجتين المُتداخلتين.
- **الضربة** تناوب في علوّ الصوت، ينتج عن تداخُل بنّاء يليه تداخُل هدّام لموجتين لهما تردُّدان مختلفان قليلاً.
- **فرق المسار** هو الفرق في المسافة التي تقطعها موجتان.

الدرس 6-2: التداخل في الضوء

- **الحيود** هو خاصية الموجة التي تسمح لها بالانحناء حول الزوايا والعوائق. يتناسب مقدار الحيود طرديًّا مع نسبة طول الموجة إلى قياس الجسم المُسبِّب للحيود.
- **الضوء المتعدِّد الألوان** هو الضوء الذي يتكوَّن من موجات مختلفة في أطوالها الموجية وتردُّداتها وأطوارها.
- **الضوء الأحادي اللون** هو الضوء الذي يتكوَّن من موجات لها الطول الموجي نفسه، ولكن السعات والأطوار قد لا تكون نفسها.
- **الضوء المترابط** هو الضوء الذي يتكوّن من موجات لها الطول الموجي نفسه وفرق طور ثابت بين الموجات مع مرور الزمن. يعدّ ضوء الليزر ضوءًا مترابطًا.

www.jnob-jo.com

الوحدة 6

مراجعة الوحدة

- **الهدبة المُضيئة المركزية** بقعة مضيئة تتشكَّل في وسط الشاشة، عندما يمر ضوء عبر شق مفرد، ويشكِّل نمط حيود على شاشة بعيدة عن الشق.
- **الهدبة المُعتمة الأوّلى** بقعة مظلمة تتشكَّل على جانبيِ البقعة المضيئة في وسط الشاشة، عندما يمرّ الضوء عبر شق منفرد، ويشكِّل نمط حيود.
- **الهدبة المُضيئة الثانية** البقعة المُضيئة الثانية، التي تتشكَّل بجوار الهدبة المعتمة الأوّلى، عندما يمرّ الضوء عبر شق منفرد، ويشكِّل نمط حيود.
- **الأهداب المُضيئة** تشير إلى البقع المُضيئة التي تظهر على الشاشة، عندما يتداخل الضوء تداخُلًا بنّاءً بعد عبوره الشقّين.
- **الأهداب المُعتمة** تشير إلى البقع المُعتمة التي تظهر على الشاشة عندما يتداخل الضوء تداخُلًا هّدامًا بعد عبوره الشقَّين.
- **التباعُد الهدبي** هو المسافة بين هدبتَيْن مُضيئتَيْن مُتتاليتَيْن أو هدبتَيْن مُعتمتَيْن مُتتاليتَيْن.

الدرس 6-3: الأشعة الكهرومغناطيسية

- **الموجات الكهرومغناطيسية** موجات مسُتعرَضة ناتجة من اهتزازين متعامدين لمجالين كهربائي ومغناطيسي، وهي تسير بسرعة الضوء.
- **الإشعاع الكهرومغناطيسي** مصطلح آخر يستخدم للإشارة إلى الموجات الكهرومغناطيسية.
- **الطيف الكهرومغناطيسي** يمثِّل كامل نطاق تردُّدات الإشعاع الكهرومغناطيسي.
- **أشعّة جاما** هي الموجات الأعلى تردُّدًا في طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي.
- **الأشعّة السينية** هي موجات ذات تردُّد مرتفع في طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي، تستخدم عادة لتصوير العظام.
- **الأشعّة فوق البنفسجية** هي موجات إشعاع كهرومغناطيسي ذات تردُّد أعلى من تردُّد الضوء المرئي.
- **الأشعّة تحت الحمراء** هي موجات إشعاع كهرومغناطيسي ذات تردُّد أدنى من تردُّد الضوء المرئي.
- **موجات الميكروويف** شكل من الإشعاع الكهرومغناطيسي تردُّده أعلى قليلًا من تردُّد موجات الراديو.

www.jnob-jo.com

الوحدة 6

مراجعة الوحدة

- **موجات الراديو** منطقة من الطيف الكهرومغناطيسي لها أطول طول موجي، وأقل تردُّد.
- **الضوء غير المُستقطَب** هو الضوء الذي يهتزّ فيه المجال الكهربائي في اتّجاهات عشوائية.
- **الضوء المُستقطَب** هو الضوء الذي يهتز فيه المجال الكهربائي في اتّجاه واحد.

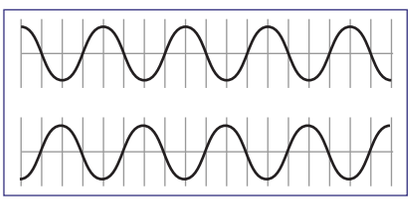
الدرس 6-4: الموجات الموقوفة

- **الانعكاس** هو عملية ارتداد الموجات (بما في ذلك الضوء) عند سقوطها على حَدٍّ أو فاصلٍ بين مادَّتين مختلفتين.
- **الموجة الموقوفة** هي نمط موجي مستقرّ ينشأ نتيجة لتراكب موجتين متماثلتين إحداهما ساقطة والأخرى منعكسة، كما يحدث في الوتر المهتز.
- **العقدة** هي النقطة المستقرّة على الموجة الموقوفة، وهي النقطة التي لها أدنى سعة أو سعتها صفر.
- **البطن** هو النقطة التي لها أقصى سعة على الموجة الموقوفة.
- **التردُّد الأساسي** هو أدنى تردُّد لجسم مهتز.
- **النغمة التوافقية الأوّلى** هي الموجة التي تتشكَّل من اهتزاز جسم ما عند تردُّده الأساسي.
- **الرنين** يحدث عندما يُجبر جسم ما على الاهتزاز، وفقًا لتردُّده الطبيعي تحت تأثير قوة خارجية.

www.jnob-jo.com

اختيار من مُتعدّد

1. ما فرق الطور بين الموجتين في الرسم التخطيطي؟



a. 0º
b. 90º
c. 180º
d. 360º

2. أي تردُّدين لموجتين صوتيَّتين تنشأ منه ضربات؟

a. 400 Hz و 405 Hz
b. 400 Hz و 500 Hz
c. 400 Hz و 800 Hz
d. 400 Hz و 4000 Hz

3. قمت أنت وزميلك بإنشاء موجة موقوفة في حبل. كل منكما يمسك بالحبل ويده ثابتة، وهناك ما مجموعه 5 عقد في هذه الموجة. كم عدد البطون عندئذ؟

a. 3
b. 4
c. 5
d. 6

4. جدار ثقيل فيه باب يفصل بين غرفتين، والباب مفتوح قليلًا. لكن لا يزال بإمكان الناس في إحدى الغرفتين سماع الصوت من الغرفة الثانية مع أنهم لا يستطيعون رؤية ما خلف الباب. ما اسم هذه الظاهرة؟

a. التداخُل
b. الرنين
c. الحيود
d. التراكُب

www.jnob-jo.com

5. تتداخُل موجتان، حيث يكون للموجة المركبّة الناتجة سعة أصغر من سعة أيٍّ منهما. ما اسم هذا النوع من التداخُل؟

a. التداخُل البنّاء
b. التداخُل الهدّام
c. التداخُل الحيودي
d. التداخُل الانعكاسي

6. أُجريت تجربة الشق المزدوج، ولوحظ تداخُل يُظهر الأهداب المضيئة والأهداب المُعتمة. ما الذي يحدث إذا تمت مضاعفة الطول الموجي للضوء المستخدم؟

a. تختفي الأهداب.
b. تتباعد الأهداب.
c. تتقارب الأهداب.
d. تبقى الأهداب على التباعد نفسه، ولكنّ إضاءتها تصبح أكثر شدّة.

7. تتراكب موجتان صوتيتان لتنشأ عنهما موجة ذات سعة أكبر من سعة أي منهما. ماذا تمثّل هذه الموجة؟

a. الحيود
b. التداخُل الهدّام
c. تفاعلًا موجيًّا عند حدّ بين وسطين
d. التداخُل البنّاء

8. ما هي خاصّية الضوء المُستقطَب تمامًا؟

a. جميع الموجات المستعرضة تهتز في المستوى نفسه.
b. جميع الموجات الطولية تهتز في المستوى نفسه.
c. جميع الموجات متماثلة في الطور والسعة.
d. الانعكاس يكون عن سطح موصِّل مثل المياه المالحة.

www.jnob-jo.com

9. لماذا لا يمكن استقطاب الموجات الصوتية؟

a. لأنها موجات مستعرضة.
b. لأنها موجات طولية.
c. لأنها أبطأ كثيرًا من الموجات الضوئية.
d. لأن سرعتها تساوي حاصل ضرب الطول الموجي في التردُّد.

10. ما هو الخيار الأفضل لتضخيم الصوت؟

a. الشوكة الرنّانة
b. أنبوبة الرنين
c. العزل الصوتي
d. آلية الصدى الصوتي تحت الماء

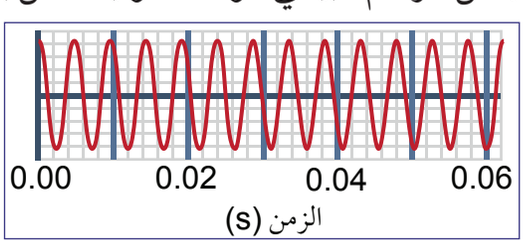
11. يعزف مُكبِّرا صوت نغمتين مختلفتين، إحداهما على تردُّد 440 Hz، وأخرى على تردُّد 430 Hz. ماذا سيسمع المستمع عند تداخُل هاتين النغمتين؟

a. ضربات
b. انكسارًا
c. حيودًا
d. صدى

12. أي من الآتي لا يعتبر مثالًا على الرنين في الصوت؟

a. الليزر
b. الشوكة الرّنانة
c. العزف على آلة موسيقية
d. العزف بوساطة نفخ الهواء في قنّينة

13. يمثّل الرسم البياني موجة صوتية تنتقل بسرعة 343 m/s. ما طولها الموجي؟



a. 0.61 m
b. 1.00 m
c. 1.65 m
d. 20.6 m

www.jnob-jo.com

14. يهتز عمود الصوت في أنبوبة أورغن طولها 75 cm، ومفتوحة من الطرفين. إذا كان الصوت ينتقل بسرعة 343 m/s في الهواء، فكم يبلغ تردُّد النغمة التوافقية الأولى في هذه الأنبوبة؟

a. 0.219 Hz
b. 115 Hz
c. 229 Hz
d. 686 Hz

15. المسافة بين القمر والأرض 384000 km تقريبًا. كم يستغرق انتقال الضوء من الأرض إلى القمر؟

a. ثانية
b. دقيقة
c. ساعة
d. يومًا

16. أي ممّا يأتي يقدِّم دليلاً على أن الضوء يسلك سلوك الموجات؟

a. الحيود
b. الاستقطاب
c. التداخُل
d. كل ما ورد أعلاه.

17. تعد كل من أجهزة الأشعّة السينية وأجهزة التصوير المقطعي بالبوزيترون أجهزة تصوير طبّي تستخدم الإشعاع الكهرومغناطيسي. ما الخصائص التي يتَّصف بها الإشعاع المستخدم؟

a. طاقة منخفضة وطول موجي قصير.
b. طاقة منخفضة وطول موجي طويل.
c. طاقة مرتفعة وطول موجي قصير.
d. طاقة مرتفعة وطول موجي طويل.

www.jnob-jo.com

الدرس 6-1 خصائص الموجات

18. ارسم:

a. موجتَيْن إحداهما ذات طول موجي أكبر من الأخرى.

b. موجتَيْن إحداهما أكبر سعة من الأخرى.

c. موجتَيْن إحداهما ذات زمن دوري أكبر من الأخرى.

19. موجة لها تردُّد 5×10^{14} Hz وطول موجي 6×10^{-7} m.

a. ما سرعة انتقالها؟

b. ما المسافة التي تقطعها الموجة في 8 دقائق و18 ثانية؟

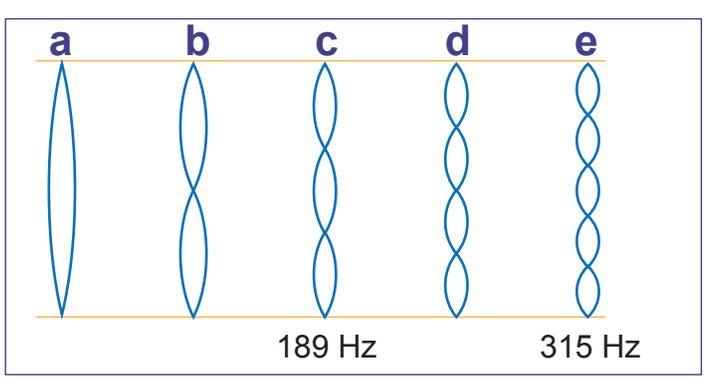
20. موجة كبيرة ذات سعة 40 cm وطول موجي 2.0 m، خضعت لتداخُل مع موجة ثانية ذات سعة 15 cm وطول موجي 2.0 m.

a. إذا كان فرق الطور بين الموجتين 180^{o}، فما هي سعة الموجة الناتجة؟

b. إذا كان للموجتين الطور نفسه، فما هي سعة الموجة الناتجة؟

21. هل يمكن أن تنشأ حالة لا يوجد فيها سوى تداخُل هدّام؟ اشرح ذلك.

22. املأ التردُّدات المفقودة لأنماط الموجات الموقوفة في الرسم التخطيطي أدناه.

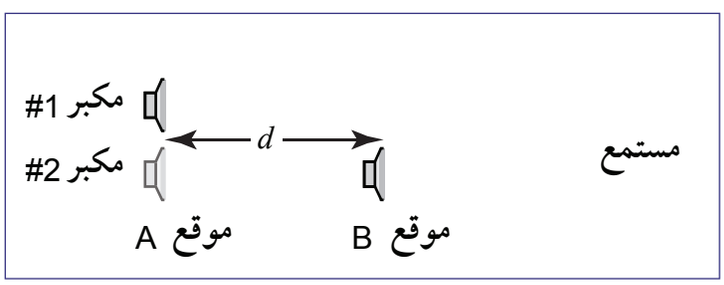


www.jnob-jo.com

23. يستمع عثمان إلى الصوت الصادر عن مُكبِّرَي صوت صغيرين متَّصلين بجهاز الحاسوب المحمول الخاص به. فوضع أوّل مرة مُكبِّرَي الصوت جنبًا إلى جنب (في الموقع A) واستمع إلى النغمة الصادرة عنهما بتردُّد 400 Hz عن بعد عدة أمتار، كما هو موضّح في الرسم.

a. قام سليم (زميل عثمان في المختبر) بتحريك أحد مُكبِّرَي الصوت ببطء نحوهُ إلى الموقع B، لكن عثمان بالكاد سمع الصوت من مُكبِّرَي الصوت. علِّلْ ذلك؟

b. احسب المسافة d بين الموقعين A وB.



الدرس 6-2: التداخل في الضوء

24. يوجّه ضوء مصباحين متماثلين إلى البقعة نفسها على شاشة، فهل سيتكون نمط للتداخُل هناك؟ اشرح إجابتك.

25. كيف يعتمد الحيود على قياس الجسم الذي تتفاعل معه الموجة؟ مثلًا، لمَ ينحني الصوت حول جافة المبنى في حين لا ينحني الضوء؟

26. في تجربة الشق المزدوج للضوء، كيف تتغيّر المسافة بين أهداب التداخُل مع الطول الموجي للضوء؟

27. شقّان تفصل بينهما مسافة 0.25 mm، وُضِعا على مسافة D = 1.5 m من شاشة، فتشكّلت الهدبة المضيئة الرابعة على مسافة x = 13 mm من الهدبة المضيئة المركزية. احسب الطول الموجي للضوء.

28. ما هي إيجابية استخدام الشقوق المتعدِّدة في محزوز الحيود مقارنة بالشق المزدوج في تحليل الضوء إلى طيف؟

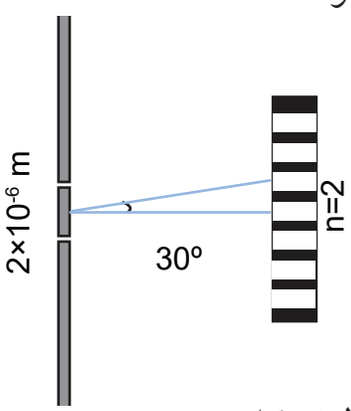
www.jnob-jo.com

29. البعد بين الشقين في جهاز تجربة الشقين 0.2 mm. يعبر الضوء الأبيض من خلال الشقَّين فتُلاحظ الأهداب على مسافة 1 m من الشقَّين. إذا كان الطول الموجي للضوء الأحمر 700 nm وللضوء الأزرق 400 nm.

a. احسب التباعُد بين أهداب كل من اللونين.

b. اشرح لماذا تكون الأهداب التي تظهر على الشاشة ملوّنة.

30. يضيء مصباح شقين تفصل بينهما مسافة 2×10^{-6} m.



a. احسب الطول الموجي للضوء، إذا كانت زاوية الهدبة المعتمة الثانية 30°.

b. عند أي زاوية تظهر الهدبة المعتمة الثالثة؟

31. يضيء الضوء الأبيض محزوز حيود مكتوب عليه 600 خط في كل mm.

a. احسب التباعُد بين الشقوق في المحزوز.

b. يسقط الضوء من خلال الشقوق، وتكون الرتبة الأوّلى المضيئة عند 19°. احسب الطول الموجي لمصدر الضوء.

32. يستخدم ضوء طوله الموجي 500 nm لإضاءة محزوز يشتمل على 400 خط في كل mm.

a. احسب الزوايا التي تُلاحَظ عليها الأهداب المضيئة.

b. ما أكبر رتبة يمكن ملاحظتها وفق هذا الترتيب؟

الدرس 6-3: الأشعة الكهرومغناطيسية

33. ما هي خاصية الأشعّة السينية التي تؤهِّلها للاستخدام في تصوير عظام المرضى في المراكز الطبية؟

www.jnob-jo.com

34. رتّب الأنواع الآتية من الإشعاع الكهرومغناطيسي وفقًا لتزايد طولها الموجي: الضوء الأصفر، الموجات الميكروية، الأشعّة السينية، الأشعّة فوق البنفسجية، الضوء البنفسجي.

35. احسب تردُّد الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يبلغ طوله الموجي 5×10^{-6} m. ما هو نوع هذا الإشعاع الكهرومغناطيسي ؟

36. مستقطِبان يميل محور كل منهما عن الآخر بزواية قائمة. اشرح لماذا لا ينتقل الضوء من خلال المُستقطِب الثاني؟

37. نظر شريف إلى زميله أشرف أثناء التزلُّج على الماء من خلال قطعة بلاستيكية رقيقة، لكنه وجد صعوبة في رؤيته، بسبب وهج الماء. لماذا يقلّ وهج الماء عندما يدوِّر القطعة البلاستيكية بمقدار 90^{o}.

38. افحص جدول الطيف الكهرومغناطيسي، وحدِّد نوع الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي ينطبق على كل مما يأتي:

a. الطول الموجي 10×10^{-6} m

b. التردُّد 1050 kHz

c. الطول الموجي 656 nm

d. التردُّد 0.1 THz

39. للتواصُل مع الغواصات يستخدم عادة تردُّدات أقلّ من 1 kHz.

a. ما هي الأطوال الموجية لموجات الإشعاع الكهرومغناطيسي لتلك التردُّدات؟

b. سمِّ جسمًا في البيئة من حولك يولّد أطوالًا موجية مماثلة في القياس لتلك الأطوال الموجية.

c. كيف يمكن بث هذه الأطوال الموجية؟

d. هل يمكن للغوّاصات بث هذه الأطوال الموجية؟

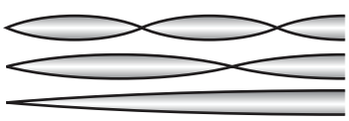
www.jnob-jo.com

الدرس 6-4: الموجات الموقوفة

40. لِمَ عليك ضبط طول أنبوبة الرنين كي تحصل على رنين صوت خارجي، مثل صوت الشوكة الرنانة؟

41. يستمع عازف بيانو إلى الضربات بين وترين عند ضربهما في وقت واحد، ليعرف إن كانا متطابقين في التردُّد. ما هي خاصية الضربات التي تخبر العازف أن الوترين متناغمان تمامًا؟

42. أي من الأنظمة الآتية يمثل رنين أنماط الموجة الموقوفة في الرسم البياني؟



a. أنبوبة ذات طرفين مفتوحتين
b. أنبوبة ذات طرفين مغلقين
c. أنبوبة ذات طرف مفتوح وآخر مغلق

43. عرّف كلمة «توافقي» في سياق تردُّدات الصوت. صف خصائص أصوات الأدوات المختلفة، مثل الجيتار والناي والعود والبيانو، بناء على النغمات التوافقية.

44. يعزف وتر جيتار نغمة أساسية تردُّدها 335 Hz. ما هي تردُّدات نغمات التوافقيات الأوّلى والثانية والثالثة؟

45. ارسم الموجة الموقوفة التي تمثّل النغمة التوافقية الخامسة في أنبوبة ذات طرف مفتوح، والطرف الآخر مغلق.

46. أنبوبة طولها 0.672 m مفتوحة من كلا الطرفين. فإذا كانت سرعة الصوت 340 m/s،

a. احسب التردُّد الأساسي.
b. ما تردُّد النغمة التوافقية الثانية؟

47. ما طول الوتر الذي يمكن أن يُنتج تردُّدًا أساسيًّا يبلغ 110 Hz؟ (سرعة الصوت 343 m/s).

48. شُدّ وتر حتى صار طوله 0.4 m، وثُبّت من كلا طرفيه.

a. ما طول موجة النغمة التوافقية الأوّلى؟
b. ارسم شكل الوتر، عندما يهتز في النغمة التوافقية الثانية.
c. سرعة الموجة على الوتر 150 m/s. احسب تردُّد التوافقية الثانية.

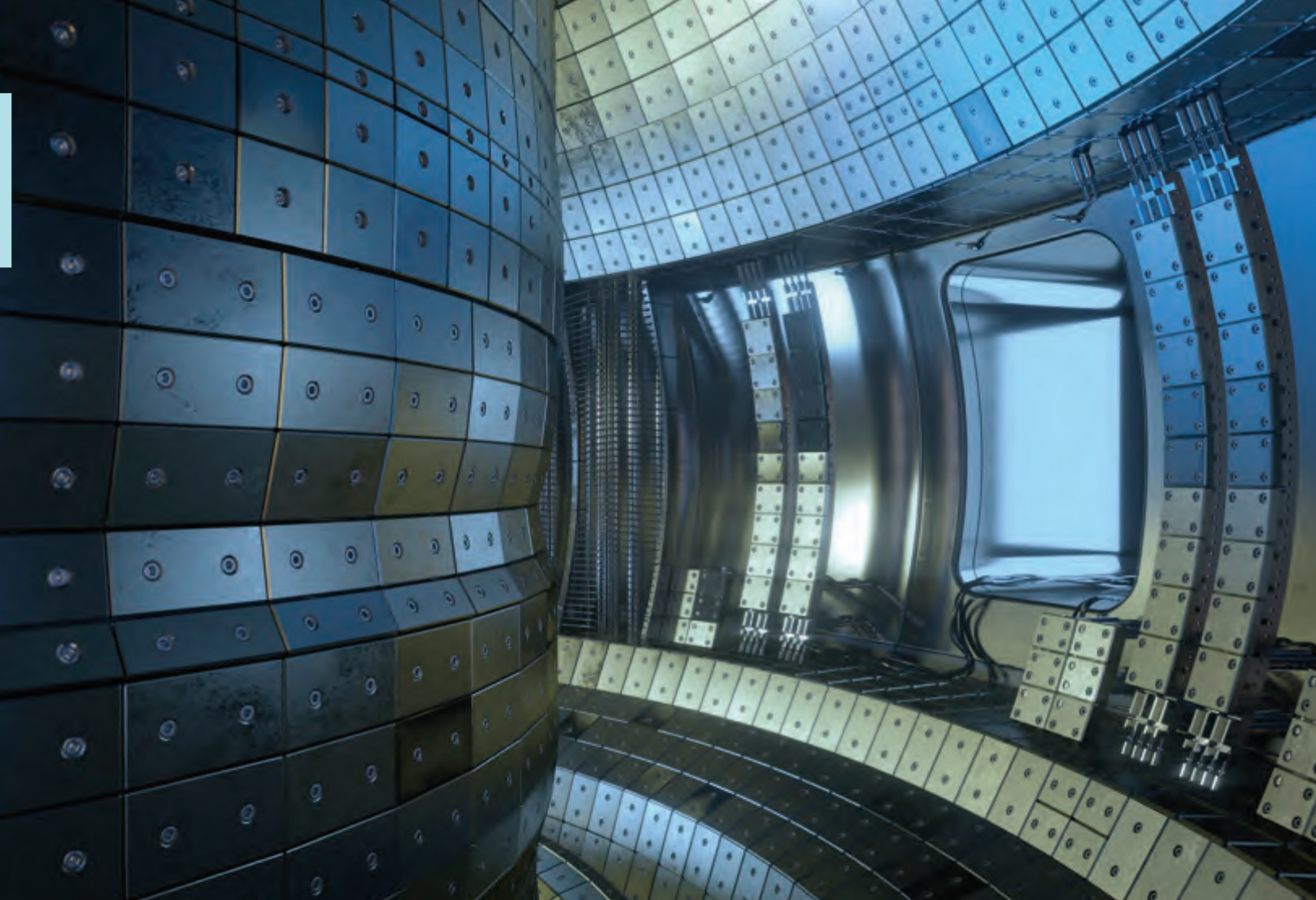
www.jnob-jo.com

الاستقصاء والبحث

أفران الميكروويف

توجد أفران الميكروويف في كل منزل تقريبًا، ويمكنها تسخين الطعام في غضون دقائق، وتقليل وقت الطهو بأكثر من 50%. كيف يطبخ الميكروويف الطعام؟ ابحث في كيفية عمل هذه التكنولوجيا، واكتب مقالة قصيرة تصف فيها كيف تنشأ موجات الميكروويف، وما هي الأطوال الموجية أو التردُّدات المستخدمة، وكيف تُسخّن الموجات الطعام، وكيف يمنع الفرن موجات الميكروويف من الإفلات.

www.jnob-jo.com



الوحدة 7

الفيزياء الذرّية والنووية الحديثة

في هذه الوحدة

الدرس 7-1: الذرّة
الدرس 7-2: النشاط الإشعاعي
الدرس 7-3: عُمر النصف
الدرس 7-4: التفاعُلات النووية

P1114
P1115
P1116

www.jnob-jo.com

7 الوحدة

مقدّمة الوحدة

يتكوَّن لدينا اليوم فهم واضح لوجود الذرّات والجُسيمات التي في داخلها، ويعود الفضل في ذلك إلى جهود بذلها العديد من العلماء، وساهمت في تشكيل معرفتنا الحديثة. كان هذا التطوُّر تحدّيًا خلّاقًا للغاية، لعدم تمكّن أحد من رؤية الذرّة أو الإلكترون أو البروتون أو النيوترون. في هذه الوحدة، سوف نقوم بمراجعة تركيب الذرّة ودراسة تاريخ النماذج الذرّية، ونتعلّم خصائص الجُسيمات دون الذرّية وتمييز ذرّات العناصر المختلفة.

تكون بعض الذرّات غير مستقرّة، وتتحلَّل إلى ذرّات أخرى من خلال الانحلال الإشعاعي. يمكن أن يُنتج الانحلال الإشعاعي جُسيمات ألفا أو بيتا أو أشعّة جاما. ورغم أن النشاط الإشعاعي خطِرٌ جدًّا، إلا أنه يسُتخدَم على نطاق واسع في المجالات الطبّية والصناعية. سوف نتعلَّم الفرق بين الإشعاعات الثلاثة الأكثر شيوعًا، وخصائصها. ليس لكل الذرّات المشعّة المعدّل نفسه من الانحلال. وهذه الخاصية تساعدنا على معرفة أعمار الأحافير القديمة. سوف تقدّم إليك هذه الوحدة المعادلات والطرق المستخدمة لحساب الزمن اللازم للمادة كي تنحلّ.

الأنشطة والتجارب

1-7 تطوُّر النموذج الذرّي

3-7 التحقُّق من عُمر النصف

4-7 مخاطر الانحلال الإشعاعي

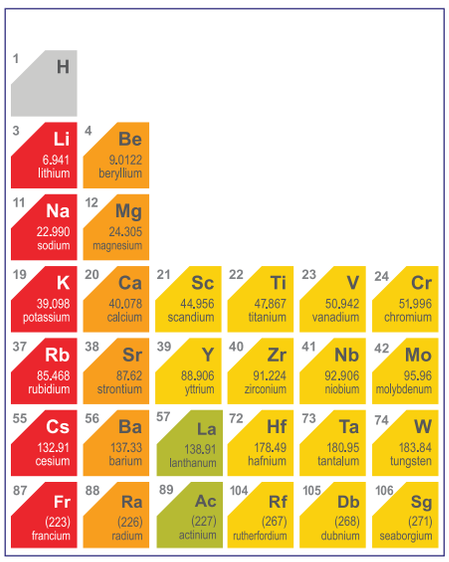
www.jnob-jo.com

الدرس 7-1

الذرّة

كل الموادّ من حولك مصنوعة من 92 عنصرًا طبيعيًّا. وكلّ عنصر يتكوَّن من ذرّات، والذرّة هي أصغر جُسَيم في أي عُنصر. وقد رُتِّبت جميع العناصر في جدول دوريّ.

الشكل 7-1 يوضِّح عناصر الجدول الدوري الذي صمّمه العالم الروسي الكيميائي ديمتري ماندليف. نظَّم ماندليف البيانات المعروفة عن العناصر، على أساس كُتلها، ثم نظَّم العناصر في مجموعات، بحسب خصائصها المشتركة. توقَّع ماندليف اكتشاف المزيد من العناصر. لذلك ترك لها أماكن فارغة في الجدول. استغرق العمل على تطوير الجدول الدوري 80 عامًا، حتى جرى التوصُّل إلى النسخة التي نتداولها اليوم.



الشكل 7-1 نسخة قديمة من الجدول الدوري.

ظلَّ سبب اختلاف العناصر بعضها عن بعض مجهولًا حتى الأعوام المئة الأخيرة. ففي العام 1914، أضاف العالِم الإنكليزي هنري موسلي العدد الذرّي للعناصر، وأعاد ترتيبها. النيوترون هو آخر الجُسيمات المُكتَشفة داخل الذرّة؛ وكان ذلك عام 1932 على يد العالم جيمس شدويك. لم يكن مفهوم القوى التي تُجمّع النواة واضحًا، حتى تمّ اكتشاف الكواركات داخل النيوترونات والبروتونات عام 1970.

مخرجات التّعلُّم

P1114.1 يفسر نتائج تجربة التشتت لرذرفورد ويصف كيف أدت إلى نماذج التركيب الذرّي الحديثة.

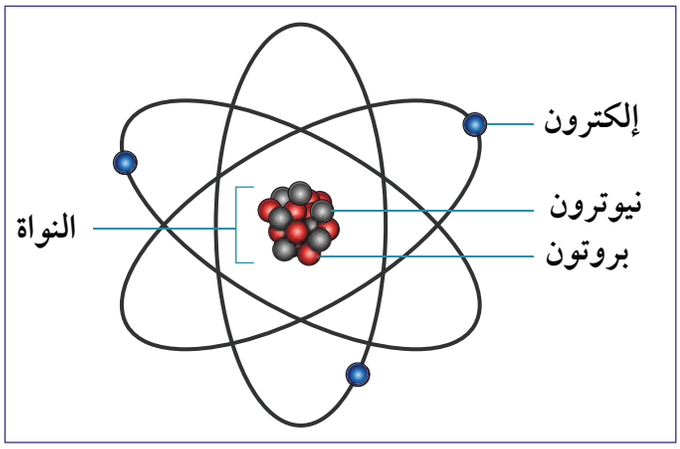
المفردات

Atom	الذرّة
Electrons	إلكترونات
Protons	بروتونات
Neutrons	نيوترونات
Elementary charge	الشحنة الأوَّلية
Atomic number	العدد الذرّي
Alpha particles	جُسيمات ألفا
Isotopes	النظائر
Atomic mass number	العدد الكُتلي

www.jnob-jo.com

تركيب الذرَّة

تحتوي الذرَّة على ثلاثة أنواع من الجُسيمات، وهي **الإلكترونات Electrons** و**البروتونات Protons** و**النيوترونات Neutrons** كما في **الشكل 7-2**. تعتبر الإلكترونات أخفّ تلك الجُسيمات كتلة، وهي تحمل شحنة كهربائية سالبة مقدارها (-1.602×10^{-19} C). أما البروتونات، فلها شحنة كهربائية موجبة مقدارها (1.602×10^{-19} C)، تسمّى **الشحنة الأوَّلية Elementary charge**، وتكون كتلتها أكبر من كتلة الإلكترون بـ 1836 مرَّة.



الشكل 7-2 تركيب الذرّة .

كتلة النيوترون أكبر قليلًا من كتلة البروتون، ولكن ليس لـه شحنة كهربائية كما في **الشكل 7-3**. وتكون أي شحنة كهربائية من مضاعفات الشحنة الأوَّلية e.

	الكتلة	الشحنة
بروتون	1.673×10^{-27} kg	$+1.602 \times 10^{-19}$ C
نيوترون	1.675×10^{-27} kg	0
إلكترون	9.11×10^{-31} kg	-1.602×10^{-19} C

الشكل 7-3 تركيب الذرّة .

تقع كل من البروتونات والنيوترونات داخل نواة الذرَّة. وتُرتّب العناصر في الجدول الدوري بحسب **عددها الذرّي Atomic number**، وهو عدد البروتونات في نواتها، ويُرمَز إليه بالرمز(z)، كما هو موضَّح في **الشكل 7-4**.

تتضمّن كل نواة من نوى ذرّات العنصر الواحد العدد نفسه من البروتونات، بينما يختلف عدد البروتونات في نوى ذرَّات العناصر المختلفة.

جميع ذرَّات العنصر الواحد تحتوي على العدد نفسه من البروتونات.

العنصر	البروتون
الهيدروجين	1
الهيليوم	2
الليثيوم	3
البريليوم	4
البورن	5
الكربون	6
النيتروجين	7
الأكسجين	8

ترتيب أوَّل 18 عنصرًا في الجدول الدوري

العدد الذرّي

1 H hydrogen																	2 He helium
3 Li lithium	4 Be beryllium											5 B boron	6 C carbon	7 N nitrogen	8 O oxygen	9 F fluorine	10 Ne neon
11 Na sodium	12 Mg magnesium											13 Al aluminum	14 Si silicon	15 P phosphorous	16 S sulfur	17 Cl chlorine	18 Ar argon

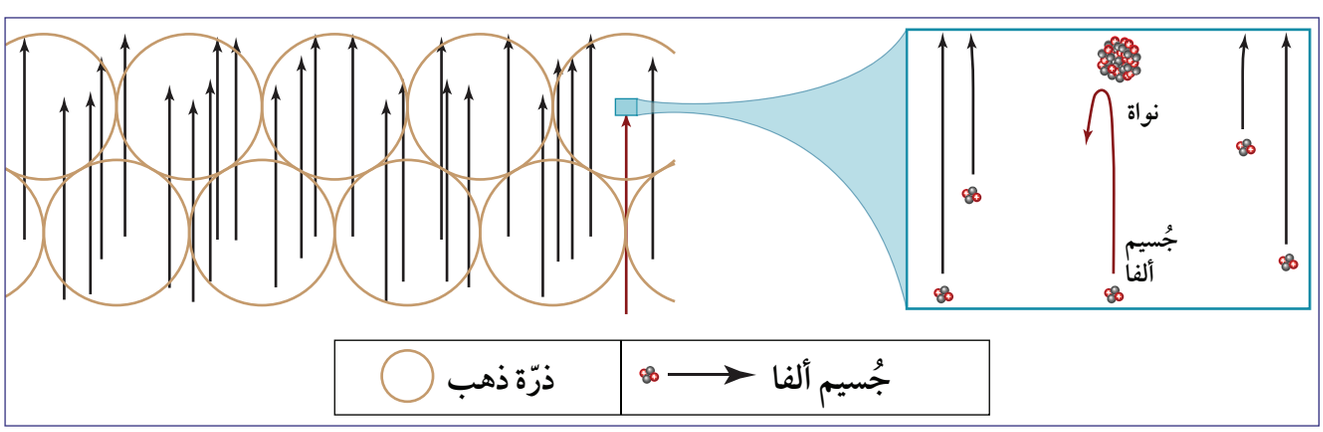
الشكل 7-4 ترتيب العناصر في الجدول الدوري بحسب عددها الذرّي.

www.jnob-jo.com

اكتشاف النواة

تتيح لنا المجاهر القوية رؤية تفاصيل صغيرة قياسها 1 نانومتر (10^{-9} m) . لكن لا يمكن رؤية الجُسَيمات دون الذرّية (10^{-15}m) حتى باستخدام هذه المجاهر. ومع ذلك، تسمح لنا التجارب الذكية مراقبة سلوك الجُسيمات دون الذرّية واستكشاف بنية الذرّة. بحلول العام 1900 كان معروفًا أن الذرّة تحتوي على إلكترونات ذات شحنة سالبة. وبالنظر إلى أن الذرّة متعادلة كهربائيًّا، فقد عرف العلماء أن كل ذرَّة لا بُدّ من أن تحتوي على كمّية مماثلة من الشحنة الموجبة. ولكن السؤال هو حول كيفية ترتيب هذه الشحنات داخل الذرّة. كانت الفكرة الشائعة آنذاك أن الإلكترونات تتوزَّع عشوائيًّا داخل محيط موجب الشحنة، كتوزيع الزبيب على الفطيرة الإنجليزية. وفي العام 1909، قام العالم أرنيست رذرفورد مع هانز جيجر وأرنيست مارسدن بإجراء تجربة تتمثَّل بتسليط حزمة من **جُسيمات ألفا Alpha particles** على شريحة رقيقة من الذهب، حيث يحتوي جُسيم ألفا على بروتونين ونيوترونين أي إنه نواة ذرّة الهيليوم. توقَّع العُلماء أن تسهم طريقة تشتُّت جُسيمات ألفا، بعد اصطدامها بالشريحة الذهبية، في توضيح طريقة توزيع الشحنات الموجبة والسالبة داخل الذرَّة. وتوقَّع رذرفورد أن تنحرف الجُسيمات قليلًا عن مسارها الابتدائي بعد اصطدامها بالذرّات التي لها شكل فطيرة. إلّا أن النتائج جاءت عكس المتوقَّع. يوضِّح **الشكل 7-5** أهم نتائج التجربة:

1. الغالبية العُظمى من جُسيمات ألفا خرجت من الشريحة من دون أي انحراف واضح عن مسارها، وكأنها لم تصطدم بأيّ من ذرّات الشريحة.
2. عددٌ قليل من جُسيمات ألفا انحرف بزوايا كبيرة عن مساره، حتى أن بعض الجُسيمات ارتَّدت عن الشريحة في الاتِّجاه المُعاكِس.



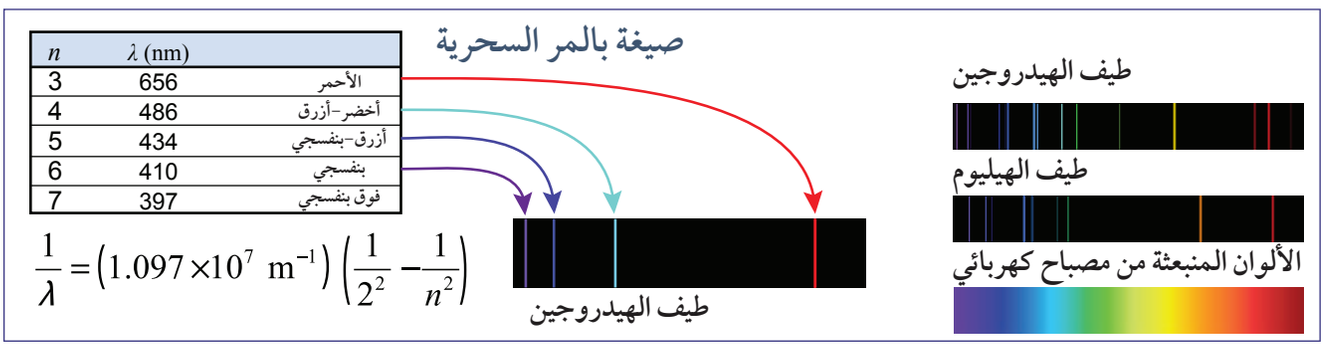
الشكل 7-5 مشاهدات راذرفورد.

وبما أن معظم الجُسيمات قد نفذت من دون أي انحراف، فقد استُنتِج أن معظم مناطق الذرَّة هي فارغة، وأن معظم كتلة الذرَّة وشحنتها الموجبة لا بُدّ أن تتركّز في حيّز صغير جدًّا في وسطها، الذي يُسمّى نواة الذرَّة.

www.jnob-jo.com

ذرَّة الكم

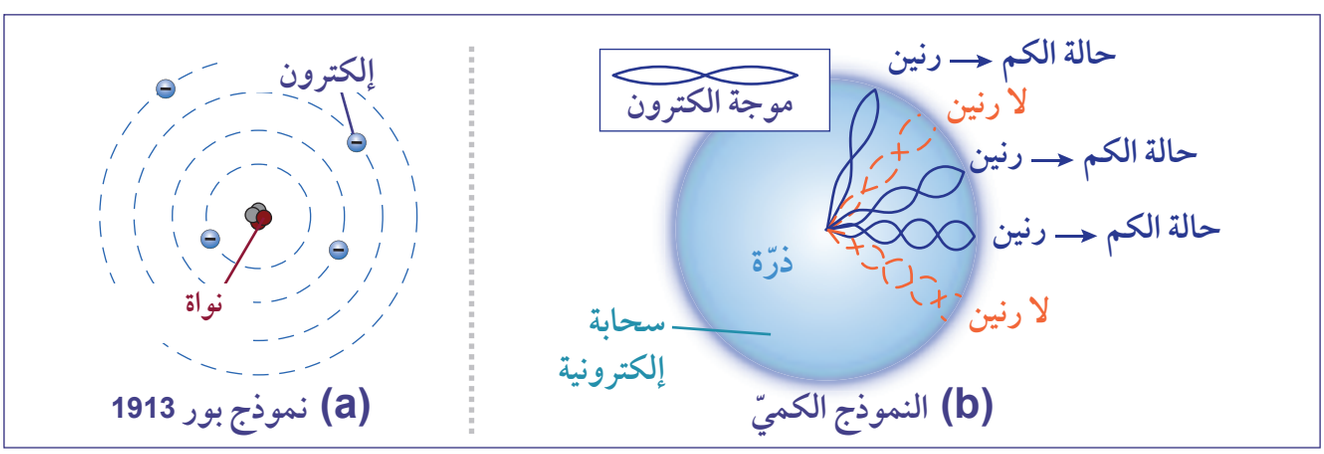
على عكس المصباح الكهربائي، يحتوي الضوء المنبعث من غاز الهيدروجين على ألوان قليلة جدًّا مُنفصِل بعضها عن بعض، وهو أمر لم يكن مفهومًا. وفي العام 1885، اكتشف مُدرِّس سويسري يدعى يوهان بالمر الأطوال الموجية، وأخضعها لمعادلة رياضية؛ لكنه لم يستطع تعليل ذلك.



n	λ (nm)	
3	656	الأحمر
4	486	أخضر-أزرق
5	434	أزرق-بنفسجي
6	410	بنفسجي
7	397	فوق بنفسجي

الشكل 7-6 صيغة بالمر وطيف الهيدروجين.

استنتج الفيزيائي الدانمركي نيلز بور عام 1913تفسيرًا رائعًا لصيغة بالمر. فطرح بور فكرة أن الإلكترونات تدور في مدارات دائرية حول النواة (**الشكل 7-a7**)، وتعتمد طاقة الإلكترون على نصف قطر المدار. وهناك إمكانية لنزول إلكترون من مدار إلى مدار آخر ما يؤدّي إلى انبعاث ضوء تكون طاقته مساوية لفرق الطاقة بين المدارَين.



الشكل 7-7 نموذج بور والنموذج الكمّي للذرَّة.

لم يفسِّر نموذج بور عدم فقد الإلكترونات لطاقتها ببطء في مداراتها. وأظهرت تجارب ديفسون وجيرمر بين العامين 1923 و 1927 أن الإلكترون يسلك سلوك الموجات أكثر من سلوك الجُسَيمات عند دراسته على المستوى الذرّي. وفي العام 1926 طرح العالم الفيزيائي النمساوي إروين شرودينجر فكرة أن إلكترون الكم المربوط بالذرَّة يتصرَّف كموجة محصورة بين حدَّين ينعكس الإلكترون عند كل منهما. يشكِّل هذا الانعكاس موجات موقوفة تكون لها أطوال موجية مُحدَّدة القيَم (**الشكل 7-b7**). ويمثِّل كل من الأطوال الموجية الرنّانة للإلكترون **حالة كم Quantum state**. وتشكِّل الإلكترونات في ذرّة الكم سحابة إلكترونية من حالات كمّية مُتداخِلة حول نواة الذرَّة. ويحدِّد شكل حالة الكم وطاقتها الخصائص الكيميائية للعنصر.

www.jnob-jo.com

نشاط 7-1 تطوُّر النموذج الذرّي

سؤال الاستقصاء	كيف تغيَّر مفهوم النموذج الذرّي عبر السنين؟
الموادّ المطلوبة	ملصق كبير الحجم، إنترنت، أقلام.

خطوات التجربة

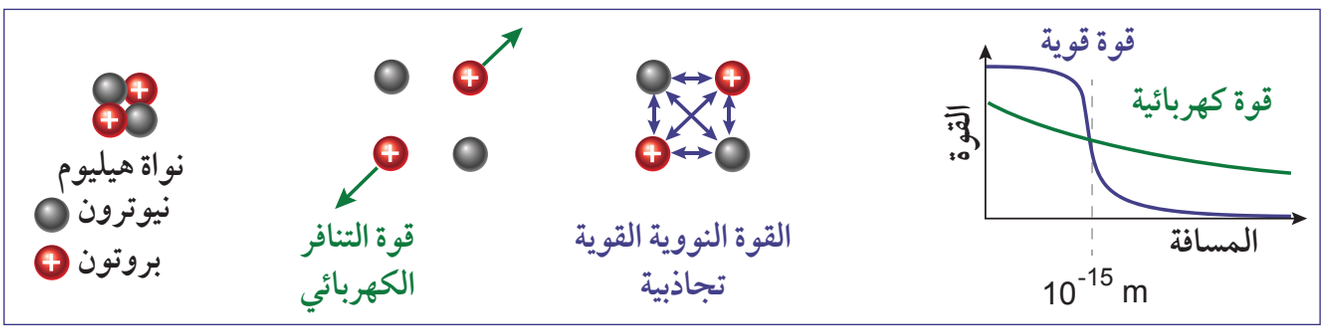
1. ابحث في تاريخ تطوُّر نموذج الذرَّة
2. ما الذي طرحه الفلاسفة اليونانيون؟ متى كان ذلك؟ ما الشيء الذي لم يلحظه النموذج؟
3. ما كانت فكرة جون دالتون؟ متى كان ذلك؟ كيف توصَّل إلى تلك النتيجة؟ وما هي أوجه القصور في طرحه؟
4. ما كانت فكرة جي جي طومسون؟ متى كان ذلك؟ كيف توصَّل إلى تلك النتيجة؟ ما هي أوجه القصور في طرحه؟
5. ماذا استنتج رذرفورد؟ متى كان ذلك؟ ما الاسم الآخر لنموذجه؟
6. املأ الجدول لتنظيم أفكارك.
7. رتِّب النتائج التي توصَّلت إليها في إطار زمني، وارفق عملك برسم بياني. لخِّص النتائج بجدول خاص بك.

	الفلاسفة اليونانيون	جون دالتون	جي جي طومسون	إرنيست رذرفورد
الفترة الزمنية				
وصف النموذج الذرّي				
كيف توصَّل إلى الاستنتاج؟				
ما هو قصور النموذج؟				

www.jnob-jo.com

القوى داخل النواة

تحتوي الذرَّة على البروتونات والنيوترونات. معلوم أنّ البروتونات لها شحنة كهربائية موجبة وأنّ النيوترونات ليست لها أي شحنة، فكيف تحافظ النواة على تماسكها ووحدتها، رغم أن قوة التنافر الكهربائي بين البروتونات قوية جدًّا وهي تحاول دائمًا تفتيت النواة؟ الجواب هو أن هناك قوة كبيرة تعمل على تجاذب مكوِّنات النواة؛ ولابد أن تكون أقوى من قوّة التنافر الكهربائي بين البروتونات. تلك القوة التجاذبية تُسمّى **القوّة النووية القوية Strong nuclear force**.

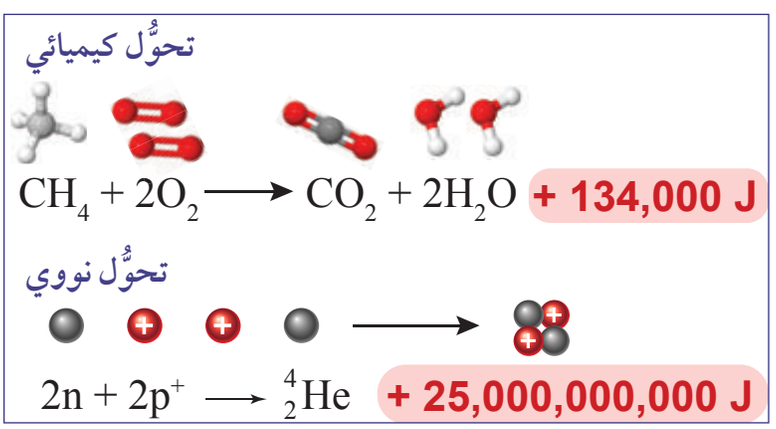


الشكل 7-8 القوى داخل النواة.

تجذب القوة النووية البروتونات والنيوترونات بعضها إلى بعض، بغضّ النظر عن شحنتها. وما دام هناك العدد الكافي من النيوترونات، فإن تلك القوة النووية تتغلَّب على قوة التنافر الكهربائية. وهذا هو سبب وجود نيوترون واحد على الأقل لكل بروتون في النوى التي تكون أكبر من ذرَّة الهيدروجين. فإذا ازداد عدد البروتونات في النواة، فلا بد من ازدياد عدد النيوترونات، لكي تبقى النواة مستقرَّة. فذرَّة الذهب مثلًا تحتوي على 79 بروتونًا و 118 نيوترونًا.

القوة النووية القوية هي قوة غريبة، لأنَّها تنخفض بسرعة على مسافات تزيد على 10^{-15}m. وهذا هو سبب تسميتها بالقوة القصيرة المدى، لأنها تكون فعّالة فقط داخل النواة. وبما أنها قوة قصيرة المدى، فإنّها تكون معدومة وأضعف من القوة الكهربائية خارج النواة.

تكون القوى داخل النواة هائلة، حيث تنتج عنها طاقة كبيرة إذا ما تحوَّلت النواة إلى نواة أخرى. فالطاقة الناجمة عن تحوُّل جرام واحد من المادة في تفاعُل نووي تساوي 190,000 من الطاقة التي تنجم عن تفاعُل كيميائي لجرام واحد من المادة نفسها (**الشكل 7-9**).

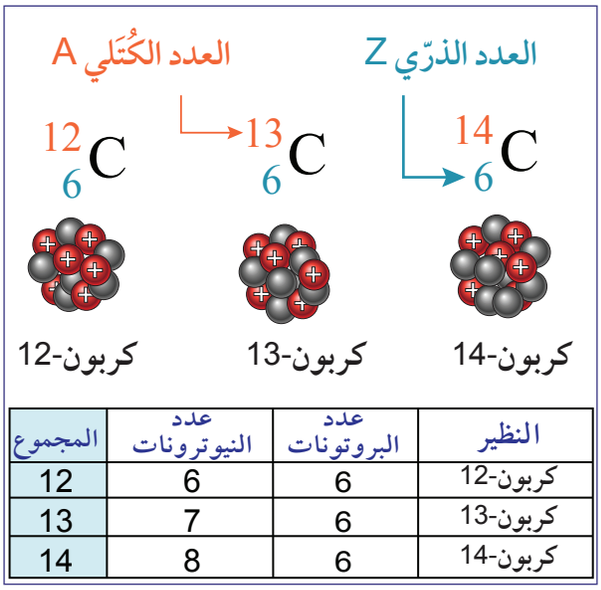


الشكل 7-9 مقارنة بين كمّية الطاقة الناتجة من تحوُّل كيميائي، وآخر نووي.

www.jnob-jo.com

النظائر

يكون لذرّات العنصر الواحد العدد نفسه من البروتونات، لكنَّ عدد النيوترونات قد يختلف بين ذرَّة وأخرى. **النظائر Isotopes** هي الذرَّات التي لها العدد نفسه من البروتونات وأعداد مختلفة من النيوترونات. فعيّنة عشوائية من عُنصر الكربون مثلًا تحتوي على عدّة نظائر من الكربون كل منها يحتوي على 6 بروتونات. ولكنَّ واحدًا منها يحتوي على 6 نيوترونات والنظير الثاني على 7 نيوترونات والثالث على 8 نيوترونات (**الشكل 7-10**).



النظير	عدد البروتونات	عدد النيوترونات	المجموع
كربون-12	6	6	12
كربون-13	6	7	13
كربون-14	6	8	14

الشكل 7-10 نوى ثلاثة نظائر لعُنصر الكربون.

العدد الكُتَلي A هو مجموع البروتونات والنيوترونات الموجودة داخل نواة الذرَّة.

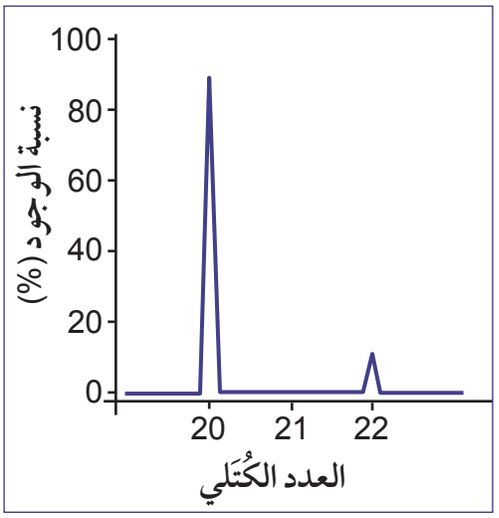
تتميَّز النظائر بأن لها أعدادًا كُتَلية مُختلفة. كربون 12 هو واحد من نظائر عنصر الكربون، ويحتوي على 6 بروتونات و6 نيوترونات، ويكون العدد الكُتَلي له 12. في حين أن الكربون 13 يحتوي على 6 بروتونات و7 نيوترونات ويكون عدده الكُتَلي 13. يمكن كتابة النظير بكتابة رمز العنصر مع وضع العدد الكُتَلي أعلى يسار الرمز، فمثلًا C-13 أو كربون-13 هو نظير لعنصر كربون عدده الكُتَلي 13. توضِّح **المعادلة 7-1** العلاقة بين عدد النيوترونات N وعدد البروتونات Z والعدد الكُتَلي A للذرَّة.

1-7 العدد الكُتَلي

$$A = Z + N$$

A	العدد الكُتَلي (عدد النيوكليونات)
Z	العدد الذرّي (عدد البروتونات)
N	عدد النيوترونات

وإذا اخترنا أي عيّنة عشوائية من أي عنصر نجد أنها تحتوي على خليط من النظائر لذلك العنصر. يمكن قياس عدد النظائر في أي عيّنة باستخدام جهاز مطياف الكتلة، وهو يعتمد على تفاعُل النظائر مع مجالَيْن كهربائي ومغناطيسي. عند وضع عيّنة من عنصر النيون في هذا الجهاز، يتبيّن أن العدد الأكبرمن النظائر لعُنصر النيون هو نيون-20 مع وجود لكمّية قليلة من نظير نيون-22. يوضِّح **الشكل 7-11** أن نسبة وجود نيون-20 إلى نيون-22 هي 9 إلى 1.



الشكل 7-11 الطيف الكُتَلي للنيون

www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 7-1

1. أي مما يأتي حجمه أقرب إلى حجم نواة الذرَّة؟
   a. بروتون
   b. إلكترون
   c. ذرَّة هيدروجين
   d. نظير كربون-12.

2. عنصر تحتوي نواته على 19 بروتونًا و 20 نيوترونًا. كم تبلغ كتلة ذرَّة هذا العنصر؟
   a. 6.528×10^{-29}kg
   b. 6.528×10^{-26}kg
   c. 6.528×10^{-27}kg
   d. 3.350×10^{-26}kg

3. وضّح الأدّلة على أن النواة صغيرة الحجم وذات كتلة كبيرة وتحمل شحنة موجبة.

4. صف تاريخيًّا ثلاثة تغيُّرات طرأت على فهمنا لخصائص الذرَّة منذ العام 1850.

5. عرِّف النيوكليون. ماذا يمثّل عدد النيوكليونات في الذرَّة؟

6. عنصر عدده الكُتلي A = 84 وعدد نيوتروناته N = 48. ما هذا العنصر؟

7. كتلة البروتون تساوي 1836مرَّة كتلة الإلكترون. إذا تمّ حساب كتلة الذرَّة بحساب كتلة البروتونات والنيوترونات داخل النواة فقط، فما هي نسبة الخطأ في الحساب؟

8. ما عدد النيوترونات في نواة نظير الذهب ^{194}Au؟ (يمكنك استخدام الجدول الدوري).

9. في نموذج رذرفورد للذرَّة، لماذا لا تُطرَد إلكترونات الكربون إلى خارج الذرَّة بواسطة الإلكترونات الأخرى؟

10. اشرح كيف أدَّت تجربة التشتُّت لرذرفورد إلى أن الشحنة الموجبة للذرَّة يجب أن تكون مُركّزة في مكان مُحدَّد، وليست منتشرة على كامل حجم الذرَّة.

www.jnob-jo.com

الدرس 7-2
النشاط الإشعاعي

قد تتساءل عن طريقة تصنيع الصفحات الورقيّة، واللفائف البلاستيكيّة، ورقائق الألومنيوم لتكون لها سماكة ثابتة. يتم استخدام مواد نشطة إشعاعيًّا للحفاظ على سماكة مُنتظمة، حيث يتم وضع مادة تُشعّ جُسيمات بيتّا أسفل الورقة التي تُصنَّع. بينما يوضع كاشف فوق الورقة نفسها ليقيس الإشعاع الذي يعبر الورقة.

الشكل 7-12 معمل تصنيع الورق.

إذا ازدادت كميّة الإشعاع المقيس، تكون الأوراق رقيقة جدًّا، ويتم ضبط الأسطوانات لجعل الورق أسمك.وإذا نقصت كميّة الإشعاع المقيس بواسطة العدّاد، تكون الأوراق سميكة جدًّا ويتم ضبط الأسطوانات وفقًا لذلك.

مخرجات التّعلُّم

P1115.1 يصف الطبيعة التلقائية والعشوائية لانحلال النواة وخصائص الإشعاع النووي ألفا (α) وبيتا (β) وجاما (γ).

P1115.2 يكتب معادلات التفاعُل النووي مع الأخذ في الاعتبار قوانين حفظ الكتلة والشحنة والطاقة.

P1115.3 يناقش بعض الاستخدامات الشائعة للنظائر المُشعّة ومصادر الخلفية الإشعاعية.

المفردات

النظائر المشعّة	Radioisotopes
الانحلال الإشعاعي	Radioactive decay
انحلال ألفا	Alpha decay
انحلال بيتا	Beta decay
بوزيترون	Positron
نيترينو	Neutrino
انحلال جاما	Gamma decay
سلسلة الانحلال	Decay series
أثر النشاط الإشعاعي	Radioactive tracers
الخلفيّة الإشعاعية	Background radiation

www.jnob-jo.com

الاستقرار والنظائر

سؤال للمناقشة

لماذا تكون بعض النظائر مشعّة؟

تحتوي كلّ ذرّة من ذرّات الليثيوم على ثلاثة بروتونات. لكنّها لا تتماثل في عدد نيوتروناتها. تحتوي عيّنة مصدر طبيعي من الأرض على:

- 93 % من ذرّات نظير الليثيوم -7.
- 7 % من ذرّات نظير الليثيوم -6.
- لا شيء من نظيرَي الليثيوم -5 و -8.

لا نجد أيًّا من نظيرَي الليثيوم 5 أو 8، لأنهما غير مستقرَّين. ذلك أن احتواء النواة على عدد صغير جدًّا أو على عدد كبير جدًّا من النيوترونات يؤدّي إلى عدم استقرار النواة.

1. تكون النواة التي تحتوي على عدد قليل جدًّا من النيوترونات غير مستقرَّة، لأن قوة التجاذب بين النيوترونات والبروتونات لا تستطيع التغلّب على قوة التنافر بين البروتونات.
2. وتكون النواة التي تشتمل على عدد كبير جدًّا من النيوترونات غير مستقرَّة أيضًا، لأنها قد تنتقل إلى طاقة أقلّ بتغيير النيوترون إلى بروتون وإلكترون، كما سنرى في حالة انحلال β في الصفحات القادمة.

يُظهر **الشكل 7-13** نظائر العناصر الثماني الأولى. تكون كل النظائر الملوّنة بالأحمر غير مستقرّة، في حين أن النظائر الملوّنة بالأخضر تكون مستقرّة.

جدول نظائر العناصر من 1 إلى 8.

العدد الكتلي (A)

العدد الذّري (Z)

$^{16}_{8}O$

نواة مستقرة

$^{16}_{8}O$

نواة غير مستقرة

$^{15}_{8}O$

عدد النيوترونات (N)								
10				$^{14}_{4}Be$	$^{15}_{5}B$	$^{16}_{6}C$	$^{17}_{7}N$	$^{18}_{8}O$
9			$^{12}_{3}Li$	$^{13}_{4}Be$	$^{14}_{5}B$	$^{15}_{6}C$	$^{16}_{7}N$	$^{17}_{8}O$
8		$^{10}_{2}He$	$^{11}_{3}Li$	$^{12}_{4}Be$	$^{13}_{5}B$	$^{14}_{6}C$	$^{15}_{7}N$	$^{16}_{8}O$
7		$^{9}_{2}He$	$^{10}_{3}Li$	$^{11}_{4}Be$	$^{12}_{5}B$	$^{13}_{6}C$	$^{14}_{7}N$	$^{15}_{8}O$
6	$^{7}_{1}H$	$^{8}_{2}He$	$^{9}_{3}Li$	$^{10}_{4}Be$	$^{11}_{5}B$	$^{12}_{6}C$	$^{13}_{7}N$	$^{14}_{8}O$
5	$^{6}_{1}H$	$^{7}_{2}He$	$^{8}_{3}Li$	$^{9}_{4}Be$	$^{10}_{5}B$	$^{11}_{6}C$	$^{12}_{7}N$	$^{13}_{8}O$
4	$^{4}_{1}H$	$^{6}_{2}He$	$^{7}_{3}Li$	$^{8}_{4}Be$	$^{9}_{5}B$	$^{10}_{6}C$	$^{11}_{7}N$	$^{12}_{8}O$
3	$^{4}_{1}H$	$^{5}_{2}He$	$^{6}_{3}Li$	$^{7}_{4}Be$	$^{8}_{5}B$	$^{9}_{6}C$	$^{10}_{7}N$	
2	$^{3}_{1}H$	$^{4}_{2}He$	$^{5}_{3}Li$	$^{6}_{4}Be$	$^{7}_{5}B$	$^{8}_{6}C$		
1	$^{2}_{1}H$	$^{3}_{2}He$	$^{4}_{3}Li$	$^{5}_{4}Be$	$^{6}_{5}B$			
0	$^{1}_{1}H$	$^{2}_{2}He$						
	1	2	3	4	5	6	7	8

عدد البروتونات (Z)

الشكل 7-13 نظائر العناصر الثماني الأولى. تكون النظائر الملوّنة بالأخضر مستقرة في حين أن النظائر الملونة بالأحمرتكون غير مستقرّة.

www.jnob-jo.com

النشاط الإشعاعي

تتحوّل النوى غير المستقرَّة تلقائيًّا إلى نوى أخرى مُصدِرةً طاقة خلال تلك العملية. تسمّى هذه العملية **النشاط الإشعاعي Radioactivity**. وتسمّى النظائر غير المستقرَّة **النظائر المشعّة Radioisotopes**.

سؤال للمناقشة

ما الفرق بين النظائر المستقرَّة والنظائر غير المستقرَّة؟

يحتوي اليورانيوم الطبيعي على 99.27 % من اليورانيوم -238 و 0.72 % من اليورانيوم -235. يوضِّح **الشكل 7-14** صخرة ذات قشرة صفراء من أكسيد اليورانيوم. تكون كل نظائر اليورانيوم غير مستقرَّة، لأن العدد الذرّي لليورانيوم هو Z = 92. ومع هذا العدد الكبير من البروتونات، لا يتوفَّر العدد اللازم من النيوترونات لجعل نواة اليورانيوم مستقرة. تتحوّل نوى اليورانيوم ببطء إلى نوى رصاص، مُصدِرةً طاقة تستخدم في محطات الطاقة النووية لتوليد الكهرباء.

الشكل 7-14 أكسيد اليورانيوم على سطح صخرة.

ولكي نحدِّد أن النواة غير مستقرة، علينا في الغالب معرفة عدد نيوتروناتها. نحصل على ذلك من خلال العدد الكُتلي (A) والعدد الذرّي (Z) باستخدام **المعادلة 7-1**. تُكتب قيمة كل من A و Z في ترميز نظير العنصر على الشكل ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$. يشير الرمز العلوي يسار العنصر إلى العدد الكتلي A، ويشير الرمز السفلي إلى العدد الذرّي Z. لاحظ أن البروتون يُكتب أحيانًا ${}^{1}_{1}\mathrm{p}$، لأن لديه نيكليونًا واحدًا وشحنة موجبة واحدة (Z = 1). كما أن النيوترون يُكتب ${}^{1}_{0}\mathrm{n}$، لأنه متعادل كهربائيًّا (Z = 0).

مثال 1

كم نيوترونًا في نواة نظير الكربون -14؟

المطلوب: عدد النيوترونات.

المُعطى: نظير الكربون -14.

العلاقات: المعادلة 7-1: $A = N + Z$

الحل: لنظير الكربون -14، A = 14 و Z = 6 وهو يُكتب على الصورة ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$. لحساب عدد النيوترونات N، نستخدم المعادلة A = N + Z، فنحصل على:

$$N = A - Z = (14 - 6) = 8$$

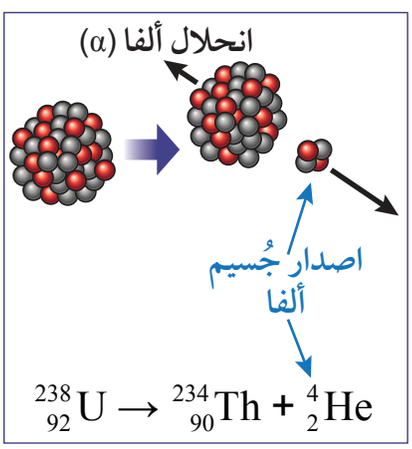
www.jnob-jo.com

الانحلال الإشعاعي

الانحلال الإشعاعي Radioactive decay عمليّة طبيعيّة تتحوَّل فيها النواة تلقائيًّا إلى نواة أخرى. يصاحب هذا التغيّر تحرّر كميّة من الطاقة. وقد أطلقت هذا المصطلح عالمة الكيمياء الفرنسيّة ماري كوري. وأصبح يُرمز إلى الأشكال الثلاثة الأكثر شيوعًا للانحلال بالأحرف الثلاثة الأولى اليونانيّة: ألفا (α) وبيتّا (β) وجاما (γ). ينتج انحلال ألفا وبيتا من إصدار الجُسيمات عن النواة. أمّا انحلال جاما، فهو تحرّر لفوتون ذي طاقة عالية. وبالتالي يغيّر انحلال ألفا وبيتا العدد الذرّي للذرَّة المُنحلّة، في حين أن انحلال جاما لا يؤدّي إلى تغيّر كهذا.

انحلال ألفا

معلوم أن جُسيم ألفا هو نواة ذرّة الهيليوم، وهو يتألّف من بروتونين ونيوترونين من دون أي إلكترونات، ويُكتب على الشكل $^{4}_{2}He$. وبالتالي تكون شحنة جُسيم ألفا في غياب الإلكترونات شحنة موجبة؛ فيختلف بذلك عن ذرَّة الهيليوم الطبيعيّة. عند حدوث **انحلال ألفا Alpha decay**، تُصدر النواة جُسيم ألفا الذي يحمل كميّة بسيطة من الطاقة الحركيّة، الناتجة من تفاعل نووي. يُظهر **الشكل 7-15** ذرَّة يورانيوم-238 تنحَل إلى ذرَّة ثوريوم-239.



الشكل 7-15 انحلال اليورانيوم.

- في انحلال α، تفقدُ النواة المُشعّة بروتونين ونيوترونين.
- ينخفض العدد الذرّي بمقدار 2.
- ينخفض العدد الكُتَلي بمقدار 4.

نلاحظ نقطتين مهمتين في تفاعل الانحلال النووي في **الشكل 7-15**، هما:

1. أنّ العدد الذرّي (Z) إلى اليسار يساوي مجموع العددين الذريين إلى اليمين، أي: 92 = 90 + 2
2. أن العدد الكُتَلي (A) إلى اليسار يساوي مجموع عددي الكتلة إلى اليمين: 238 = 234 + 4

يجب أن تكون التفاعلات النووية مُتَّزنة لكي تحافظ على كل من الشحنة والعدد الذرّي. وفي ما يأتي مثالان آخران على انحلال α هما لنظير الراديوم-224 ونظير البولونيوم-212:

$$^{224}_{88}Ra \rightarrow ^{220}_{86}Rn + ^{4}_{2}He \qquad ^{212}_{84}Po \rightarrow ^{208}_{82}Pb + ^{4}_{2}He$$

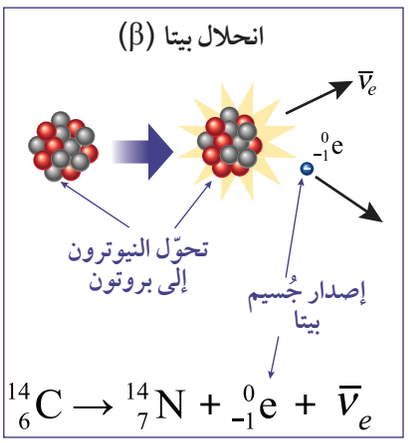
www.jnob-jo.com

انحلال بيتا (β^-)

يحدث في بعض النوى النشطة إشعاعيًّا، أن يتحول النيوترون تلقائيًّا الى بروتون وإلكترون وجُسيم آخر، يُسمّى **النيوترينو Neutrino**.

$$\underset{\text{نيوترون}}{{}^{1}_{0}n} \rightarrow \underset{\text{بروتون}}{{}^{1}_{1}p} + \underset{\text{إلكترون}}{{}^{0}_{-1}e} + \underset{\text{نيوترينو}}{{}^{0}_{0}\overline{\nu}_e}$$

يُسمّى هذا التحوُّل **انحلال بيتا Beta decay** (β). فعندما تخضع النواة لانحلال بيتا، تصدر إلكترونًا ذا طاقة. جُسيم (β^-) هو تاريخيًّا اسم الإلكترون. وقد اكتُشف كل من إشعاعي α و β وسُمّي قبل أن تُعرف ماهيته.



الشكل 7-16 الكربون -14 مثال على انحلال β.

العدد الذرّي للإلكترون هو 1- (β^-)، لأن ذلك يسمح للمعادلات النوويّة التي تشتمل على إلكترون أن تحقِّق التوازن للأعداد الذرّية. لذلك يكون الرمز النووي للإلكترون (جُسيم بيتا) هو ${}^{0}_{-1}e$.

- خلال عملية انحلال بيتا، يتحوَّل نيوترون إلى بروتون وإلكترون.
- يزداد العدد الذرّي بمقدار واحد، لأن هناك بروتونًا إضافيًّا واحدًا.
- لا يتغيَّر العدد الكُتلي، لأن مجموع أعداد البروتونات والنيوترونات لا يتغيّر.

مثال 2

يتعرّض نظير الصوديوم -24 لانحلال بيتا. ما هو النظير الناتج؟

المطلوب: النظير الجديد.

المُعطى: انحلال بيتا للصوديوم -24.

العلاقات: لانحلال بيتا، A لا تتغيّر بينما تزداد Z إلى Z + 1.

الحل:

1. العدد الذرّي للصوديوم Z = 11.
2. بعد انحلال بيتا Z = 11 + 1 = 12
3. العدد الذرّي 12 هو العدد الذرّي لعنصر الماغنيسيوم.
4. العدد الكُتَلي لا يتغيّر، لذلك يكون نظير الماغنيسيوم-24 الناتج هو ${}^{24}_{12}Mg$.

www.jnob-jo.com

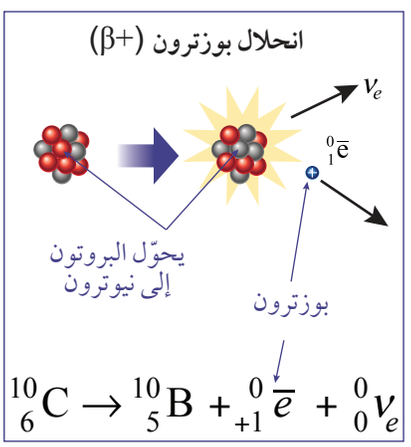
انحلال البوزترون (β+) والنيوترينو والمادّة المضادّة

لاحظ العلماء أنه في عملية انحلال بيتا، هناك مصادر أخرى للطاقة غير تلك الناتجة من الإلكترونات. طرح العالم النمساوي ولفجانج باولي عام 1930 فكرة أن هناك جُسيمًا آخر ينتج خلال عملية انحلال بيتا لا شحنة له ولا كتلة (أو كتلة قليلة جدًّا). وسمّى الفيزيائي الإيطالي إنريكو فيرمي هذا الجُسيم **بالنيوترينو Neutrino** عام 1934.

تقلّ كتلة النيوترينو 500 مرّة عن كتلة الإلكترون، وليس له أي شحنة. لذلك تكون عملية الكشف المخبري عن النيوترينو صعبة جدًّا، ولم يتم اكتشافه مخبريًّا حتى العام 1956. إلّا أن ما يزيد على 70 مليار نيوترينو تخترق كل مساحة مقدارها $1\ cm^2$ كل ثانية، بما فيها مساحة جسدك.

يُرمز إلى النيوترينو في عملية انحلال بيتا برمز النظير ${}^{0}_{0}\nu_e$ بصفرين يرمز أحدهما إلى العدد الكُتَلي ويرمز الثاني إلى العدد الذرّي. ويدل الرمز السفلي e على الإلكترون النيوترينو. وهناك ثلاثة أنواع من النيوترينو.

انحلال البوزترون



الشكل 7-17 الكربون -10 هو مثال على انحلال +β.

ينحلّ نظير الكربون -10 غير المستقر إلى البورون -10 المستقر في شكل آخر من انحلال بيتا، كما في **الشكل 7-17**. يتحوّل بروتون واحد إلى نيوترون وجُسيم مشحون موجب اسمه **البوزترون Positron**. يُرمز إلى البوزترون بـ ${}^{0}_{1}\overline{e}$ أو β^+، وهو إلكترون ذو شحنة موجبة.

البوزترون مثال على **المادة المضادة Antimatter**. للمادة المضادة شحنة معاكسة للمادة الطبيعية. يوضع خط فوق رمز المادة للدلالة على أنها مادة مضادة. وحقيقة الأمر أن النيوترينو $({}^{0}_{0}\overline{\nu}_e)$ في عملية انحلال بيتا ما هو إلّا نيوترينو مضاد.

- في انحلال بوزترون، يتحول بروتون واحد إلى نيوترون وبوزترون.
- ينخفض العدد الذرّي بمقدار 1، وذلك لفقد بروتون واحد.
- لا يتغيّر العدد الكُتلي، لأن العدد الإجمالي للبروتونات والنيوترونات يبقى كما هو.

مثالان على انحلال البوزترون (β+)

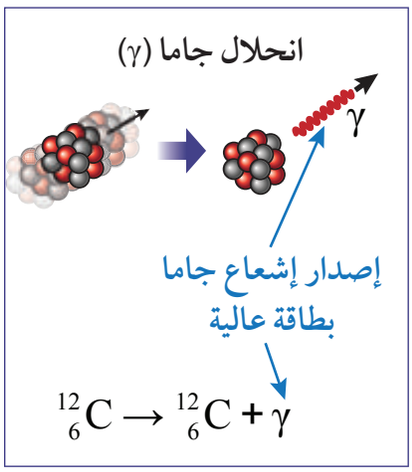
${}^{15}_{8}O \rightarrow {}^{15}_{7}N + {}^{0}_{1}\overline{e} + {}^{0}_{0}\nu_e$

${}^{22}_{11}Na \rightarrow {}^{22}_{10}Ne + {}^{0}_{1}\overline{e} + {}^{0}_{0}\nu_e$

www.jnob-jo.com

انحلال جاما

تستطيع النواة أن تُصدر إشعاع جاما، وهو فوتون بتردُّد عالٍ لإشعاعات كهرومغناطيسيّة. يُسمّى تحرّر الفوتون هذا **انحلال جاما** (γ)، **Gama decay** ، وهو مبيّن في **الشكل 7-18**. عندما تصدر النوى إشعاع جاما، تتحرّك النواة من طاقة نووية أعلى إلى طاقة نووية أدنى من دون أن يطرأ تغيُّر على العدد الذرّي أو العدد الكُتلي. فذرّة الكربون تبقى ذرّة كربون، حتى بعد أن تطلق إشعاع جاما.



الشكل 7-18 تحرّر إشعاع جاما من الكربون.

مثالان على انحلال جاما

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{238}_{92}U + \gamma$$

$$^{60}_{28}Ni \rightarrow {}^{60}_{28}Ni + \gamma$$

غالبًا ما يحدث انحلال جاما، نتيجة لبقايا الطاقة من انحلال آخر، أو من تفاعُل نووي ما. عندما تتعرَّض النواة لانحلال ألفا أو بيتا، يظهر بعض التغيُّر في طاقة الربط على شكل طاقة حركيّة للجُسيم الناتج. وتضع الطاقة المتبقيّة النواة في حالة إثارة. تنخفض الذرّة المُثارة الى حالة طاقة أقلّ، عن طريق تحرير إشعاع جاما. تقع إشعاعات جاما في منطقة الطاقة المرتفعة والتردُّد المرتفع من الطيف الكهرومغناطيسي. تمتلك إشعاعات جاما قدرة اختراق قوية جدًّا، حتى أننا نحتاج لإيقافها إلى موادّ ذات عدد ذرّي مرتفع وكثافة مرتفعة، مثل الرصاص. يُلخِّص **الجدول 7-1** خصائص أنواع الإشعاعات المذكورة.

	جُسيم ألفا	جُسيم بيتا	إشعاع جاما
الطبيعة	نواة الهيليوم	إلكترون	فوتون
الشحنة	+2e	-e	0
الكتلة	6.64×10^{-27} kg	9.1×10^{-31} kg	0
المدى (القدرة على النفاذ)	بضعة سنتيمترات في الهواء	بضعة مليمترات في معدن	عدة سنتيمترات في الرصاص

الجدول 7-1 خصائص الأنواع المختلفة للإشعاع.

قياس الإشعاع

تُستخدَم طاقة الإشعاع للكشف عن الإشعاع. فعندما يتفاعُل الإشعاع مع المادة، فإنه يودع طاقة فيها، مسبِّبًا عددًا من التغيُّرات على المستويين الذرّي والجُزيئي. تقوم أجهزة كجهاز عدّاد جيجر بالكشف عن تلك التغيُّرات. ويستخدم الجهاز عمليات إلكترونيّة لعرض النتائج على شكل فرقعة صوتيّة مسموعة (**الشكل 7-19**). تُستخدم كواشف الإشعاع للحفاظ على بيئة عمل آمنة حول مصادر الإشعاع.

الشكل 7-19 مقياس الإشعاع.

www.jnob-jo.com

كتابة المعادلات النووية

تُمثَّل التفاعُلات النووية بمعادلات تفاعُل نووي، تمامًا كما هو الأمر في التفاعُلات الكيميائيّة، حيث تمثَّل بمعادلات تفاعُل كيميائي. تمتلك كل معادلة تفاعُل نووي متفاعُلات ونواتج. لنفترض التفاعُل النووي الذي ينتج الكربون-14 في الغلاف الجوّي. في هذا التفاعُل النووي، يتفاعل النيوترون مع النيتروجين-14، لينتج الكربون-14 مع بروتون.

المتفاعلات $^{1}_{0}n + {}^{14}_{7}N \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}p$ النواتج

موازنة العدد الكُتلي:

العدد الكُتلي الكلّي للمُتفاعلات = العدد الكُتلي الكُلّي للنواتج

$1 + 14 = 14 + 1$

موازنة الشحنة:

الشحنة الكلّية للمتفاعلات = الشحنة الكلّية للنواتج

$1 + 6 = 7 + 0$

الشكل 7-20 كتابة التفاعُلات النووية.

يُظهر **الشكل 7-20** قاعدتَيْ كتابة التفاعُلات النووية.

- يجب أن يكون العدد الكتلي الكُلّي للمُتفاعُلات مساويًا للعدد الكُتلي الكلّي للنواتج.
- ويجب أن يكون عدد الشحنة الكُلّي للمُتفاعُلات مساويًا لعدد الشحنة الكلّي للنواتج.

يُظهر **الجدول 7-2** الشكل العام لتفاعُلات كلّ من انحلالات ألفا وبيتا وجاما. تظهر إلى اليسار تغيُّرات العدد الكُتَلي وعدد النيوترونات والعدد الذرّي.

نوع الانحلال	المعادلة	العدد الذرّي Z	العدد الكُتلي A	عدد النيوترونات N
α	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$	$Z \rightarrow Z-2$	$A \rightarrow A-4$	$N \rightarrow N-2$
β^-	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$	$Z \rightarrow Z+1$	لا تغيير	$N \rightarrow N-1$
β^+	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e$	$Z \rightarrow Z-1$	لا تغيير	$N \rightarrow N+1$
γ	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z}Y + {}^{0}_{0}\gamma$	لا تغيير	لا تغيير	لا تغيير

الجدول 7-2 تفاعُلات الانحلال الإشعاعي.

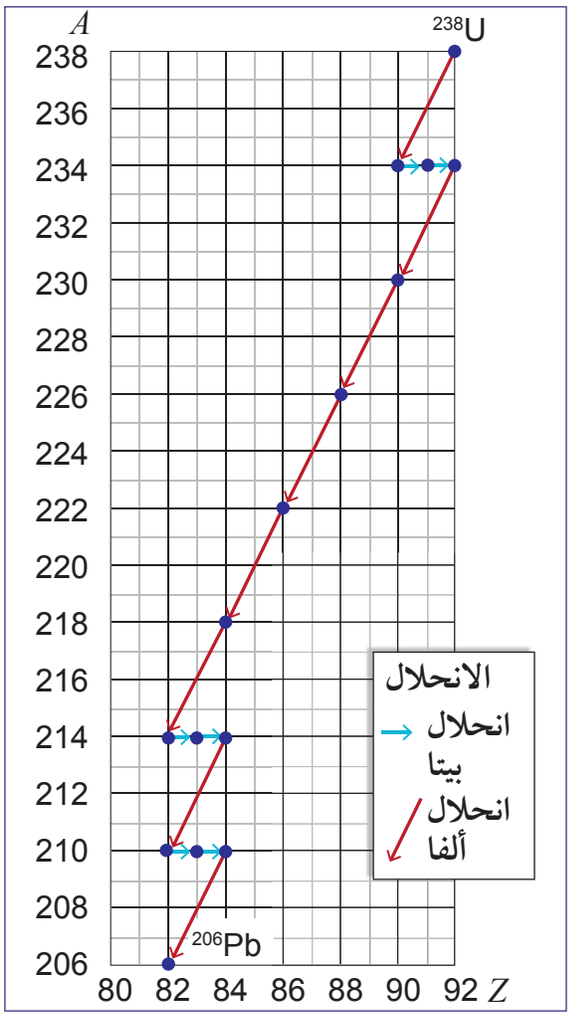
لاحظ أنّ العدد الكُتَلي لا يتغيَّر في كل من انحلاليّ بيتا وجاما.

يبقى كل من العدد الذرّي والعدد الكُتَلي وعدد النيوترونات، على حاله في انحلال جاما.

www.jnob-jo.com

سلسلة الانحلال

تُصدر النواة غير المستقرّة جُسَيمات ألفا وبيتا إلى أن تصبح تلك النواة مستقرّة. تُمثِّل **سلسلة الانحلال Decay series** مجموعة من الانحلالات النووية التي تحدث قبل أن تصبح النواة مستقرّة. يُظهر **الشكل 7-21** المسار الذي تتبّعه نواة اليورانيوم-238 خلال تحوُّلها إلى ذرّة رصاص مستقرة. لاحظ أنّ الرصاص يتشكّل ثلاث مرّات خلال العملية التي تصبح فيها النواة مستقرّة. تظلّ النواة في المرتين الأولى والثانية لتشكُّل الرصاص، غير مستقرَّة، وتكون قد تعرَّضت للمزيد من انحلال بيتا. ليس لكل النظائر النشطة إشعاعيًّا انحلالات متعدِّدة، فبعضها يتعرَّض لانحلال واحد ليصبح مستقرًّا. ^{60}Co هو نظير غير مستقرّ، وينحلّ إلى نظير آخر مستقر ^{60}Ni بخطوة واحدة.



الشكل 7-21 سلسلة انحلال اليورانيوم-238.

مثال 3

تنحلّ نواة البيزموث-210 فتُصدِر جُسيم بيتا ثمّ جُسيم ألفا. العدد الذرّي للبيزموث هو 83.

a. جد كلًّا من العدد الذرّي والعدد الكُتلي للنواة، بعد إصدار جُسَيم بيتا.

b. جد كلًّا من العدد الذرّي والعدد الكُتلي للنواة، بعد إصدار جُسَيم ألفا.

المُعطى: الكتلة الذرّيّة A = 210

العدد الذرّي Z = 83

الحل:

a. عندما يتحرَّر جُسَيم بيتا، لا تتغيَّر الكُتلة الذرّيّة؛ لكن يزداد العدد الذرّي بمقدار 1.

$$^{210}_{83}Bi \rightarrow {}^{210}_{84}X + {}^{0}_{-1}e$$

b. عندما يتحرَّر جُسَيم ألفا، تتناقص الكُتلة الذرّيّة بمقدار 4 وينقص العدد الذرّي بمقدار 2.

$$^{210}_{84}X \rightarrow {}^{206}_{82}Y + {}^{4}_{2}\alpha$$

www.jnob-jo.com

تطبيقات المواد النشطة إشعاعيًّا

تُصدر النظائر المُشعَّة إشعاعات. ويستطيع الكاشف أن يتتبَّع المسار الذي تسلكه النظائر المُشعة. يسمح إصدار الإشعاعات والكشف عنها باستخدام النظائر المُشعَّة في مختلف المجالات، بما فيها التشخيص والطب والصناعة والزراعة.

النظائر المُشعَّة في التصوير الطبّي

الشكل 7-22 ماسح PET/CT.

تُعطى المواد المُشعة للمريض عن طريق الفم، أو الحقن أو الاستنشاق. تنتقل المادة المُشعة عبر الجسم، ويتم تتبُّع المسار الذي تسلكه المادة عن طريق كاشف. تُعرف تلك المواد المُشعة بالأثر المُشع. يُصدِرُ الأثر إشعاعات جاما التي قد تخترق العظام والأنسجة، ما يُسهِّلُ الكشف عنها.

يمكن التقاط الصور عن طريق SPECT (التصوير المقطعي المُحَوْسَب بإصدار الفوتون) أو ماسح PET (التصوير المقطعي بإصدار البوزيترون). يُظهِرُ **الشكل 7-22** ماسح PET .

النظائر المُشعّة في الزراعة

تُستخدم النظائر المُشعة لقتل البكتيريا التي تسبِّب إبطاء عملية إنضاج الفواكه. ويُستخدَم الأثر الإشعاعي في الزراعة، حيث يُضاف إلى السماد ليسمح لنا بدراسة عملية امتصاص السماد في النباتات وحركته. يُصدر الأثر جُسيمات بيتا التي تمّر عبر النبات بسهولة. ويكشف عدّاد جيجر مسار تلك الجُسيمات.

النظائر المُشعّة في الصناعة

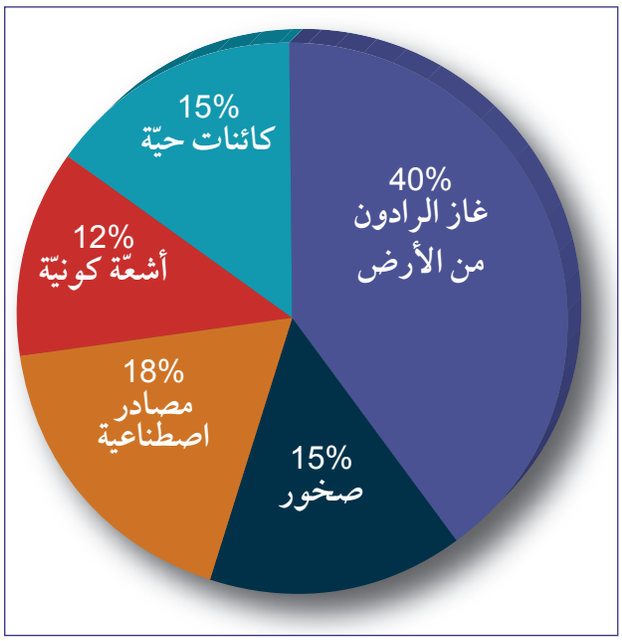
الشكل 7-23 عدّاد جيجر يكشف عن تسرُّب في الأنبوب.

توجد صناعات كثيرة تستخدم النظائر المُشعّة. فالنظير المُشعّ الذي يُصدر جُسيمات بيتا يمكن أن يُستخدم للكشف عن التسرُّبات في خطوط الماء والغاز. يُحَل الملح ويُدخل إلى الأنابيب، ثم يُستخدم عدّاد جيجر للكشف عن الإشعاع خارج الأنبوب. نحن نعلم أنّ جُسيمات بيتا تستطيع اختراق المعدن؛ فإذا كشف عدّاد جيجر العديد من الإشعاعات في مساحة ما، سنعلم أنّ هناك تسرُّبًا. (**الشكل 7-23**).

www.jnob-jo.com

الخلفية الإشعاعية

يحدث الإشعاع من حولنا تلقائيًّا. إذا استُخدم كاشف الإشعاع في الغرفة، فسوف يلتقط أثرًا لإشعاع صادر، حتى لو لم يكن هناك مصدر فعلي للإشعاع. هذا الطيف المستمر لإصدار الإشعاع من البيئة المحيطة يُسمّى الخلفية الإشعاعية. قد تكون مصادر الخلفية الإشعاعية طبيعية أو اصطناعية. يُظهر **الشكل 7-24** النسبة المئوية للخلفية الإشعاعية من مصادر مختلفة. لاحظ أنّ 82% من الخلفية الإشعاعية تأتي فعليًّا من مصادر طبيعية.



الشكل 7-24 النسبة المئويّة للخلفية الإشعاعية من مصادر مختلفة.

المصادر الطبيعية للخلفية الإشعاعية

تتشكَّل المصادر الطبيعيّة من إشعاعات كونيّة مصدرها الشمس، ومن غاز الرادون الذي تصدره الصخور والأرض، ومن الإشعاعات الصادرة عن الكائنات الحية. تُطلق الكائنات الحية كمّيات صغيرة من الإشعاعات، لأنّ النباتات تمتصّ المواد المُشعّة (مثل غاز الرادون) من الأرض. وهي تنتقل إلى الحيوانات، عندما تستهلك النباتات.

المصادر الاصطناعية للخلفية الإشعاعية

على الرغم من عدم مساهمتنا في المصادر الطبيعية التي تسبِّب الخلفية الإشعاعية، فإن البشرية مسؤولة عن المصادر الاصطناعية. تتضمَّن تلك المصادر أشعة إكس، واختبارات الأسلحة النووية، ومخلَّفات محطات الطاقة النووية.

هل الخلفية الإشعاعية مُضرّة؟

تأتي الخلفية الإشعاعية من مصادر طبيعية، نحن على تماسّ معها. لكن ما هو مقدار ضررها؟ تكون كمّية الخلفية الإشعاعية التي يتعرَّض لها الجسم، في معظم الحالات، آمنة. يزداد التعرُّض للإشعاعات الكونية بازدياد الارتفاع، لكن التعرُّض لغاز الرادون والصخور يتناقص. ويكون النشاط الإشعاعي في الطوابق الأرضية أعلى عادةً من النشاط الإشعاعي في الطوابق المرتفعة. ويمكن تقليص التعرُّض للإشعاع باستخدام دروع من الرصاص، وبزيادة المسافة عن المصدر، وحتى الحدّ من زمن التعرُّض للإشعاع. تكون الاحتياطات ضرورية فقط عندما يصنّف الموقع على أنّه منطقة مرتفعة الإشعاع.

www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 7-2

1. يتعرَّض اليورانيوم-235 لانحلال بيتا بحساب معادلة التفاعُل النووي الآتية:

$$^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{A}_{Z}?+ {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$$

ما هو العُنصر والنظير الناتج؟

2. يتعرَّض اليورانيوم-235 لانحلال إشعاعي، فينتج الثوريوم-231 وفق المعادلة الآتية:

$$^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{231}_{90}\mathrm{Th} + {}^{A}_{Z}?$$

   a. ما هو العدد الذرّي للجُسيم الصادر؟

   b. ما اسم هذا الجُسيم؟ وما نوع الانحلال؟

3. تحدث عملية انحلال من مستويين، تبدأ بالأمريسيوم-240 وتنتهي بالبلوتونيوم-236، وهي موضَّحة بأسهم على القسم المرتبط بمخطَّط النيوكلونات. أشيرَ إلى المستويين بأسهم وهُما مُعلّمان بالرمزَيْن a و b.

ما نوع كل من هذين الانحلالين؟

$$^{240}_{95}\mathrm{Am} \xrightarrow{\text{(a)}} {}^{236}_{93}\mathrm{Np} \xrightarrow{\text{(b)}} {}^{236}_{94}\mathrm{Pu}$$

4. ينحلّ البيزموث-210 بانحلال بيتا، يليه إصدار جاما. اكتب علاقة التفاعُل مع العدد الذرّي والعدد الكُتَلي للنوى الناتجة.

5. ينحلّ البلوتونيوم-239 بانحلال ألفا. اكتب معادلة هذا التفاعُل.

6. قم ببحث، واكتب حول استخدام لنظيرٍ مُشعّ لم يتمّ ذكره في الكتاب.

7. يمكن الكشف عن كميّة صغيرة من الخلفية الإشعاعية طوال الوقت، وفي كل الأماكن.

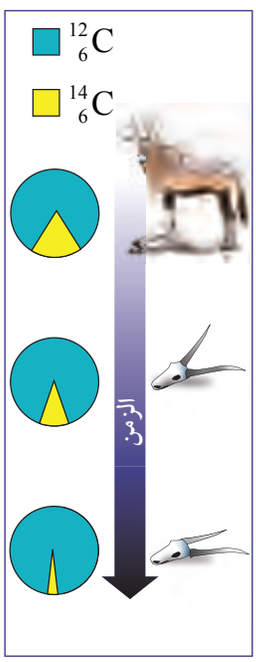
   a. أعطِ مصدرَين محدَّدين للخلفية الإشعاعية.

   b. اذكر طريقتين يمكن استخدامهما كدرع واقية من الإشعاعات المضرّة.

www.jnob-jo.com

الدرس 7-3
عمر النصف

يُستخدم تأريخ الكربون كتقنية للمقارنة بين تركيز الكربون-14 والكربون-12 داخل العيّنات البيولوجية، ومعرفة عمرها. تعتبر نواتا النظيرين المعروفين الكربون-12 والكربون-13 نواتين مُستقرَّتين، في حين أن الكربون-14 نظير مُشعّ. يتشكَّل الكربون-14 في الطبقات العليا للغلاف الجوي، عن طريق التفاعُل بين نواة النيتروجين-14 والنيوترونات القادمة من الأشعة الكونية التي تدخل الغلاف الجوي. تتبادل الكائنات الحية الكربون-14 مع البيئة المُحيطة أما نسبة وجود هذا النظير إلى النظير الكربون-12 فتبلغ $1:10^{13}$. وعندما يموت الكائن الحي، يتوقّف تبادُل الكربون الحي مع البيئة المحيطة. ينحلّ الكربون-14 في الجسم بعمر نصف يصل إلى 5730 سنة.



الشكل 7-25 تأريخ الكربون

يُزوِّدنا هذا الانحلال بساعة طبيعية تبدأ بحساب الزمن من اللحظة التي مات فيها الجسم. يُمكّننا تأريخ الكربون من قياس عمر عيّنة من ورق البردي المصري القديم والفحم المُحترِق في العصور القديمة. يمكننا أيضًا استخدام هذه التقنية لحساب عمر أي عينّة يزيد عمرها على 10 أضعاف عمر النصف، أي لغاية 57300 سنة. بعد هذه الفترة الزمنية، لا يبقى من الكربون-14 كمّية كافية لقياس الفترات الزمنية قياسًا دقيقًا.

مخرجات التّعلُّم

P1115.4 يوضح أهمية عمر النصف للنظائر المُشعّة، ويحسب النشاط الإشعاعي وعدد النوى المتبقية دون انحلال باستخدام المعادلات:

$$A = A_0 e^{-\delta t} \text{ و } N = N_0 e^{-\delta t}$$

المفردات

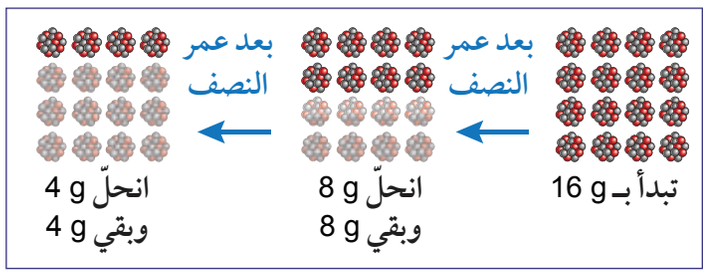
عمر النصف	Half-life
ثابت الانحلال	Decay constant
معدَّل الانحلال	Rate of decay
البيكريل	Becquerel

www.jnob-jo.com

عُمْر النصف

تنحلّ النظائر المُشعّة تلقائيًّا. ومع ذلك لا يمكن التنبُّؤ بانحلال نواة بمفردها، لأن النشاط الإشعاعي يختار النوى عشوائيًّا. ولحسن الحظ لا يتوجّب التنبُّؤ بالانحلالات كل على حدة. تحتوي عيّنة نموذجية من المادة على 10^{20}نواة. وما يهمُّنا هو معدَّل سلوك هذا العدد من النوى. لذلك نقيس الزمن المفيد، وهو الذي يستغرقه انحلال 50% من تلك النوى؛ هذا الوقت يُسمّى **عمر النصف Half-life**.

يوضِّح **الشكل 7-26** مفهوم عمر النصف. إذا بدأنا بعيّنة كتلتها 16 g، يبقى منها50% بعد عمر النصف، أي 8 g. وخلال فترة عمر النصف الثانية ينحلّ 50% من المتبقّي، ويبقى 4 g فقط.



الشكل 7-26 عمر النصف.

يكون عمر النصف لبعض النظائر المُشعّة قصيرًا جدًّا، في حين أن عمر النصف لبعضها الآخر قد يصل إلى مليارات السنين (**الجدول 7-3**).

يكون عمر النصف قصيرًا إذا كانت القوّة النووية داخل النواة ضعيفة، وطويلًا إذا كانت القوة النووية قوية.

يبلغ عمر النصف لليورانيوم-238 كما نرى 4.5 مليارات سنة، أي أنه موجود حولنا منذ نشوء النظام الشمسي.أما الفلور-18 الذي يُستخدَم في انبعاث البوزترون في التصوير الشعاعي المقطعي (PET)، فعمر النصف له حوالي 110 دقيقة، ولهذا لا يتوفّر بشكل طبيعي.

النظير	عمر النصف
$^{238}_{92}U$	4.5×10^{9} سنة
$^{14}_{6}C$	5,730 سنة
$^{137}_{55}Cs$	30.2 سنة
$^{131}_{953}I$	8.05 أيام
$^{220}_{86}Rn$	55.6 ثانية

الجدول 7- 3 عمر النصف.

مثال 4

كم سنة تلزم كمّية من السيزيوم-137 لكي تنحلّ، وتصل إلى 1/16 من الكمّية الأصلية؟

السؤال: عدد السنوات

المعطيات: عمر النصف لنظير السيزيوم-137 هو 30.2 سنة (من الجدول 7 -3)

العلاقة: نصف الكمّية تنحل بعد مرور فترة عمر النصف

الحل:

$$1 \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{2} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{4} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{8} \xrightarrow{t_{1/2}} \frac{1}{16}$$

أي تأخذ أربعة أمثال عمر النصف، حتى تصل إلى1/16من القيمة الأصلية.

www.jnob-jo.com

نشاط 7-3 التحقُّق من عُمْر النصف

سؤال الاستقصاء	تحقَّق من عُمْر النصف باستخدام نقود معدنية.
الموادّ المطلوبة	نقود معدنية (20 قطعة لكل مجموعة)، وعاء صغير، صينية.

خطوات التجربة

1. اعتبر قطع النقود المعدنية هي الذرّات، وضعْها في وعاء.
2. لنفرض أن جهة الكتابة هي الذرّات التي تمّ انحلالها. اخلط النقود في الوعاء، ثم انثرها على الصينية.
3. أحصِ عدد النقود التي تُظهر جهة الكتابة، ثم دوِّن العدد في جدول. أبعد تلك النقود عن الصينية.
4. أعد النقود المتبقّية في الصينية إلى الوعاء واخلطها جيّدًا، ثم انثرها مرّة أخرى على الصينية. أحصِ عدد النقود التي تظهر جهة الكتابة ودَوّن العدد في الجدول، ثم أبعد تلك النقود عن الصينية.
5. أعد الخطوتين 3 و 4 حتى لا يبقى أي نقود.
6. أنشئ رسمًا بيانيًّا لعدد قطع النقود غير المنحلّة على المحور y، وعدد الإعادات (عمر النصف) على المحور X.

الشكل 7-27 قطع نقود معدنية.

الجدول

عدد المرّات (عُمر النصف)	عدد الذرّات غير المنحلّة
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

أسئلة

a. اشرح لماذا لم «ينحل» نصف عدد النقود بالضبط في أية عملية نثر.

b. إذا استخدمنا عشرة أمثال عدد النقود، فهل تعتقد أن الجزء الذي انحلّ باتجاه الكتابة في أي عملية نثر سيكون أقرب إلى 50%. علّل إجابتك.

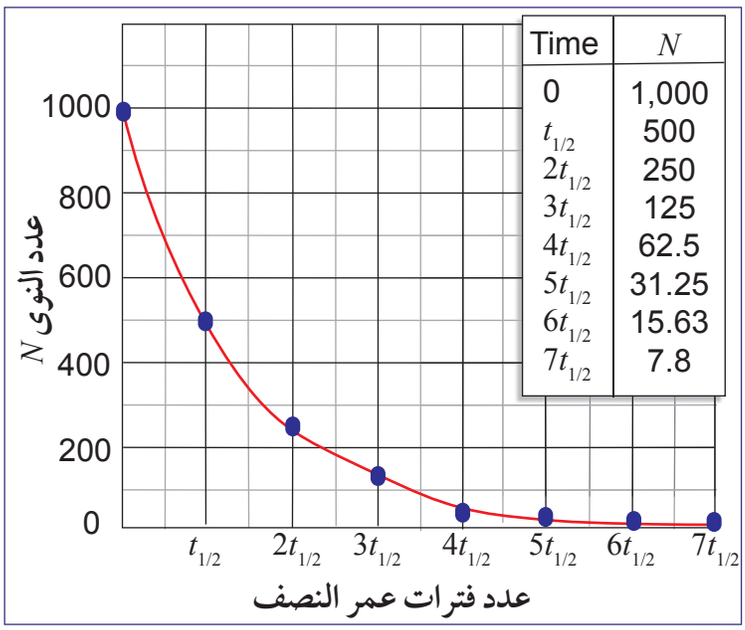
c. اشرح لماذا يستحيل توقّع انحلال ذرّة معيَّنة ولكن يمكن توقُّع انحلال جزء من عيّنة حتى لو كانت كتلتها صغيرة جدًا 0.001 g.

افترض أن جرامًا واحدًا من عنصر مشعّ كالراديوم يحتوي على 2.7×10^{21} ذرّة.

www.jnob-jo.com

حساب الانحلال النووي

ينخفض عدد ذرّات/ نوى النظائر المُشعّة إلى النصف بعد مرور عمر النصف. يوضِّح الرسم البياني في **الشكل 7-28** انحلال 1000 نواة من النظائر المُشعّة، مقابل فترات عمر النصف. يحدث الانحلال الإشعاعي بشكل أُسّي. ويعتمد مُعدَّل هذا الانحلال، أي عدد النوى التي تنحلّ في وحدة الزمن، على عدد فترات عمر النصف المنقضية (n). إذا كان العدد الأصلي للنوى المُشعّة (N_o)، فإن عدد النوى المشعّة المتبقّية (N) بعد عدة فترات (n) من عُمر النصف يُعطى **بالمعادلة 7-2**.



الشكل 7-28 الانحلال الإشعاعي.

2-7 معدل الانحلال

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

N	عدد النوى المشعة المتبقّية
N_O	العدد الأصلي للنوى المشعّة
n	عدد فترات عمر النصف

مثال 5

نظير مُشعّ يحتوي على 128 ذرّة، احسب عدد فترات عمر النصف التي يحتاج إليها هذا النظير لكي تبقى منه ذرّتان غير منحلتين فقط.

السؤال: عدد فترات عمر النصف n

المعطيات: العدد الابتدائي للذرّات $N_o = 128$ عدد الذرّات المتبقّية $N = 2$

العلاقة: $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n$

الحل: نستخدم معادلة الانحلال

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow 2 = 128 \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

$$0.016 = \left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow \ln(0.016) = n \ln\left(\frac{1}{2}\right)$$

$$n = \frac{-4.14}{-0.69} = \boxed{6 \text{ فترات عُمر نصف}}$$

www.jnob-jo.com

ثابت الانحلال الإشعاعي

تعتمد عملية الانحلال الإشعاعي على الاحتمال. هناك احتمال 50% لنواة مُشعّة أن تنحلّ خلال فترة زمنية تساوي عمر النصف. ويمثّل **ثابت الانحلال Decay constant** λ مقياسًا لاحتمال انحلال النوى المُشعّة خلال فترة عمر النصف. إذا كان عمر النصف لنظير مُشعّ قصيرًا، فإن ثابت الانحلال يكون كبيرًا. لكن إذا كان عمر النصف طويلًا، فإن ثابت الانحلال يكون صغيرًا. وإذا كان عمر النصف $t_{1/2}$ فإن ثابت الانحلال يُحسب من **المعادلة 7-3**.

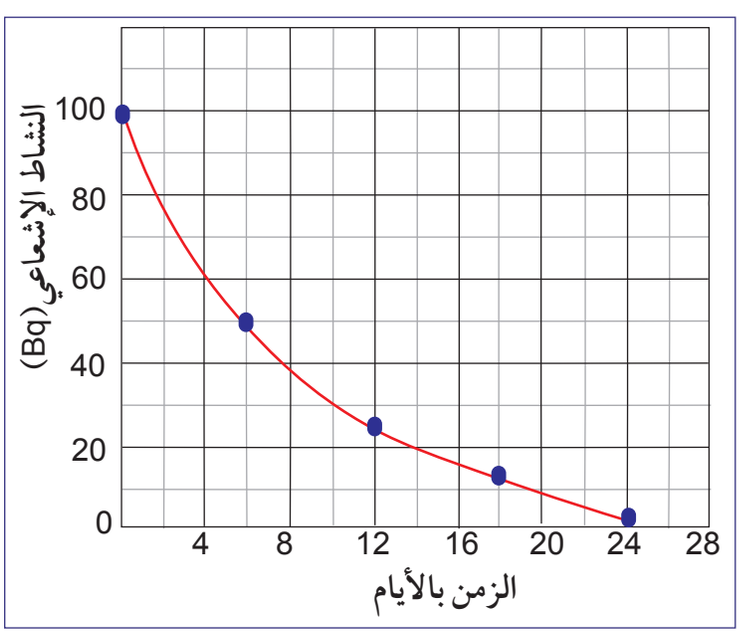
3-7	ثابت الانحلال		
	$\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$	λ	ثابت الانحلال (1/s)
		$\ln(2)$	0.693
		$t_{1/2}$	عمر النصف (s)

إذا كان كل من ثابت الانحلال λ والزمن المستغرق t معروفًا، فإن عدد النوى المتبقّية من دون انحلال يُعطى **بالمعادلة 7-4**.

4-7	معدَّل الانحلال		
	$N = N_0 e^{-\lambda t}$	N	عدد النوى أو النشاط الإشعاعي
		N_0	العدد الأصلي للنوى أو النشاط الاشعاعي الابتدائي
		λ	ثابت الانحلال (1/s)
		t	الزمن المُستغرَق (s)

مُعدَّل الانحلال

إذا كان المصدر مُشعًّا بشكل نشط، يكون مُعدَّل انحلاله مرتفعًا. **معدَّل الانحلال Rate of decay** هو عدد النوى التي تنحلّ بالنسبة إلى الزمن، وغالبًا ما يُسمّى بالنشاط الإشعاعي للنظير المُشعّ. وحدة قياس النشاط الإشعاعي هي البيكريل (Bq). وتعرف بأنها انحلال واحد خلال ثانية واحدة. قد يكون من الصعب حساب عدد النوى المتبقّية الموجودة في عيّنة من المادة. ولذلك من الأسهل إيجاد عدد النوى المُنحلَّة خلال ثانية. ينقص مقدار النشاط الإشعاعي إلى النصف خلال فترة عمر النصف. يوضِّح **الشكل 7-29** تناقص النشاط الإشعاعي لنظير مُشعّ بالنسبة إلى الزمن. ينقص النشاط الإشعاعي إلى النصف خلال 6 أيام، ما يعني أن عمر النصف لهذا النظير هو 6 أيام.

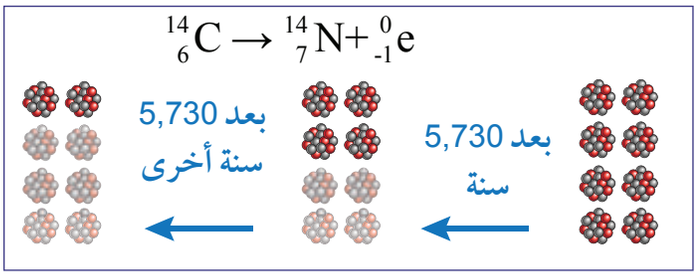


الشكل 7-29 النشاط الإشعاعي لنظير مُشعّ بدلالة الزمن.

www.jnob-jo.com

عمر النصف لنظير الكربون -14

خلال فترة عمر النصف تنقص كمّية النوى المُشعّة إلى النصف.تنقص كمّية نظير الكربون-14 الموجود في عيّنة إلى النصف خلال 5730 سنة. ينحلّ الكربون-14، ويتحوّل إلى نيتروجين-14 عندما يطلق جُسَيم بيتا، كما في (**الشكل 7-30**).



الشكل 7-30 انحلال الكربون-14 إلى النيتروجين-14.

مثال 6

عيّنة سرخس قديمة تحتوي على 1/8 ذرّات الكربون-14 لكل جرام، بالمقارنة مع الكائن الحي.

a. احسب ثابت الانحلال للكربون-14

b. كم يبلغ عُمر تلك العيّنة.

السؤال:

a. احسب ثابت الانحلال λ

b. الزمن المُستغرَق t منذ بدء الانحلال

المعطيات:

عدد النوى المتبقّية بالنسبة إلى النوى الابتدائية $\frac{N}{N_0} = 1/8$

عمر النصف للكربون-14 هو (سنة 5730 = $t_{1/2}$)

العلاقة:

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

الحل:

a. نحسُب ثابت الانحلال أوّلًا

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{5,730} = \boxed{1.2\times10^{-4} \text{ سنة}}$$

b. لحساب الزمن المنقضي، نستخدم المعادلة 4.7

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{1}{8} = 1e^{-(1.2\times10^{-4})t}$$

$$\ln\left(\frac{1}{8}\right) = \ln(e^{-(1.2\times10^{-4})t})$$

$$-2.08 = -1.2\times10^{-4} t$$

$$t = \boxed{17,333 \text{ سنة}}$$

www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 7-3

1. يبلغ عمر النصف للسيزيوم-137 ثلاثين سنة، والأيودين-131 ثمانية أيام. كلاهما انبعثا من مُفاعِل شيرنوبل عندما انفجر عام 1986. أي من هذين النظيرين المُشعَّين لا يزال موجودًا في البيئة بكمّيات كبيرة؟

2. لديك 1280 ذرّة من نظير غير مستقّر. كم عدد فترات عمر النصف يلزم هذا النظير لكي يبقى لديك 10 ذرّات أو أقلّ؟

3. صخرة عمرها 3 مليارات سنة، تحتوي فقط على نظير اليورانيوم-238. يُتوَقَّع أن بعضًا من نظير اليورانيوم-238 لا يزال موجودًا فيها.وعندما حلّلناها وجدنا فيها أيضًا نظيرالراديوم-226 ونظير الرادوم-222 ونظير البولونيوم-210. علِّل وجود هذه النظائر في الصخرة، بالإضافة إلى اليورانيوم-238.

4. هل يتناقص عدد النوى المُشعّة في مادة إلى نصف كمّية النوى الابتدائية تحديدًا خلال فترة عمر نصف واحدة؟ علِّل إجابتك.

5. قطعة فحم قديمة ناجمة عن احتراق غابة منذ زمن بعيد. إذا كانت العيّنة تحتوي على أقل من 1/1000 من كمية الكربون-14 الطبيعية، احسب:
   a. ثابت الانحلال
   b. عمر تلك القطعة.

6. نظير مُشعّ عمر النصف له يساوي دقيقتين، وُجد منه في بداية التجربة 30mg. احسب الكمّية المتبقية بعد 18 دقيقة.

7. نظير مُشعّ عمر النصف له يساوي 20 دقيقة، وهو يحتوي على 1024 ذرّة ابتدائية. ما الزمن اللازم لهذا النظير كي يبقى منه 128 ذرّة؟

8. النشاط الإشعاعي لنظير هو 80 انحلالًا في كل دقيقة. احسب عمر النصف إذا تدنّى النشاط الإشعاعي إلى 5 انحلالات في دقيقة، بعد مرور 4 ساعات.

9. النشاط الإشعاعي لنظير هو 4600Bq. احسب عمر النصف، إذا أصبح النشاط 800Bq خلال 36 دقيقة.

www.jnob-jo.com

الدرس 7-4
التفاعُلات النووية

تنشأ تفاعُلات الاندماج في الشمس بواسطة الطاقة المضغوطة المتوفرة في قلب النجم الكثيف جدًّا. عَمِلَ العُلماء والمهندسون منذ العام 1950 على تصميم مُفاعِل يجعل إنتاج طاقة الاندماج النووي الخاضعة للتحكُّم والسيطرة ممكنًا على الأرض. يتطلّب ذلك درجات حرارة تصل إلى 400 مليون كلفن، وهي درجات يمكن الحصول عليها في المختبر. يتمثَّل التحدي الحالي في حصر الغاز الساخن المتأيِّن لفترة كافية لتستمر تفاعُلات الاندماج النووي، وتولّد طاقة كافية وقابلة للاستخدام.

تُستخدَم في تصميم مُفاعِل توكاماك مجالات مغناطيسية قوية لحصر الغاز الساخن في حجرة على شكل كعكة دائرية. بالمقابل، يُطلِق تصميم الحصر الداخلي للغاز كريات صغيرة من الوقود بأشعّة ليزر قوية، ليتولّد منها العديد من الانفجارات الهيدروجينية النووية الحرارية الصغيرة. ستُظهر الأبحاث المستقبلية والتطوير إن كانت طريقة مُفاعِل توكاماك، أو الحصر الداخلي للغاز، طريقة عملية من أجل بناء مُفاعِل اندماج نووي على نطاق واسع تجاريًّا.

الشكل 7-31 مُفاعِل الاندماج النووي توكاماك.

مخرجات التّعلُّم

P1116.1 يوضح عملية الانشطار النووي وعملية الاندماج النووي، ويصف كيف تتكوّن العناصر الثقيلة في النجوم القديمة بسبب الاندماج النووي.

P1116.2 يصف تكافؤ المادة والطاقة، ويستخدم المعادلة $E = mc^2$ في حل المسائل الحسابية.

P1116.3 يناقش القضايا ذات الأهمية الاجتماعية والسياسية والبيئية المتعلقة باستخدام الانشطار النووي.

المفردات

Mass-energy equivalence	تكافوء الكتلة–الطاقة
Rest energy	الطاقة السكونية
Atomic mass unit	وحدة كتلة ذرّية
Electron volt	إلكترون فولت
Binding energy	طاقة الربط
Mass defect	نقص الكتلة
Nuclear reaction	التفاعُل النووي
Nuclear fission	الانشطار النووي
Chain reaction	التفاعُل التسلسلي
Nuclear energy	الطاقة النووية
Nuclear fusion	الاندماج النووي

www.jnob-jo.com

تكافُؤ الكتلة–الطاقة

لا شكَّ أن معظم الناس على دراية بمعادلة أينشتاين التي توضّح العلاقة بين الكتلة والطاقة، أو نظرية أينشتاين في النسبية. ومع ذلك، فإن عددًا قليلًا جدًّا منهم يعرفون ما تعنيه. تتعلّق هذه المعادلة بالطاقة والكتلة وسرعة الضوء، وهي عبارة موجزة لمفهوم قوي يتلخَّص في أن الطاقة والكتلة قابلتان للتبادُل. تصف **المعادلة 7-5** مقدار الكتلة المرتبطة بكمّية مُعيَّنة من الطاقة. وتصف أيضًا مقدار الطاقة اللازمة لإنتاج مقدار معيَّن من الكتلة، تلك العلاقة هي تكافؤ **الكتلة–الطاقة Mass-energy equivalence**.

5-7	تكافوء الكتلة – الطاقة	E	الطاقة (J)
	$E = mc^2$	m	الكتلة (kg)
		c	سرعة الضوء = 3×10^8 m/s

تربط معادلة أينشتاين الطاقة بكتلة الجسم الساكن. وهذا يعني أن كلّ المواد لديها طاقة وإن لم يكن لها طاقة حركية، أو طاقة وضع، أو طاقة حرارية، أو أي نوع آخر من الطاقة. تُسمّى تلك الطاقة **طاقة السكون Rest energy**، وهي موجودة في المادة نفسها، سواء أكانت المادة ساكنة أم مُتحرِّكة، فالمادة هي طاقة، والطاقة هي مادة.

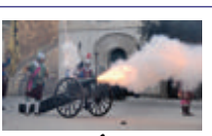
الطاقة المُخزَّنة في النواة

العامل c^2 هو رقم هائل يبلغ $c^2 = 9 \times 10^{16}$ m^2/s^2. تحتوي المادة على كمّيات هائلة من الطاقة السكونية تُحسَب من خلال معادلة الكتلة–طاقة. تحوِّل التفاعُلات النووية بعض الطاقة السكونية إلى أشكال أخرى من الطاقة مثل الحرارة. فعندما يتفاعل كيلوجرام واحد من اليورانيوم في محطّة طاقة نووية، يتحوَّل حوالي 0.7% من كتلته إلى طاقة. هذا الكسر الصغير من الطاقة أكبر بمليون مرة من الطاقة الناجمة من حرق كيلوجرام واحد من الفحم الحجري أو النفط.

يُقارِن **الشكل 7-32** بين أنواع مختلفة من الطاقة لأجسام ثلاثة كتلة كل منها 1 kg. فالثقل يمتلك 9.8 J من طاقة الوضع بسبب موقعه. وتمتلك طلقة المدفع المقذوفة 5×10^3 J من الطاقة بسبب سرعتها، في حين تمتلك المادة النووية 9×10^{16} J من الطاقة السكونية.

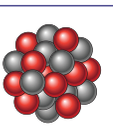
ثقل كُتلته 1 kg مرفوع إلى علوّ 1 m

$E_p = 9.8$ J



قنبلة مدفع كُتلتها 1 kg مقذوفة بسرعة 100 m/s

$E_k = 5 \times 10^3$ J



مادة نووية كُتلتها 1 kg

$E_n = 9 \times 10^{16}$ J

الشكل 7-32 أنواع مختلفة من الطاقة.

تبدو كمّية الطاقة السكونية كبيرة جدًّا لدى مقارنتها بأنواع الطاقة الأخرى. وقد وضّح أينشتاين أن الإشعاع النووي هو مثال على تلك الطاقة، وهو ناتج عن تفكُّك المادّة الذي يؤدّي إلى تحرير تلك الطاقة. وتكون كمّية المادة المُفكَّكة صغيرة جدًّا بحيث يصعب قياسها. يعدّ تحوّل المادة إلى طاقة مصدر طاقة الشمس.

www.jnob-jo.com

تحوّل الكتلة والطاقة

تبدو قيمة c^2 في **المعادلة 7-5** كبيرة جدًّا، ذلك أن:

a. تحويل كمّية صغيرة جدًّا من الكتلة إلى طاقة ينتج كمّية هائلة من الطاقة.

b. نقص الكتلة الناتج من كميات قليلة من الطاقة، يكون قليل جدا بحيث يصعب قياسه.

افترض تفاعلًا كيميائيًّا يحترق فيه الميثين مع الأكسجين لينتج ثاني أكسيد الكربون وماء. ينتج عن 1 g من الميثين والأكسجين 10,032 J من الطاقة، وهي كمّية كبيرة في حساب الكيمياء. لكن إذا حَوّلنا هذه الكمية من الطاقة إلى كتلة، نحصل على 10^{-10} g فقط، وهي كمية صغيرة جدًّا يصعب قياسها.

$$E = mc^2 \quad \rightarrow \quad m = \frac{E}{c^2} = \frac{10{,}032\ \text{J}}{9\times10^{16}\ \text{m}^2/\text{s}^2} \qquad 1.1\times10^{-13}\ \text{kg} = (1.1\times10^{-10}\ \text{g})$$

تكون كتلة النواتج أقلّ من كتلة المتفاعلات، لكنّ هذا الفرق صغير جدًّا إلى درجة يمكننا معها اعتبار الكتلة محفوظة في التفاعلات الكيميائية.

معادلات المادَّة المُضادَّة

عندما تتَّصل المادَّة المُضادَّة بالمادَّة العادية، تتحوّل الكتلة إلى طاقة بنسبة 100 %. يُسمّى تفاعل المادَّة المُضادَّة مع المادَّة العادية **بالإلغاء Annihilaion**. إذا دُمجت 0.5 g من المادّة المُضادّة مع 0.5 g من المادة العادية، فكم يكون مقدار الطاقة الناتجة؟

$$E = mc^2 = (0.001\ \text{kg})\left(9\times10^{16}\ \text{m}^2/\text{s}^2\right) = 9\times10^{13}\ \text{J}$$

الطاقة الناتجة عن تفاعل 1 g من المادّة المُضادّة مع 1 g من المادّة العادية تساوي 9 مليارات مرّة من الطاقة الناتجة عن حرق 1 g من الميثين مع 1 g من الأكسجين.

مثال 7

يُنتِج 1 g من البنزين كمية 44,000 J من الطاقة عند حرقه. ما مقدار المادة اللازمة لتحرير كمّية الطاقة نفسها في تفاعل نسبته 100 %؟

المطلوب: المادة اللازمة لإنتاج 44,000 J من الطاقة، إذا كان التحوّل بنسبة 100 %

المُعطى: $E = 44{,}000\ \text{J}$

العلاقات: $E = mc^2$، سرعة الضوء $c = 3\times10^8\ \text{m/s}$.

الحل:

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{44{,}000\ \text{J}}{9\times10^{16}\ \text{m}^2/\text{s}^2} = 4.9\times10^{-13} = 4.9\times10^{-10}\ \text{g}$$

www.jnob-jo.com

وحدة الكتلة الذرّية

معلوم أن كتلة البروتونات والنيوترونات صغيرة جدًّا إلـى درجة أن علماء الطاقة النووية يستخدمون غالبًا وحدة الكتلة الذرّية. تُعرّف وحدة **الكتلة الذرّية Atomic mass unit (amu)** بواحد من إثني عشر (1/12) من كتلة ذرّة الكربون–12. وبالتالي فإن الكتلة الذرّية للكربون–12 هي تحديدًا 12 amu.

وحدة كتلة ذرّية (amu) = 1.661×10^{-27} kg.

تبلغ كتلة البروتون 1.6726×10^{-27} kg (أكبر قليلًا من 1 amu). لذلك يمكننا القول إن وحدة كتلة البروتون تعادل 1.0073 amu؛ وبالمثل تبلغ كتلة النيوترون 1.6749×10^{-27} kg. لذلك تعادل كتلة النيوترون الواحد 1.0087 amu.

الطاقة السكونية في 1 amu

يمكن حساب الطاقة السكونية المكافئة لـ 1 amu باستخدام علاقة أينشتاين

$$E = mc^2 = \left(1.661 \times 10^{-27}\right) \times \left(3 \times 10^8\right)^2 = 1.49 \times 10^{-10}\,\text{J}$$

يمكن أيضًا التعبير عن تلك الطاقة الساكنة بـ**الإلكترون الفولت Electron volt (eV)**، وهو مقدار الطاقة المكتسبة بواسطة إلكترون يتحرَّك عبر فرق جهد مقداره فولت واحد، أي: $1\ \text{eV} = 1.602 \times 10^{-19}$ J. يعني ذلك أن كمّية الطاقة السكونية لـ 1 amu بوحدة الإلكترون فولت هي:

$$E = 1\ \text{eV} \times \frac{1.49 \times 10^{-10}\ \text{J}}{1.602 \times 10^{-19}\ \text{J}} = 9.315 \times 10^8\,\text{eV}$$

لذلك تكون كمّية الطاقة السكونية لكتلة تساوي 1 amu هي 9.315×10^8 eV أو 931.5 MeV.

مثال 8

تبلغ كتلة كل من النيوترون والبروتون $m_n = 1.675 \times 10^{-27}$ kg و $m_p = 1.673 \times 10^{-27}$ kg على التوالي. ما الفرق في الطاقة السكونية بين النيوترون والبروتون؟

المطلوب: الفرق في الطاقة السكونية

المعطى: كتلة النيوترون $m_n = 1.675 \times 10^{-27}$ kg

كتلة البروتون $m_p = (1.673) \times 10^{-27}$ kg

العلاقات: $E = mc^2$ وسرعة الضوء $c = 3 \times 10^8$ m/s

الحل: الفرق في طاقة السكون للجُسَيْمَيْن هو الفرق بين كتلتَيْهما مضروبًا في c^2:

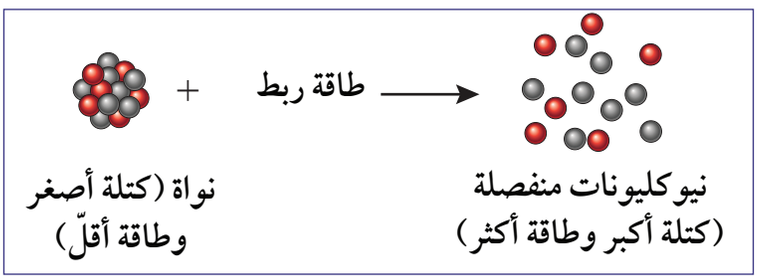
$$\Delta E = (\Delta m)c^2 = (1.675 - 1.673)\left(\times 10^{-27}\right) \times \left(3 \times 10^8\right)^2 = 1.8 \times 10^{-13}\,\text{J}$$

www.jnob-jo.com

طاقة الربط النووية

تُسمّى الطاقة E_b، التي يجب تزويد النواة بها لفصل مُكوِّناتها إلى بروتونات ونيوترونات، **طاقة الربط Binding energy**. تختلف كمّية طاقة الربط باختلاف العناصر وباختلاف النظائر. فعلى سبيل المثال، تختلف طاقة الربط اللازمة لتشكيل أربع نوىً من الهيليوم-4 (في كل منها نيوترونان وبروتونان) عن طاقة الربط اللازمة لجمع العدد نفسه من تلك الجُسيمات (8 نيوترونات و 8 بروتونات) في نواة واحدة من الأكسيجن-16. فالفرق في طاقة الربط بين النظائر يوفِّر الطاقة اللازمة للتفاعُلات النووية.

عندما تندمج نيوكليونات حُرّة (أي بروتونات أو نيوترونات) معًا لتُشكّل نواة، تتحرَّر طاقة ربط. يعني ذلك أن للنواة طاقة سكونية أقلّ؛ وبالتالي كتلة أقلّ من مجموع كُتل الجُسيمات المنفصلة التي تكوّنت منها. يطلق على الفرق في الكتلة اسم **نقص الكتلة Mass defect**. يساوي نقص الكتلة تحديدًا طاقة الربط المطلوبة للإبقاء على النواة مُجمّعة. ترتبط طاقة الربط وفرق الكتلة من خلال معادلة أينشتاين لتكافؤ الكتلة والطاقة. يوضِّح **الشكل 7-32** كيف يكون للنواة المدمجة كتلة أصغر؛ وبالتالي طاقة أقل. ويؤدّي تزويدها بطاقة تساوي طاقة الربط إلى فصل مُكوِّنات النواة. يشكِّل مجموع كتل هذه النيوكليونات الفردية كتلة أكبر من النواة، وبالتالي طاقة أكثر.



الشكل 7-33 نقص الكتلة.

للنواة طاقة سكونية أقلّ وكتلة أصغر من النيوترونات والبروتونات المنفردة.

نواة الهيليوم-4

عند النظر في حالة نواة الهيليوم-4 التي تحتوي على بروتونين ونيوترونين، نجد أنّ كتلة كل من البروتونات والنيوترونات الفردية تبلغ 4.0319 amu. فكل بروتون له كتلة 1.0073 amu، وكل نيوترون له كتلة 1.0087 amu.

البروتونان: $m_{2p} = 2\times(1.6726\times10^{-27}\ \text{kg}) = 2\times1.0073\ \text{amu} = 2.0146\ \text{amu}$

النيوترونان: $m_{2n} = 2\times(1.6749\times10^{-27}\ \text{kg}) = 2\times1.0087\ \text{amu} = 2.0174\ \text{amu}$

مجموع كتلة النيوكليونات: $m_{2p} + m_{2n} = 4.0320\ \text{amu}$.

لكنَّ الكتلة المعروفة لنواة الهيليوم-4 هي 4.0015 amu. وهذا أصغر من مجموع كتلة كل من البروتونين والنيوترونين الفردية بمقدار 0.0305 amu. يُمثِّل الفرق في الكتلة الذي يبلغ 0.0305 amu نقص الكتلة للهيليوم-4، ويساوي 28.3 MeV بوحدات الطاقة. ويمكن حساب هذا بضرب نقص الكتلة في 931.5 MeV.

$$E_b = (0.0305\text{amu}) \times (931.5\text{MeV/amu}) = 28.411\ \text{MeV}$$

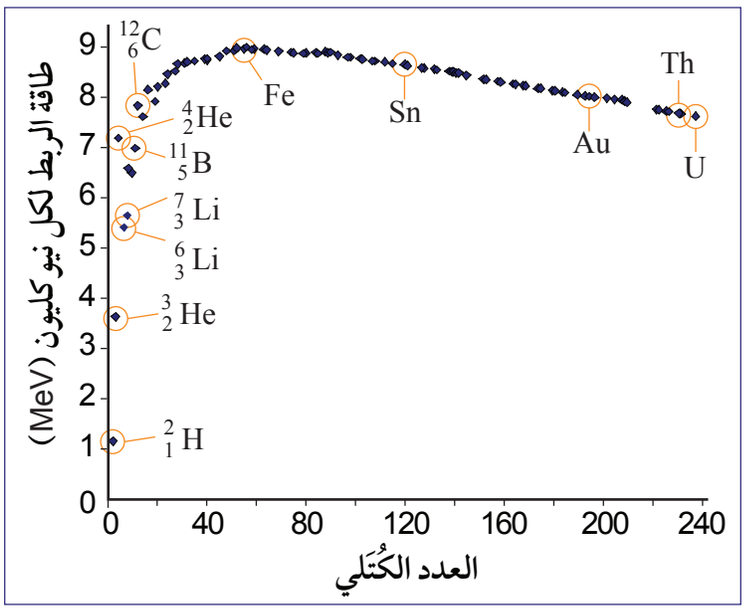
www.jnob-jo.com

طاقة الربط لكل نيوكليون

تعدّ طاقة الربط لكل نيوكليون كمّية مفيدة في الفيزياء النووية، وهي طاقة الربط E_b مقسومة على عدد النيوكليونات A. ففي الهيليوم-4 تكون طاقة الربط لكل نيوكليون (E_b/A) وتساوي:

$7.10275\ \text{MeV} = 4 / (28.411\ \text{MeV})$.

يوضّح **الشكل 7-34** أن طاقة الربط لكل نيوكليون تزداد بازدياد العدد الكُتَلي الذرّي، حتى تصل إلى عنصر الحديد 56-Fe. بعد ذلك تقلّ طاقة ربط النيوكليون ببطء بزيادة العدد الكُتَلي الذرّي للعناصر الأثقل من الحديد. يعكس شكل الرسم البياني لطاقة الربط توازنًا بين التنافُر في القوة الكهربائية (بين البروتونات) والتجاذُب في القوة القوية (بين النيوكليونات).



الشكل 7-34 طاقة الربط للنيوكليون.

ماذا يُمثِّل الرسم البياني لطاقة الربط؟

يعكس الرسم البياني لطاقة الربط الخاصة بكل نيوكليون مصدر الطاقة النهائي للكون الذي نعيش فيه. تُحرِّر النجوم الطاقة النووية بواسطة اندماج نوى العناصر الخفيفة؛ وذلك بالانتقال من اليسار إلى اليمين في الرسم البياني أعلاه، أيّ من الهيدروجين نحو الحديد. أما المُفاعِلات النووية، فتُحرِّر الطاقة بواسطة انشطار الذرّات الثقيلة بالانتقال من اليمين إلى اليسار، أيّ من اليورانيوم نحو الحديد.

مثال 9

احسب طاقة الربط لنواة الكربون-12، إذا كانت كتلة النواة 11.997 amu .

المطلوب: طاقة ربط النواة E_b.

المعطى: كتلة نواة الكربون-12، $m = 11.997\ \text{amu}$

الحل: طاقة الربط للنواة هي نقص الكتلة نفسه. تحتوي نواة الكربون – 12 على 6 بروتونات و 6 نيوترونات. كتلة 6 بروتونات و6 نيوترونات هي:

$$m_{6p} + m_{6n} = (6 \times 1.0073) + (6 \times 1.0087) = 12.096$$

الفرق بين الكتلتين هو: $12.096 - 11.997 = 0.099\ \text{amu}$

وبالتالي فإن طاقة الربط هي: $0.099 \times 931.5 = 92.22\ \text{MeV}$

www.jnob-jo.com

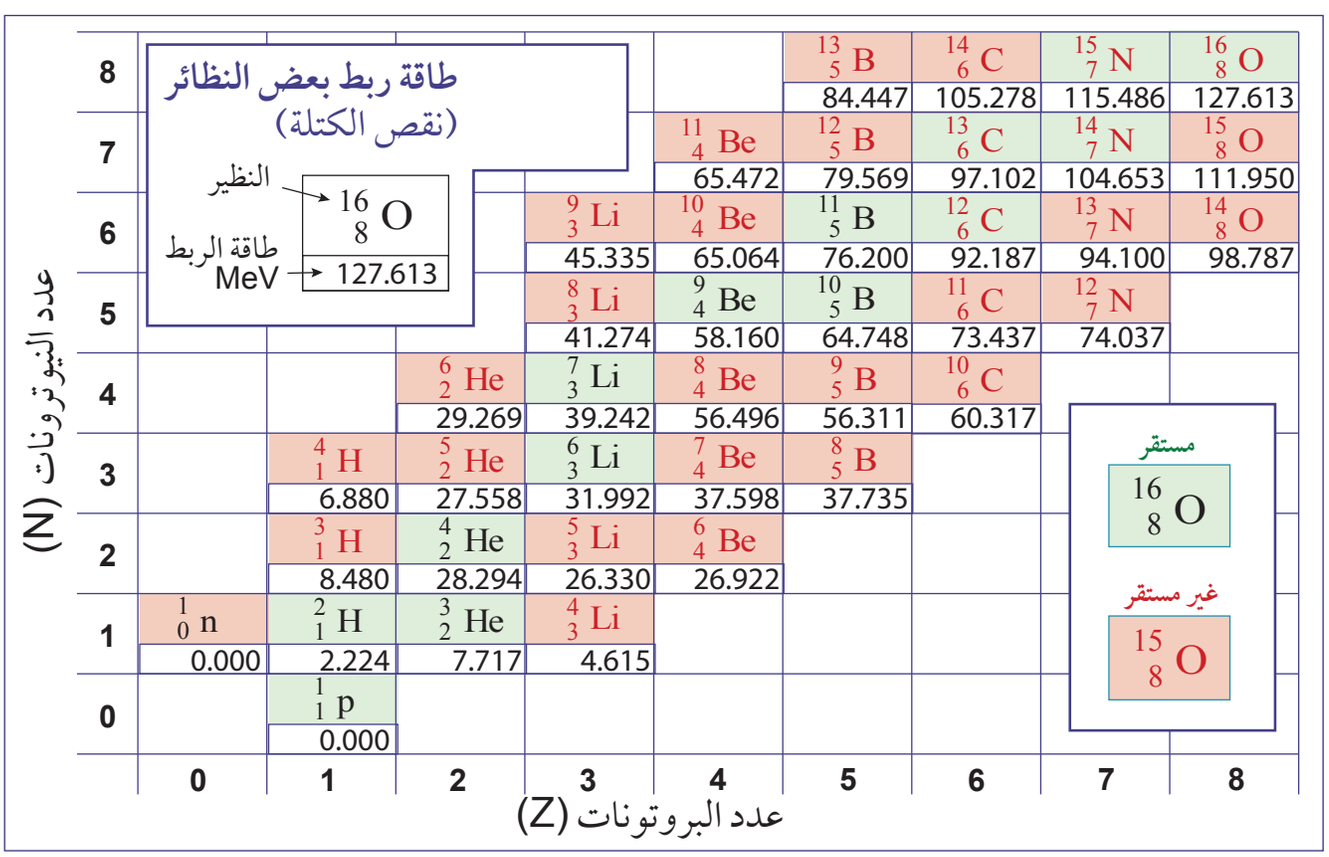
توازُن الطاقة في التفاعُلات النووية

تنتج الطاقة في التفاعلات النووية من الفرق بين كتل المتفاعلات وكتل النواتج. يوضِّح **الشكل 7-36** جدولًا لبعض النظائر مع طاقة الربط بوحدة MeV. افترض تفاعلًا نوويًا يتم فيه فحص طاقة الاندماج النووي. يتَّحد في هذا التفاعل نظيرَي هيدروجين لِيَنتج هيليوم ونيوترون.

	المُتفاعِلات			النواتج			فرق الطاقة الناتجة
	$^{3}_{1}H$	+	$^{2}_{1}H$	$\rightarrow$ $^{4}_{2}He$	+	$^{1}_{0}n$	
طاقة الربط	8.480	+	2.224	28.294	+	0	↓
	10.704		=	28.294		–	17.590 MeV

الشكل 7-35 حساب الطاقة الناتجة في تفاعل نووي.

1. اجمع طاقات ربط المُتفاعِلات.
2. اجمع طاقات ربط النواتج.
3. الطاقة الناتجة من التفاعل هي الفرق بين طاقة ربط النواتج وطاقة ربط المتفاعلات. لقد أهملنا الإلكترونات في هذه الحالة، لأن هناك إلكترونين على طرفَي التفاعل. إلّا أن تأثير الإلكترونات يجب أن يؤخذ في الحسبان في بعض التفاعلات.

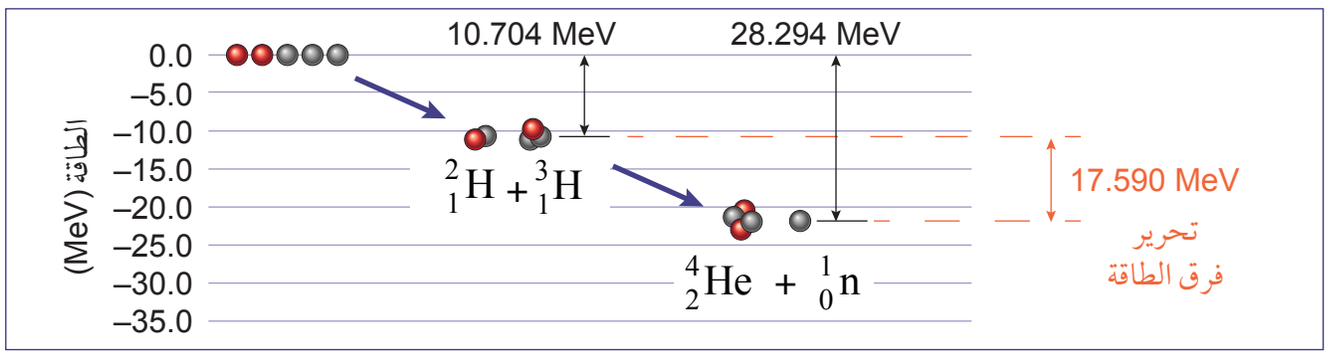


الشكل 7-36 طاقة الربط (نقص الكتلة) بوحدة MeV لبعض النظائر.

www.jnob-jo.com

معنى طاقة الربط

تعلَّمتَ في الكيمياء أن لمجموعة من الذرّات طاقة كليَّة مختلفة إذا تم استخدامها للحصول على مُركّبات كيميائية مختلفة. يصح الأمر نفسه في البروتونات والنيوترونات داخل النواة. تمثِّل طاقة الربط الطاقة اللازمة لتفكّك النواة وتحويلها إلى بروتونات ونيوترونات متفرقة. وتكون طاقة الجُسيمات المتفرّقة صفرًا. افترض مثال التفاعل النووي في **الشكل 7-37**. عند تكوّن الهيليوم -4، تنتقل طاقة ربط النظام إلى المحيط، ويفقد النظام كامل طاقته (**الشكل 7-37**).



الشكل 7-37 يوضِّح الرسم البياني كيفية إنتاج الطاقة من تفاعُل نووي.

مثال 10

احسب تغيُّر الطاقة في التفاعل النووي الآتي، وحدِّد إن كان التفاعل يحتاج إلى هذه الطاقة أو أنه ينتجها؟

$$^{3}_{1}H + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{7}_{3}Li$$

المطلوب: التغيُّر في طاقة تفاعل.

المُعطى: ثلاثة نظائر: هيدروجين -3، هيدروجين -4، هيدروجين -7.

العلاقات: الطاقة الناتجة عن التفاعل تساوي الفرق بين طاقة ربط النواتج وطاقة ربط المُتفاعِلات.

الحل: من الشكل **7-36** نجد أن طاقة ربط المتفاعلات هي:

$$8.480 + 28.294 = 36.774 \text{ MeV}$$

وطاقة ربط النواتج هي 39.242 MeV.

الطاقة الناتجة من التفاعل هي:

$$39.242 - 36.774 = \boxed{2.468 \text{ MeV}}$$

فرق الطاقة موجب، يعني ذلك أن التفاعل ينتج الطاقة.

www.jnob-jo.com

التفاعُلات النووية مُقابِل التفاعُلات الكيميائية

سؤال للمناقشة

أعطِ مثالًا على تفاعُل كيميائي. لِمَ لا يعتبر هذا التفاعُل نوويًّا؟

التفاعُل النووي Nuclear reaction هو أي عملية تؤدّي إلى تغيُّر في نواة الذرَّة. قد يتغيّر عنصر إلى آخر، أو يتغيّر نظير إلى نظير آخر مختلف للعنصر نفسه؛ ذلك أن التفاعُلات النووية تشتمل على القوة النووية القوية. تكون طاقة التفاعُلات النووية عادة أكبر بآلاف المرات من طاقة التفاعُلات الكيميائية.

تُغيّر التفاعُلات الكيميائية الطريقة التي تتَّحد بها ذرّات العناصر المختلفة في المُركَّبات؛ ولكنها لا تُغيِّر نواة أي ذرّة. تعيد التفاعُلات الكيميائية ترتيب الإلكترونات المُشتركة لإعادة ترابُط الذرّات، وتكون الطاقة في التفاعُل الكيميائي منخفضة للغاية، إلى درجة أنها لا تستطيع تغيير ذرّات عنصر إلى ذرّات عنصر آخر. ولا تغيّر التفاعُلات الكيميائية النظائر إلى نظائر مختلفة.

التفاعُلات النووية تُنشئ عناصر جديدة والتفاعُلات الكيميائية تُنشئ مُركَّبات جديدة من العناصر.

أنواع التفاعُلات النووية

كل تغيير يحدث في نواة عنصر يكون من خلال تفاعُل نووي. قد يكون التغيير بسبب النشاط الإشعاعي عندما تتغيّر النواة تلقائيًّا، وقد يكون نتيجة تأثيرات خارجية. وفي كلتا الحالتين نستخدم معادلة نووية لتمثيل العملية. هناك عمومًا ثلاث فئات للتفاعُلات النووية:

1. التفاعُلات النووية التلقائية.
2. تفاعُلات الانشطار النووي.
3. تفاعُلات الاندماج النووي.

التفاعُلات النووية التلقائية

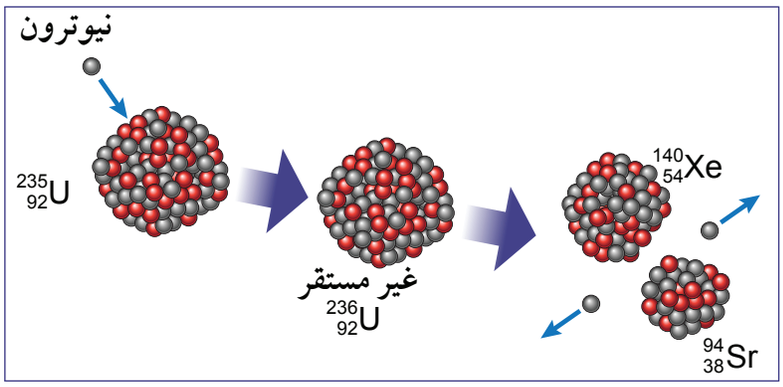
تتحلَّل النواة غير المستقرَّة تلقائيًّا، من دون أي تأثيرات خارجية. ويُميَّز هذا النوع بعمر نصف للعملية، ويوصف بمعادلة نووية. من الأمثلة على التفاعُل النووي التلقائي انحلال نظير الأميريسيوم-241، الذي ينحل مُطلِقًا جُسيم ألفا، وفقًا للمعادلة النووية: $^{241}_{95}\mathrm{Am} \rightarrow {}^{237}_{93}\mathrm{Np} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$.

يُستخدَم هذا التفاعُل كأساس لأنظمة كاشف الدخان. ففي حال وجود الدخان يتفاعُل جُسيم ألفا المنبعث من هذا الانحلال مع جُسيمات الدخان؛ فيعمل على تأيينها. تقوم الجُسيمات المتأيّنة بدورها بتوليد تيار كهربائي، يُكتشف بواسطة أجهزة إلكترونية؛ ما يؤدّي إلى إطلاق صفّارة إنذار.

www.jnob-jo.com

الانشطار النووي

يستمد التفاعُل النووي طاقته من طاقة الربط في النواة. إذا تحطَّمت نواة كبيرة، مثل اليورانيوم، فإن الطاقة يمكن أن تتحرَّر. يُسمّى تقسيم النواة **الانشطار النووي Nuclear fission**. يمكن بدء تفاعُل الانشطار النووي بقذف ذرّات اليورانيوم بالنيوترونات.

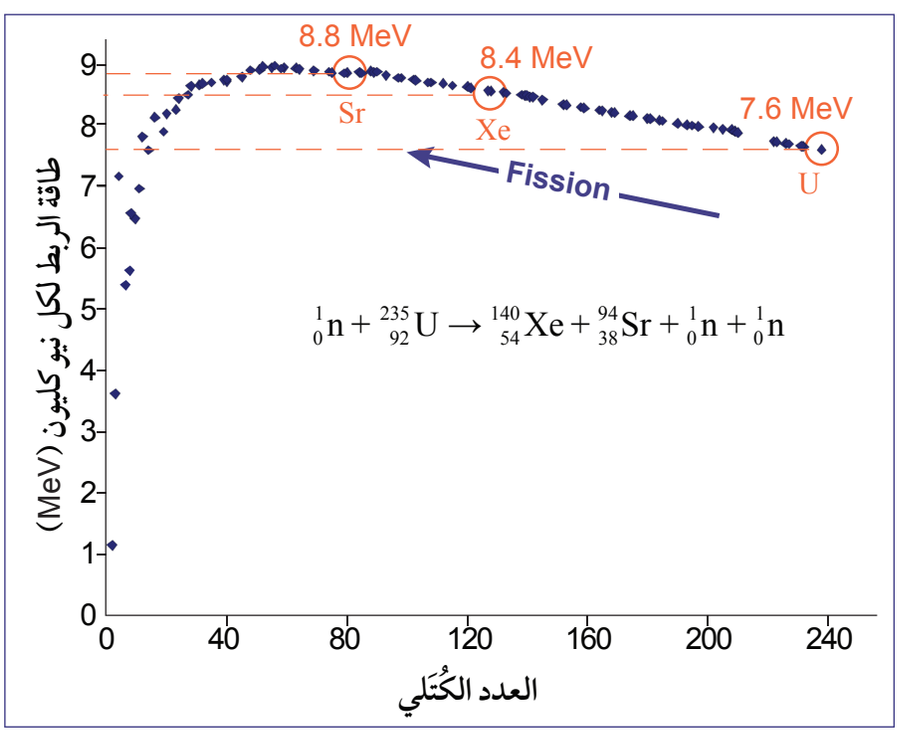


الشكل 7-38 تفاعُل انشطار نووي.

يعدّ **الشكل 7-38** مثالًا على تفاعُل انشطار نووي، حيث يتم امتصاص النيوترون في نواة $^{235}_{92}U$ ، ويُحوِّلها إلى نواة $^{236}_{92}U$ غير مستقرَّة، تنحلّ تلك النواة وينتج منها السترونشيوم–94 والزينون–140، ونيوترونان. يمكننا كتابة هذا التفاعُل على النحو الآتي:

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{236}_{92}U \rightarrow ^{140}_{54}Xe + ^{94}_{38}Sr + 2\,^{1}_{0}n$$

هذه معادلة نووية موزونة؛ ذلك أن البروتونات والنيوترونات على الجانب الأيسر للمعادلة يساوي عدد البروتونات والنيوترونات على الجانب الأيمن.



الشكل 7-39 طاقة الربط لكل نيوكليون.

يمكن تقدير الطاقة المُتحرِّرة من هذا التفاعُل النووي، بحساب توازُن طاقة الربط من **الشكل 7-39**، حيث نرى أن طاقة الربط لكل نيوكليون لليورانيوم والزينون والسترونشيوم هي تقريبًا 7.6 و 8.4 و 8.8 MeV على التوالي. فالطاقة المتحرِّرة تساوي تقريبًا:

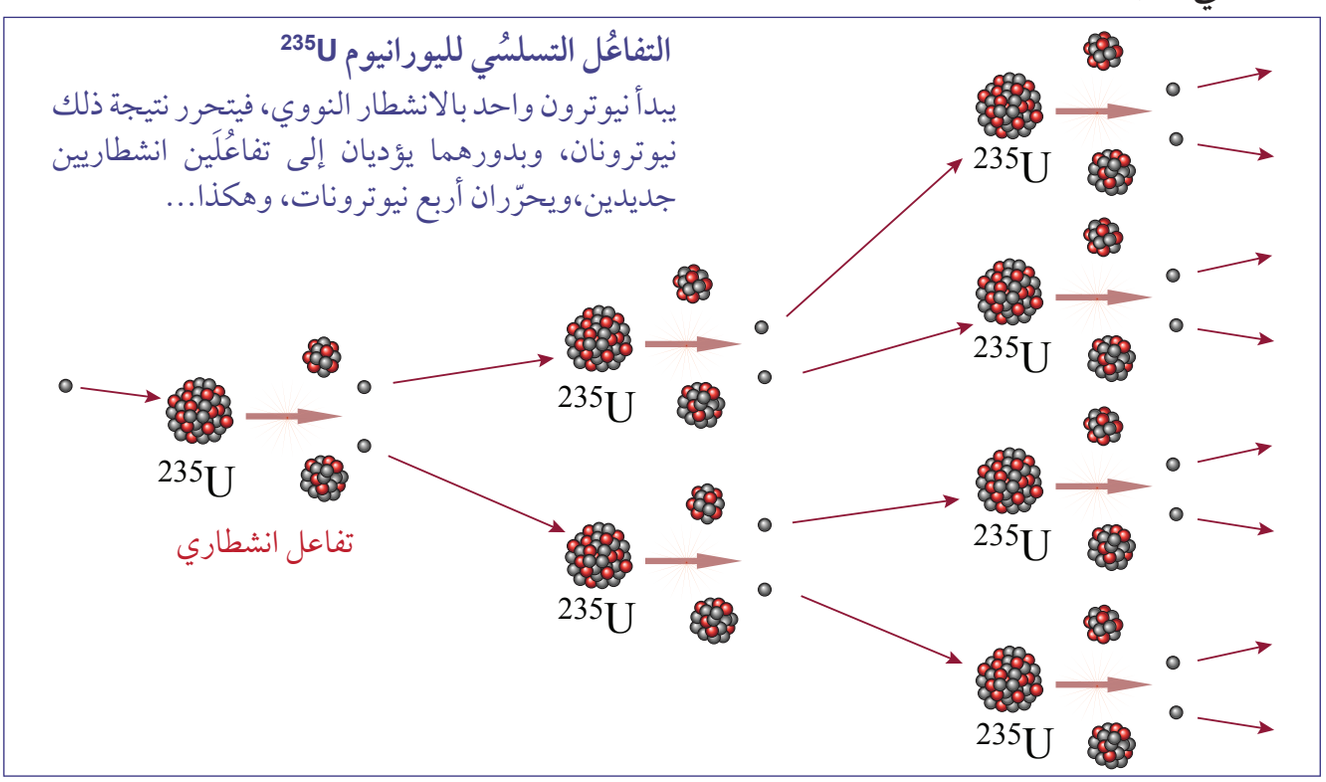
$$E_{\text{متحررة}} = (8.4\ \text{MeV}) \times A_{Xe} + (8.8\ \text{MeV}) \times A_{Sr} - (7.6\ \text{MeV}) \times A_{U}$$
$$= (8.4\ \text{MeV}) \times 140 + (8.8\ \text{MeV}) \times 94 - (7.6\ \text{MeV}) \times 235 = 217\ \text{MeV}$$

وهذا قريب جدًّا من الطاقة الفعلية المُتحرِّرة، وهي 208 MeV.

www.jnob-jo.com

التفاعُل التسلسُلي

قد يسبِّب قذف ذرّة $^{235}_{92}U$ بنيوترون واحد انشطارًا نوويًّا، وينتج منه نيوترونان. فإذا اصطدم النيترونان الناتجان مع ذرَّتين أُخريين من الـ $^{235}_{92}U$، فإن الانشطارين الجديدَين يؤدّيان إلى إنتاج أربعة نيوترونات. يمكن لتلك النيوترونات الأربعة أن تصطدم بأربع ذرّات يورانيوم أخرى، وهكذا. يؤدّي ذلك إلى تفاعُل نووي تلو الآخر، ويسمّى ما يحدث **التفاعُل التسلسلي Chain reaction** (**الشكل 7-40**). لكي يحدث التفاعُل التسلسُلي يجب أن يكون هناك احتمال كبير أن يصل كل نيوترون إلى نواة أخرى قبل الامتصاص أو التباطؤ. وهذا يتطلَّب كتلة حرجة من المادة الانشطارية. **الكتلة الحرجة** هي الحد الأدنى من المادة الانشطارية، التي تكون عادة اليورانيوم-235 في حجم صغير نسبيًّا، حيث يمكن للتفاعُل التسلسلي أن يحدث.



الشكل 7-40 تفاعُل تسلسُلي.

الشكل 7-41 محطة طاقة نووية.

تشير مفردة **الطاقة النووية Nuclear energy** عمومًا إلى تفاعُلات الانشطار النووي التي يُحافَظ على استمراريتها من خلال التفاعُل التسلسلي. ذلك أن كلّ تفاعُل انشطاري تنتج منه كمّية كبيرة من الطاقة يمكن أن تتحوّل إلى أشكال أخرى من الطاقة، مثل تسخين المياه، وتحويلها إلى بُخار، يُشغِّل توربينات بخارية لتوليد طاقة ميكانيكية تُشغِّل بدورها مولِّدًا كهربائيًّا لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية (**الشكل 7-41**).

www.jnob-jo.com

إيجابيات الانشطار النووي وسلبياته

تسمح الانشطارات النووية والتفاعُلات التسلسُلية بتحويل الكتلة إلى طاقة. فالطاقة النووية هي شكل نظيف ومتجدِّد من الطاقة أصبح متاحًا من خلال معادلة أينشتاين. ولكن لسوء الحظ، أصبح ممكنًا عن طريق تكافؤ الكتلة – الطاقة إنتاج أسلحة نووية أيضًا، تنتج عنها طاقة ضخمة نتائجها كارثية. يُظهر **الشكل 7-42** آثار اختبار نووي تحت الماء، يُسمّى اختبار بيكر.

تعرّض موضوع الانشطار النووي للنقد في مناسبات عديدة. فعلى الرغم من أن أكثر من 30 دولة في العالم تستخدم الطاقة النووية، فإن هناك بلدانًا أخرى لا تزال تناقش إن كانت الطاقة النووية خيارًا قابلاً للتطبيق.

الشكل 7-42 اختبار بيكر.

الإيجابيات

1. لا تنتج الطاقة النووية غازات الدفيئة (الغازات المُسبِّبة للاحتباس الحراري)، باستثناء حالة تعدين اليورانيوم وتنقيته، حيث تكون كمّية غازات الدفيئة الناتجة من ذلك صغيرة جدًا، مقارنة بما تنتجه الأشكال الأخرى من الطاقة.
2. يمكن أن توفر الطاقة النووية طاقة مستمرة ليل نهار، وفي جميع أحوال الطقس، مقارنة بالطاقة الشمسية أو طاقة الرياح.
3. يمكن القول إن تكلفة تشغيل محطّة الطاقة النووية منخفضة للغاية. ذلك أن معظم النفقات تكون مطلوبة للموظفين والمواد المُشعّة.

السلبيات

1. معلوم أن تكاليف بناء المحطّة مرتفعة جدًّا، ما يجعل تحمُّل تكاليف بناء محطّة للطاقة في بعض البلدان صعبًا جدًّا.
2. ينتج من الانشطار النووي نفايات نووية تحتاج إلى طمر آمن، وهي ضارّة بالكائنات الحيّة والنباتات إذا أُلقيت في البيئة المحيطة.
3. يُنتج الانشطار النووي إشعاعات تضرّ بالبشر، وهي تعرّض عمّال المحطّة للخطر، ما لم يتّبعوا تعليمات السلامة.
4. يمكن لأي حادث يقع في محطّة الطاقة النووية أن يسبِّب أضرارًا واسعة النطاق.
5. ينشأ خطر من تحوُّل المواد النووية المخصّصة للأغراض السلمية إلى أسلحة نووية.

www.jnob-jo.com

نشاط 7-4 مخاطر الانحلال الإشعاعي

سؤال الاستقصاء	ما هي مخاطر الانحلال الإشعاعي على الحياة والصحة التي ظهرت إلى العلن بعد انفجار مُفاعِل تشيرنوبيل وكارثة فوكوشيما النووية؟
الموادّ المطلوبة	الاتصال بشبكة الإنترنت، وكتب بحث وورق ملصقات

انفجار مُفاعِل تشيرنوبيل

الشكل 7-43 محطة تشيرنوبيل للطاقة النووية.

تعتبر كارثة مُفاعِل تشيرنوبيل أسوأ كارثة نووية حتى الآن. ففي العام 1986، وأثناء اختبار للسلامة استهدف واحدًا من مُفاعِلات تشيرنوبيل في الاتحاد السوفياتي الأسبق، لم يستجب المُفاعِل كما هو مخطَّط له. وبدأت تتوالى سلسلة من التفاعُلات النووية الخارجة عن السيطرة. وأدى التفاعُل التسلسُلي ذاك إلى تحرير كمّية كبيرة من الطاقة عملت على تبخير ماء التبريد وتمزيق قلب المُفاعِل. وأطلق الانفجار ملوِّثات نووية، الأمر الذي زاد من مستوى الإشعاع في تشيرنوبيل والمناطق المحيطة به إلى مستويات غير آمنة. يوضح **الشكل 7-43** محطة تشيرنوبيل للطاقة النووية.

كارثة فوكوشيما النووية

وقعت كارثة فوكوشيما دايتشي عام 2011 في مدينة أوكوما باليابان. نجم الحادث عن زلزال توهوكو المدّمر وأمواج التسونامي العاتية، حيث غمرت أمواج التسونامي الطابق السفلي من محطة توليد الكهرباء، ما تسبّب في خلل وفي تعطيل مولِّدات الطوارئ. وبالرغم من أن المُفاعِلات أوقفت تفاعُل الانشطار، كانت هناك حاجة إلى تشغيل نظام التبريد بالماء لتبريد قلب المُفاعِل. ولكن مضخّات المياه توقَّفت عن العمل في اليوم التالي بعد التسونامي، ما أدّى إلى صهر قلب المُفاعِل، مُسبِّبًا حدوث 3 انفجارات للهيدروجين في 4 أيام. وانطلقت إثر ذلك المُلوِّثات النووية في الجوّ. وما زالت آثار الكارثة قيد الدراسة. يوضح **الشكل 7-44** الفيضانات في فوكوشيما بعد كارثة التسونامي.

سؤال البحث

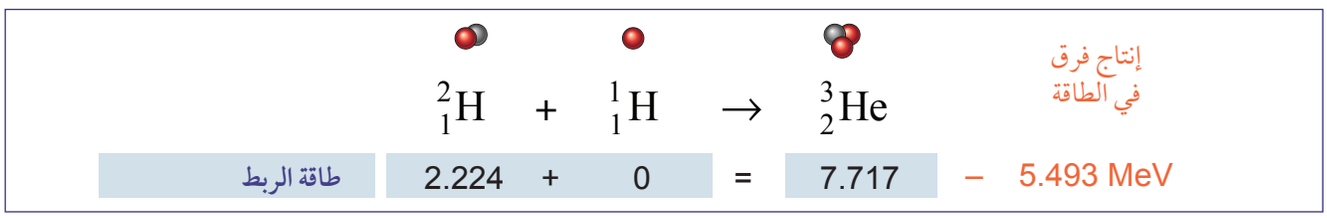
الشكل 7-44 فوكوشيما بعد كارثة التسونامي.

ابحث في آثار كل من الكارثتين، مركّزًا في سجلّات الوفيات والأمـراض. ما هي الآثار التي حلّت على البيئة في كل من هذين الحادثين؟ ركّز في المياه والحياة البرية والغابات. كيف تمت معالجة النشاط الإشعاعي الناتج؟ متى تنتهي الآثار الناتجة منهما؟

www.jnob-jo.com

الاندماج النووي

يجمع **الاندماج النووي nuclear fusion** نواتين خفيفتين لتكوِّنا نواة أكبر. وإذا كان للنواة الكبرى طاقة ربط أكبر، يطلق الاندماج طاقة نووية. ويعدّ الإندماج النووي أكثر ظاهرة مهمّة في الطبيعة، وهو مصدر الطاقة للشمس والنجوم، ومختلف العمليات البيولوجية والفيزيائية على الأرض. يؤدي الاندماج النووي داخل الشمس إلى تفاعل هيدروجين-1 وهيدروجين-2 (ديوتيريوم) للحصول على هيليوم-3 كما في **الشكل 7-45**.



الشكل 7-45 تفاعل اندماج نووي.

تبلغ الطاقة الناتجة عند اندماج نظيرَي الهيدروجين وإنتاج هيليوم-3 ما يعادل 5.493 MeV. هناك ثلاثة نيوكليونات في هذا التفاعل، لذلك تكون الطاقة الناتجة لكل نيوكليون هي:

$$\left(\frac{1}{3}\right) \times 5.493 \text{ MeV} = 1.831 \text{ MeV/نيوكليون}$$

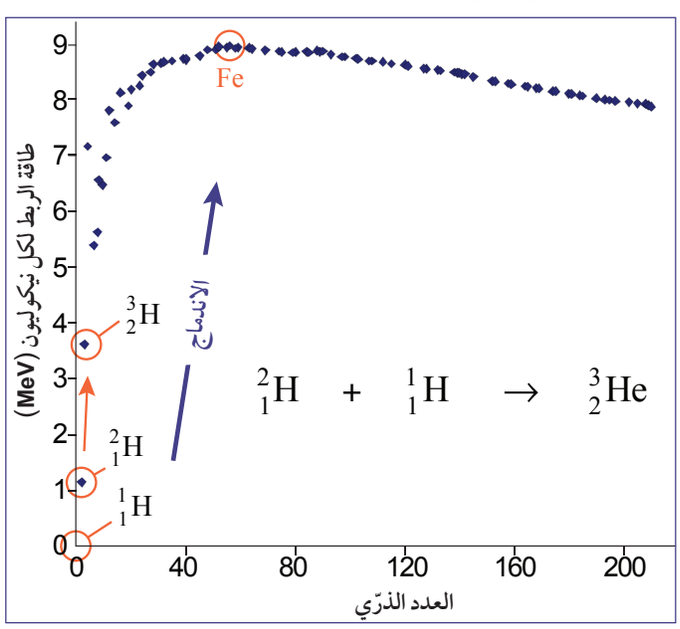
الطاقة الناتجة من الانشطار مقابل الاندماج

تبلغ الطاقة الناتجة من تفاعل الانشطار النووي لليورانيوم -235 ما يعادل 208 MeV. بما أن عدد النيوكليونات في اليورانيوم هو 235، فإن الطاقة المتحرِّرة لكل نيوكليون تكون:

$$\frac{208 \text{ MeV}}{235 \text{ نيوكليون}} = 0.885 \text{ MeV/نيوكليون}$$

الطاقة الناتجة من الاندماج النووي أكبر كثيرًا من طاقة الانشطار النووي.

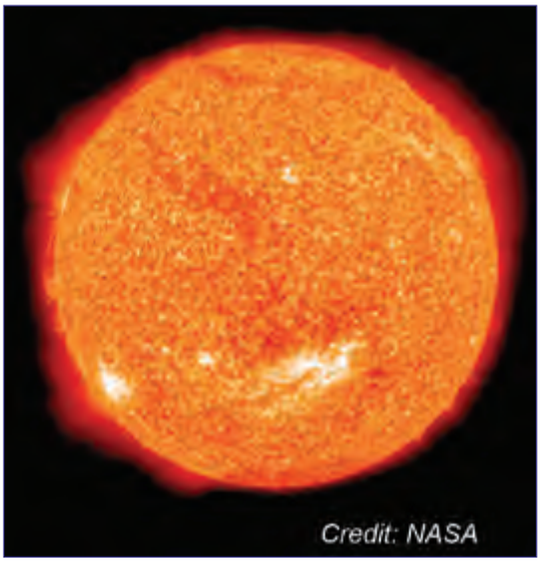
يظهر **الشكل 7-46** كيف يبدو تفاعل الاندماج في **الشكل 7-45** على الرسم البياني لطاقة الربط للنيوكليون. تنتج تفاعلات الاندماج النووي الطاقة ما دامت المُتفاعِلات والنواتج أخف من الحديد. تجمع تفاعلات الاندماج هذه نوى خفيفة لتشكِّل نوى أثقل. وقد تحتاج تفاعلات الاندماج التي تعطي نواتج أثقل من الحديد الطاقة بدلًا من أن تُنتجها. وهذه عملية مهمّة تحدث خلال موت النجوم.



الشكل 7-46 الاندماج النووي على الرسم البياني لطاقة الربط لكل نيوكليون.

www.jnob-jo.com

الاندماج يمدّ الشمس بالطاقة

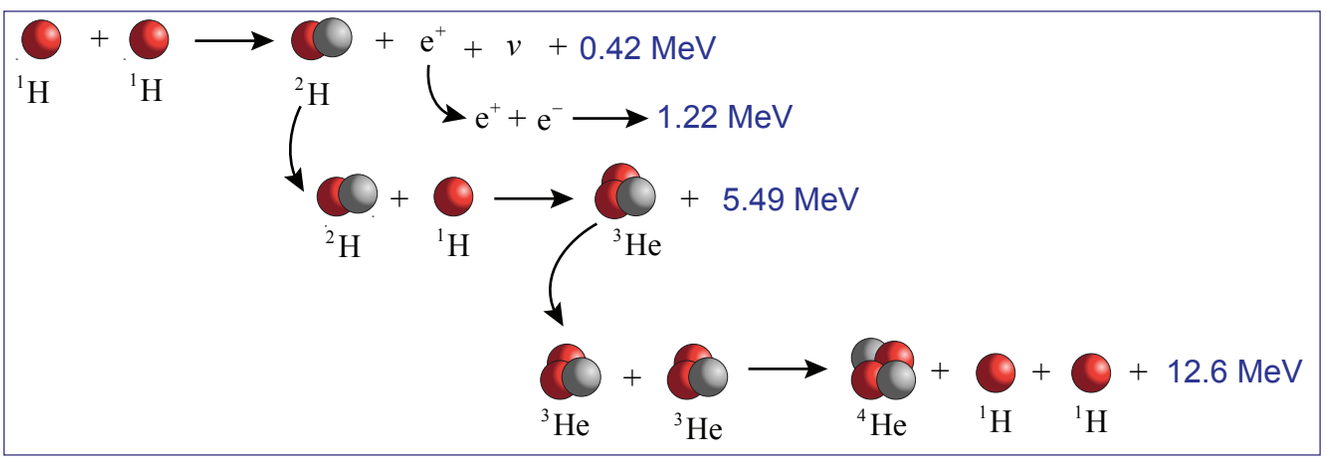


الشكل 7-47 تنتج الشمس طاقة الاندماج النووي.

يعدّ الهيدروجين المادة الأكثر انتشارًا في الكون، وهو المادة الموجودة داخل النجوم. فدرجة الحرارة والضغط في قلب الشمس والنجوم الأخرى مرتفعان، إلى حد أن تفاعُلات الاندماج النووي فيها تحوّل كميات كبيرة من الهيدروجين إلى هيليوم، وتتحرّر الطاقة جرّاء هذه العملية. تنتج الشمس طاقة اندماج نووي في قلبها تتحوّل إلى طاقة حرارية (**الشكل 7-47**). تنتقل الطاقة الحرارية من قلب الشمس إلى الخارج نحو سطح الشمس ثم تشعّ في الفضاء.

تفاعُلات الاندماج النووي داخل الشمس

يُسمّى التفاعُل الذي يزوّد الشمس بالطاقة دورة البروتون – البروتون (p–p) كما في **الشكل 7-48**. إذ تحوّل دورة الـ (p–p) أربع ذرّات من الهيدروجين إلى ذرّة هيليوم. تتكوَّن الشمس في معظمها من الهيدروجين والهيليوم (91.2 % هيدروجين، و 8.7 % هيليوم). وتتكون عناصر أثقل من الهيدروجين داخل مراكز النجوم بواسطة تفاعُلات الاندماج. فمثلًا يمكن دمج نواتَي هيليوم-4 لتتكوّن نواة بيريليوم-8. وكلّما طال عُمر النجوم، تُجَمّع عناصر أثقل مثل الكربون والأكسجين.



الشكل 7-48 تفاعُل الاندماج النووي داخل الشمس.

يتعيّن على تفاعل الاندماج أن يتغلّب على قوة التنافر الهائلة بين نواتين موجبتَي الشحنة. لذلك يجب أن تكون درجة الحرارة مرتفعة جدًّا، حيث تنصهر النوى قبل أن تتنافر وتتطاير. تبلغ درجة حرارة مركز الشمس حوالي 15 مليون درجة كلفن. لكنّ تفاعُلات الاندماج العملية على سطح الأرض تتطلّب درجة حرارة أعلى، وذلك لعدم توفّر تقنيات تمكنّنا من تحمُّل الضغط الهائل الناتج من جاذبية الشمس. تصل تفاعُلات الاندماج الحقيقية إلى درجة 85 مليون درجة كلفن أو أعلى، لكن عند ضغط أقلّ منه عند مركز الشمس بملايين المرّات.

www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 4-7

1. كيف يرتبط تكافوء الكتلة–الطاقة بكل من الانشطار النووي والاندماج النووي؟
2. ميِّز بين التفاعُلات الكيميائية والتفاعُلات النووية.
3. حدِّد اسم العنصر المجهول وكلًّا من العدد الذرّي Z ، والعدد الكُتلي A، في المعادلة النووية الآتية:

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{A}_{Z}?+ 3\,{}^{1}_{0}n$$

4. حدِّد اسم العنصر المجهول وكلًا من العدد الذرّي Z، والعدد الكُتلي A في المعادلة النووية الآتية:

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{A}_{Z}?+ {}^{87}_{35}Br + 3\,{}^{1}_{0}n$$

5. احسب نقص الكتلة لنواة الذهب $^{197}_{79}Au$، عندما تكون الكتلة النووية 196.924 amu.
6. تبلغ الكتلة الذرّية للنيكل 61.93 amu. احسب طاقة الربط للنواة وطاقة الربط لكل نيوكليون في النواة $^{62}_{28}Ni$.
7. اعتبر أن ذرّة من اليورانيوم–236 ، قد انقسمت إلى نواتين من البلاديوم–117. تبلغ الكتلة الذرّية المعروفة لليورانيوم 2326.0456 amu، وللبلاديوم 116.918 amu.
   a. اكتب معادلة التفاعُل النووي.
   b. اذكر أسماء الجُسيمات التي نتجت، غير البلاديوم.
   c. احسب الطاقة الناتجة.
8. أي من التفاعُلين الآتيين هو تفاعُل انشطار نووي؟ وأيّهما هو تفاعُل اندماج نووي؟ وضّح اختيارك.

   a. $^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$

   b. $^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{144}_{56}Ba + {}^{89}_{36}Kr + 3\,{}^{1}_{0}n$

9. تحتوي كاشفات الدخان على نظير مُشعّ للأميريسيوم–235 تنبعث منه جُسيمات ألفا. ومع ذلك يزعم المصنِّعون لها أن المُنتجات آمنة. قيّم صحة هذا الزعم من خلال البحث في مستويات التعرّض الطبيعي للاشعاع، أو الحدود الموصى بها طبيًا، أو التعرُّض للتصوير الطبّي.

www.jnob-jo.com

ضوء على العلماء

إنريكو فيرمي (1901-1951)

الشكل 7-49 إنريكو فيرمي (1901-1951)

يُعدّ الفيزيائي الإيطالي/الأمريكي إنريكو فيرمي «مهندس العصر النووي»؛ وهو الذي ابتكر أول مُفاعِل نووي في العالم، شيكاغو بايل-1، وحصل على جائزة نوبل في الفيزياء.

ولد إنريكو فيرمي في روما بإيطاليا عام 1901. تطوّرت ميوله في الرياضيات والفيزياء في سنّ مبُكِرة، واستخدم كثيرًا من الكتب المختلفة لتعليم نفسه. تقدَّم فيرمي عام 1918 للدراسة في جامعة سكولا نورمال سوبرويير بمدينة بيزا الإيطالية، وحصل على المرتبة الأولى في امتحان القبول، وتخرَّج فيها عام 1922 بدرجة دكتوراه في الفيزياء.

أدرك عام 1923، عندما كان يعمل على مُعادلات أينشتاين، أن هناك كمّية هائلة من الطاقة النووية الكامنة، فكتب: «لا يبدو ممكنًا، على الأقل في المستقبل القريب، إيجاد طريقة لتحرير تلك الكميات الهائلة من الطاقة، وهذا أمر يصبّ في مصلحة الجميع؛ لأن أول تأثير لانفجار تلك الكمّية الهائلة من الطاقة سيكون إبادة الفيزيائي السيّئ الطالع في إيجاده طريقة للحصول عليها».

المُساهمات العلمية

طوّر إنريكو فيرمي عام 1934 نظرية انحلال بيتا، وقدّم فكرة الجُسيمات التي تُسمّى النيوترينو. وحاز عام 1938 جائزة نوبل في الفيزياء، لإثباته أن الجُسيمات المُشعّة تنتج بعد قذف النواة بالنيوترونات، وأن ذلك التفاعُل النووي سببه النيوترونات البطيئة. هاجر إنريكو فيرمي بعد الدراسة والتدريس في إيطاليا إلى أمريكا عام 1938، وبدأ التدريس هناك في جامعة كولومبيا.

كان فيرمي عام 1925 واحدًا من أعضاء الفريق الذي أجرى أول تجربة انشطار نووي في الولايات المتحدة. وعمل على تطوير أول مُفاعِل نووي في العالم هو شيكاغو بايل-1، وهو المكان الذي أُسِّس فيه أول تفاعُل تسلسلي نووي. شارك فيرمي كواحد من كبار علماء الفيزياء في تطوير القنبلة الذرّية، وأدّى دورًا مهمًّا في تطوير الفيزياء النووية.لم يكن لفيرمي شغف بالاكتشافات الجديدة فحسب، بل كان شغوفًا أيضًا بتدريس تلك الاكتشافات.

www.jnob-jo.com

الوحدة 7

مراجعة الوحدة

الدرس 7-1: الذرّة

- **الذرّة** هي أصغر جُسيم لعنصر يمكن أن يوجد بشكل منفرد، أو مركّب مع ذرّات أخرى. تتألف الذرَّة من نواة ثقيلة مُحاطة بإلكترون واحد أو أكثر.
- **الإلكترون** واحد من مُكوِّنات الذرّة (جُسيم دون ذرّي) له شُحنة سالبة مقدارها -1.602×10^{-19} C، وكتلة مقدارها 9.109×10^{-31} kg.
- **البروتون** جُسيم دون ذرّي له شحنة موجبة مقدارها $+1.602 \times 10^{-19}$ C، وكتلة مقدارها 1.673×10^{-27} kg.
- **النيوترون** جُسيم دون ذرّي ليس له شحنة كهربائية، وتبلغ كتلته 1.675×10^{-27} kg.
- **النواة** هي اللب الصغير والكثيف للذرَّة، الذي يحتوي على جميع البروتونات والنيوترونات، ويبلغ قطره 1/10,000 من قطر الذرّة.
- **الشحنة الأوَّليّة** شحنة كهربائيّة غير قابلة للانقسام، يحملها البروتون (موجبة) أو الإلكترون (سالبة). ويُشار إليها عادةً بالرمز e وتساوي 1.602×10^{-19} C.
- **العدد الذرّي** هو عدد البروتونات داخل نواة الذرَّة.
- **جُسيم ألفا** يتكوَّن من بروتونين ونيوترونين، ويُشار إليه أحيانًا بنواة ذرة الهيليوم.
- **النظائر** هي ذرّات لها العدد نفسه من البروتونات لكنّها تختلف بعدد النيوترونات. تمتلك النظائر العدد الذرّي نفسه (لأنها تحمل العدد نفسه من البروتونات) لكنّ كُتَلها الذرّية مختلفة (لأنها تختلف بعدد النيوترونات).
- **عدد الكتلة الذرّيّة** هو العدد الكلّي للبروتونات والنيوترونات في النواة.

الدرس 7-2: النشاط الإشعاعي

- **النظائر المُشعة** هي نظائر غير مستقرَّة تتعرّض للانحلال الإشعاعي.
- **الانحلال الإشعاعي** تفكُّك جُزئي وتلقائي للنواة يصاحبه تحرّر لجُسيمات ذات طاقة أو إشعاعات.
- **انحلال ألفا** هو انحلال إشعاعي تُصدر فيه النواة جُسيم ألفا، فينقص العدد الذرّي للذرّة الأصليّة بمقدار اثنين.

www.jnob-jo.com

الوحدة 7

مراجعة الوحدة

- **انحلال بيتا** هو انحلال إشعاعي يتحوّل فيه النيوترون في النواة تلقائيًّا إلى بروتون وإلكترون. يبقى البروتون داخل النواة، فيزداد العدد الذرّي للذرَّة بمقدار واحد، بينما يَصدُر الإلكترون الحامل للطاقة من الذرّة كجُسيم بيتا.
- **البوزترون** جُسيم يمتلك كتلة الإلكترون نفسها، ولكن بشحنة $+1.602 \times 10^{-19}$ C.
- **النيوترينو** جُسيم عديم الشحنة كتلته أقلّ من 2.14×10^{-37} kg. ينتج هذا الجُسيم من انحلال بيتا.
- **انحلال جاما** عمليّة إشعاعيّة خلال انتقال النواة إلى مستوى طاقة مُنخفض، عن طريق إصدار فوتون له طاقة عالية، يُسمّى إشعاع جاما.
- **الانحلال التسلسلي** هو دورة الانحلالات التي تحدث خلال الانحلال الإشعاعي إلى أن يبلغ العنصر النواة المستقرّة.
- **أثر النشاط الإشعاعي** هو مواد تحتوي على نظائر مُشعّة يمكن أن تستخدم لإنتاج صورة.
- **الخلفية الإشعاعية** إشعاع دائم من حولنا ينتج من مصدر طبيعي أو صناعي.

الدرس 7-3: عُمْر النصف

- **عمر النصف** هو متوسِّط الزمن اللازم لانحلال نصف عدد النوى الموجودة في المادة المشعّة.
- **ثابت الانحلال** هو احتمال انحلال النواة في وحدة الزمن.
- **معدّل الانحلال** هو قياس لعدد النوى المُنحلّة في وحدة الزمن.
- **البيكريل** وحدة معياريّة للنشاط الإشعاعي تساوي انحلال نواة واحدة خلال ثانية.

الدرس 7-4: التفاعُلات النوويّة

- **تكافؤ الكتلة – الطاقة** هو المبدأ الذي ينصّ على أنّ الكتلة يمكن أن تتحوَّل إلى طاقة والعكس بالعكس، ويتمثّل بالعلاقة $E = mc^2$.
- **الطاقة السكونيّة** هي الطاقة المُكافئة لكتلة جُسيم، أو جسم في حالة السكون، أي عندما تكون السرعة صفرًا.
- **وحدة الكتلة الذرّيّة** هي وحدة معياريّة للقياس تعبّر عن كتلة الذرَّة. وحدة كتلة ذرّيّة amu واحدة تعرّف على أنّها 1/12 من كتلة ذرّة الكربون-12، أو 1.661×10^{-27} kg

www.jnob-jo.com

الوحدة 7

مراجعة الوحدة

- **الإلكترون فولت** هو وحدة الطاقة التي تمثِّل كمّية الطاقة التي يكتسبها الإلكترون المُتحرِّك خلال فرق للجهد مقداره فولت واحد (V). واحد إلكترون فولت (eV) يساوي 1.62×10^{-19} J.
- **طاقة الربط النووية** هي محصِّلة الطاقة التي يجب بذلها للتغلّب على القوة النووية الشديدة، وفصل النواة إلى الجُسَيمات المُكوِّنة لها.
- **نقص الكتلة** هو الفرق بين مجموع كتلة النيوكليونات المُكوِّنة للنواة والكتلة الكليّة للنواة.
- **التفاعُل النووي** عمليّة تتحوَّل فيها نواة عنصر إلى نظير مُختلف لذلك العنصر، أو إلى عنصر مختلف كليًّا.
- **الانشطار النووي** هو تفاعُل نووي تنشطر فيه النواة الكبيرة إلى عدد من نوى أصغر، مُطلقةً كمّية كبيرة من الطاقة.
- **التفاعُل التسلسُلي** هو تفاعُل نووي يمكن فيه للنواتج من تفاعُل واحد أن تولّد أكثر من تفاعُل إضافي.
- **الطاقة النوويّة** نوع من الطاقة المتولّدة من التفاعُلات في النواة الذرّية.
- **الاندماج النووي** تفاعُل نووي تندمج فيه نواتان خفيفتان معًا لتشكيل نواة أثقل.

www.jnob-jo.com

اختيار من مُتعدّد

1. أيُّ من الجُسَيمات الآتية تدور حول النواة؟
   a. البروتونات.
   b. النيوترونات.
   c. الإلكترونات.
   d. المُركَّبات.

2. تمتلك ذرّة معيّنة 29 نيوترونًا و 55 نيوكلونًا. ما العدد الذرّي لتلك النواة؟
   a. 26
   b. 29
   c. 55
   d. 84

3. ما الشرط الذي يصعّب حدوث تفاعُلات الاندماج النووي على الأرض؟
   a. ضغط مُنخفض.
   b. وقود شديد النُدرة.
   c. درجة حرارة مرتفعة.
   d. درجة حرارة مُنخفضة.

4. يمتلك الرصاص-192 عمر النصف 3.5 دقيقة. إذا بدأت بعيِّنة كتلتها 8 kg من الرصاص-192، فكم سيتبقّى منها بعد 17.5 دقيقة؟
   a. 0.25 kg.
   b. 0.46 kg.
   c. 0.5 kg.
   d. 1.6 kg.

www.jnob-jo.com

5. أي من الأدوات الآتية هي الخيار الأفضل للكشف عن وجود النشاط الإشعاعي؟

a. جلفانوميتر.

b. ثرمومتر.

c. عدّاد جيجر.

d. مصوّر الرنين المغناطيسي.

6. ما قيمة A في معادلة التفاعُل الآتي: $^{236}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{140}_{54}\mathrm{Xe} + {}^{A}_{38}\mathrm{Sr} + 2\,{}^{1}_{0}\mathrm{n}$ ؟

a. 86

b. 92

c. 94

d. 95

7. عندما يُصدر نظير مُشع جُسيم بيتا، ماذا يحدث للعدد الذرّي؟

a. يزداد بمقدار 1.

b. ينقص بمقدار 1.

c. ينقص بمقدار 2.

d. يبقى من دون تغيير.

8. في تفاعُل للانشطار، تمتلك المُتفاعُلات كتلة 3.902×10^{-25} kg، لكن كتلة النواتج تكون 3.917×10^{-25} kg. كم من طاقة الربط يكون قد تحرّر في هذا التفاعُل؟

a. 3×10^{-28} J

b. 9×10^{-20} J

c. 2.7×10^{-11} J

d. 4.2×10^{-6} J

9. أيُّ من الخيارات الآتية تطبيق لمعادلة أينشتاين في تكافؤ الطاقة والكتلة؟

a. عِلم الفلك.

b. الطاقة النوويّة.

c. التوربينات.

d. جهاز مطياف الكتلة.

www.jnob-jo.com

10. ماذا يحدث للعدد الذرّي عندما يُصدر النظير جُسيم ألفا؟

a. يزداد بمقدار 2

b. يزداد بمقدار 4

c. ينقص بمقدار 2

d. ينقص بمقدار 4

11. أراد عالم أن يحلِّل g 200 من السيبورجيوم-266. وبعد 90 ثانية، تبقّى لديه g 25 منه. ما هو عمر نصف السيبورجيوم-266؟

a. 8 s

b. 30 s

c. 90 s

d. 270 s

12. أي كميّتين تتساويان في نظيرين مُتعادِلين للعنصر نفسه؟

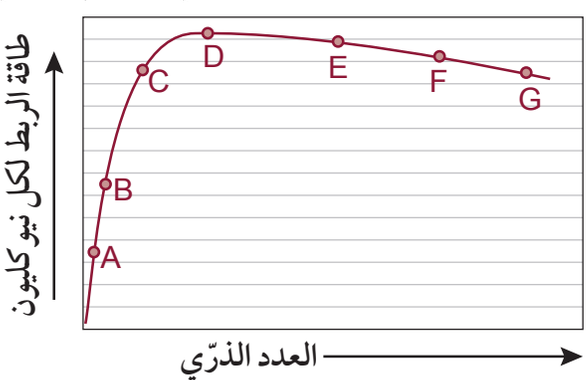
a. البروتونات والنيوترونات.

b. البروتونات والإلكترونات.

c. النيوترونات والإلكترونات.

d. البروتونات والنيوترونات والإلكترونات.

الأسئلة من 13 إلى 16 تتناول طاقة الربط لكل نيوكليون في الرسم البياني الآتي:



13. أي مما يأتي هو تفاعل اندماج ينتج الطاقة؟

a. $A+B \rightarrow C$

b. $E+F \rightarrow G$

c. $C \rightarrow A+B$

d. $G \rightarrow E+F$

www.jnob-jo.com

14. أي مما يأتي هو تفاعل اندماج يحتاج إلى الطاقة؟

a. $A+B \rightarrow C$

b. $E+F \rightarrow G$

c. $C \rightarrow A+B$

d. $G \rightarrow E+F$

15. أي مما يأتي هو تفاعل انشطار ينتج طاقة؟

a. $A+B \rightarrow C$

b. $E+F \rightarrow G$

c. $C \rightarrow A+B$

d. $G \rightarrow E+F$

16. أي مما يأتي هو تفاعل انشطار يحتاج إلى الطاقة؟

a. $A+B \rightarrow C$

b. $E+F \rightarrow G$

c. $C \rightarrow A+B$

d. $G \rightarrow E+F$

17. أي من النظائر الآتية يتعرّض لانحلال α واحد وانحلالَي β، لينتج $^{211}_{84}Po$؟

a. $^{215}_{84}Po$

b. $^{219}_{88}Ra$

c. $^{211}_{86}Rn$

d. $^{211}_{83}Bi$

الدرس 7-1: الذرّة

18. ما هو الاختلاف الرئيسي بين نموذج بور للذرَّة والنموذج الكمّي المقبول اليوم؟

19. وضِّح لماذا لا تنفصل النواة مباشرةً نتيجة لقوى التنافر بين بروتوناتها المتقاربة جدًّا.

20. ما هو الاختلاف بين عدد الكتلة الذرّية والعدد الذرّي؟

www.jnob-jo.com

21. استخدم مخطّطًا لإظهار تغيّر فهمنا لتركيب الذرّة على امتداد آلاف السنين الغابرة.

22. في تجربة التشتُّت لرذرفورد، ما هو سبب عبور معظم جُسيمات ألفا لرقاقة الذهب من دون انحراف؟

23. في تجربة التشتُّت لرذرفورد، ما هو سبب ارتداد بعض جُسميات ألفا إلى الوراء؟

24. ما هي نسبة كتلة كل من الإلكترونات والنواة في ذرّة الكربون إلى كتلة الذرّة الكاملة؟

25. لماذا يمكن اعتبار كتلة الذرة تساوي كتلة نواتها تقريبًا؟

26. ما الفرق بين العُنصر والنظير؟

27. نفترض ثلاثة نظائر هي الأكسجين-16 والأكسجين-17 والأكسجين-18.

a. ما الاختلاف بين نوى تلك النظائر؟

b. ما الاختلاف في عدد إلكترونات كل منها؟

28. الكربون-12 نظير شائع للكربون.

a. ما عدد كل من البروتونات والنيوترونات لهذا النظير؟

b. ما مجموع كتل تلك البروتونات والنيوترونات؟

الدرس 7-2: النشاط الإشعاعي

29. لمَ يغيّر انحلال ألفا أو بيتا عنصرًا ما إلى عنصر آخر، بينما لا يغيّر انحلال جاما العنصر؟

30. عبر أيّ من عمليات الانحلال، ينحلّ اليورانيوم-238 إلى ثوريوم-234 ؟

31. يتعرّض السيزيوم-137 لانحلال بيتا. اكتب معادلة التفاعُل النووي، بما فيها المتفاعُلات والنواتج.

32. اكتب معادلة التفاعُل النووي بعد أن تتعرَّض النظائر المُشعّة الآتية لانحلال ألفا:

a. السيبورجيوم-271.

b. الراديوم-226.

c. الكاليفورنيوم-249.

d. البولونيوم-210.

www.jnob-jo.com

33. اكتب معادلة التفاعُل النووي عند تعرُّض النظائر الآتية لانحلال β^-:

a. الأستينيوم-279.

b. الكربون-14.

c. الفلورين-20.

d. الثوريوم-231.

34. تتعرَّض ذرّة لانحلال ألفا، فينتج من ذلك البزموث-207. اكتب معادلة التفاعُل النووي.

35. يُعبَّر عن الانحلال الإشعاعي للبولونيوم-210 بالمعادلة الآتية:

$$^{210}_{84}\mathrm{Po} \rightarrow {}^{?}_{?}\mathrm{Pb} + {}^{4}_{2}\mathrm{X}$$

حيث X هو جُسيم يصدر نتيجة للانحلال الذي حدث. حدّد النظير الصحيح للرصاص ونوع الانحلال.

36. تنحلّ نواة ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ بانحلال ألفا، ثمّ بانحلالَيّ بيتا. احسب العدد الذرّي وعدد الكتلة الذرّي للنواة الناتجة.

37. غالبًا ما يرتدي العاملون في الظروف الإشعاعية سترات صفراء بلاستيكيّة.

a. ما نوع الإشعاعات التي تعتقد أن السترات تحمي العمال منها؟

b. ما الذي يمكن أن يفعلهُ العاملون إضافة إلى ذلك لحماية أنفسهم من التعرُّض للمزيد من تلك الإشعاعات؟

الدرس 3-7: عمر النصف

38. قام عالم آثار بقياس كتلة الكربون-14 الموجودة في أحفورة، فوجدها 1 g. ثمّ قام بحساب عُمر هذه العيِّنة، فكان 28,650 عامًا. كم كانت كتلة الكربون-14 الأصليّة في العيِّنة قبل 28,650 عامًا؟

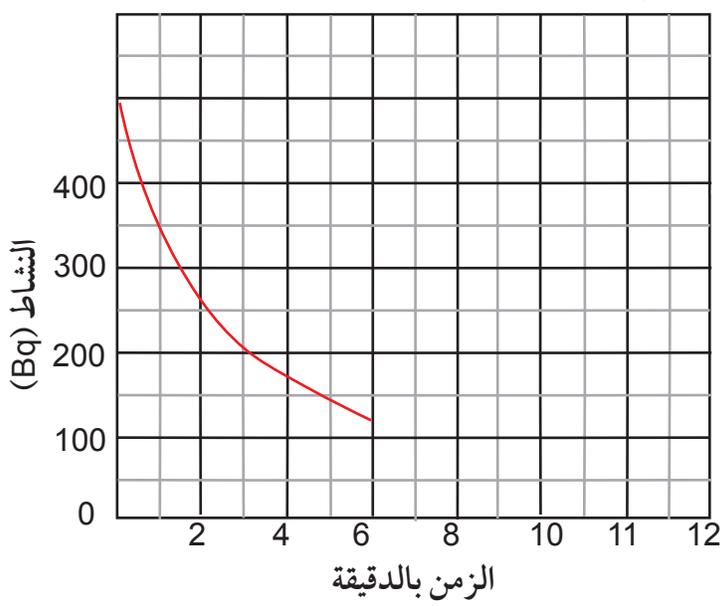
39. بدأ تقني مخبري العمل على كتلة 2.79 kg من البولونيوم-197 المُشعّ بعمر نصف 53.6 s. العيّنة موضوعة داخل صندوق من الرصاص كتلته 23.9 kg. كم يلزم البولونيوم-197 من الزمن لينحلّ إشعاعيًّا الى 0.78% من كمّيته الأصليّة؟

www.jnob-jo.com

40. ينحلّ الكريبتون–85 بعمر نصف 10.8 سنوات. إذا بدأنا مع عيّنة من الكريبتون–85 كتلتها 50 g، فكم سيبقى منها بعد 30 عامًا؟

41. يقيس عدّاد إشعاع عيّنة من الحديد–59، ويسجّل حوالي 11 انحلالًا في الدقيقة. يتم قياس العيّنة بعد 20 يومًا، فتسجِّل 8 انحلالات في الدقيقة. احسب عمر نصف الحديد–59 بوحدة اليوم.

42. يُظهر الرسم البياني الآتي النشاط الإشعاعي لعيّنة مُشعّة بالنسبة إلى الزمن.



a. قدّرْ عمر نصف العيِّنة باستخدام الرسم البياني.

b. انسخ الرسم البياني، ثمّ أكمل عليه المنحنى لإظهار النشاط لغاية 12 دقيقة.

c. تحتوي العيّنة على عنصر نشط إشعاعيًّا X ينحلّ إلى عنصر مستقر Y. احسب الزمن الذي تصبح فيه نسبة الذرّات Y إلى الذرّات X هي 7 ، إذا علمت بعدم وجود ذرّات Y في البداية.

الدرس 7-4: التفاعُلات النووية

43. ما الفرق بين الانشطار النووي والاندماج النووي؟

44. كم عدد وحدات الكتلة الذرّيّة الموجودة في الكيلوجرام الواحد من المادة؟

45. أي من التفاعُلين النوويين: الانشطار أم الاندماج، يحدث في النوى الصغيرة الكتلة؟ وأي منهما يحدث في النوى الكبيرة الكتلة؟ وضِّح إجابتك.

www.jnob-jo.com

46. a. هل تبقى الكتلة الكلّية هي نفسها في التفاعُل النووي؟ وضِّح إجابتك.
b. هل الطاقة الكليّة تبقى نفسها؟ وضِّح إجابتك.

47. ما هي الطاقة السكونيّة للإلكترون؟ كتلة الإلكترون هي 9.11×10^{-31} kg.

48. النظير $^{16}_{8}O$ يمتلك كتلة 15.99491 amu. احسب طاقة الربط لنواة ذلك النظير.

49. احسب النقص في كتلة نواة التريتيوم $^{3}_{1}H$ ، وهو نظير الهيدروجين الذي تبلغ كتلته 3.0160 amu. كتلة البروتون هي 1.0073 amu، وكتلة النيوترون هي 1.0087 amu، وكتلة الإلكترون هي 0.0005 amu.

50. ما هي طاقة الربط لنواة ذرّة التريتيوم؟

51. الأسئلة الآتية هي حول الكربون-12:
a. تبلغ كتلة النواة 11.9967 amu. ما هو نقص الكتلة؟
b. حوّل نقص الكتلة إلى وحدة الكيلوجرام، ثمّ استخدم معادلة أينشتاين لحساب طاقة الربط بوحدة الجول.

52. احسب الطاقة السكونيّة للبروتون والنيوترون والإلكترون بوحدة الجول. (كتلة البروتون هي 1.673×10^{-27} kg، كتلة النيوترون هي 1.6675×10^{-27} kg، كتلة الإلكترون هي 9.11×10^{-31} kg).

53. يُحرّر التفاعُل النوويّ:

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{144}_{56}Ba + ^{89}_{36}Kr + 3\,^{1}_{0}n$$

طاقةً مقدارها 200 MeV. حوّل هذه الطاقة إلى وحدة الجول.

www.jnob-jo.com

www.jnob-jo.com

الشكر والتقدير

يشكر المؤلفون والناشرون المصادر الآتية على السماح لهم باستخدام ملكياتهم الفكرية كما أنهم ممتنون لهم لموافقتهم على نشر الصور.

Egoreichenkov Evgenii/Shutterstock; Doug McLean/Shutterstock; Alexander Gatsenko/ Shutterstock; ARTSIOM ZAVADSKI/shutterstock; rumruay/Shutterstock; Fouad A. Saad/ Shutterstock; Rugged Studio/Shutterstock; Rvector/Shutterstock; Menno van der Haven/ Shutterstock; Maxim Gaigul/Shutterstock; Iri-s/Shutterstock; springsky/Shutterstock; Meggi/Shutterstock; Jo Theera/Shutterstock; Dmitry_Kosarev/Shutterstock; Shiyan Sergiy/ Shutterstock; MicroOne/Shutterstock; Macrovector/Shutterstock; robuart/Shutterstock; Vector FX/Shutterstock; T VECTOR ICONS/Shutterstock; Krafted/Shutterstock; Serorion/ Shutterstock; Prachaya Roekdeethaweesab/Shutterstock; vectorisland/Shutterstock; LWY Partnership/Shutterstock; Anatolir/Shutterstock; BigMouse/Shutterstock; yoojiwhan/ Shutterstock; Ton Snoei/Shutterstock; CreateCamera/Shutterstock; Anton Starikov/ Shutterstock; Liudmila Savushkina/Shutterstock; e X p o s e/Shutterstock; Ariyaporn chumkong/Shutterstock; Piart/Shutterstock; darsi/Shutterstock; RayPics/Shutterstock; Billion Photos/Shutterstock; Wstockstudio/Shutterstock; Sicco Hesselmans/Shutterstock; Tanakax3/Shutterstock; cobalt88/Shutterstock; Raman Shytsik/Shutterstock; John Mackintosh/Shutterstock; Timothy Hodgkinson/Shutterstock; Serorion/Shutterstock; Jan Babak/Shutterstock; Winai Tepsuttinun/Shutterstock; ParabolStudio/Shutterstock; Andrei Nekrassov/Shutterstock; Dmitry S. Gordienko/Shutterstock; Monika Wisniewska / Shutterstock; Joel Everard /Shutterstock, Monika Wisniewska /Shutterstock; Joel Everard /Shutterstock; Naeblys /Shutterstock; bicubic /Shutterstock; samray /Shutterstock; VectorMine /Shutterstock; OSweetNature /Shutterstock; Dietrich Leppert /Shutterstock; Fouad A. Saad /Shutterstock; BINK0NTAN /Shutterstock; mTaira /Shutterstock; ghost design /Shutterstock; Doroniuk Anastasiia /Shutterstock; corbac40 /Shutterstock; austinding /Shutterstock; Andrea Danti /Shutterstock; inigocia/Shutterstock; vchal/Shutterstock; tinkivinki/Shutterstock; Naypong Studio/Shutterstock; Lukasz Janyst /Shutterstock; John D Sirlin /Shutterstock; Walkabout Photo Guides /Shutterstock; Eugene R Thieszen / Shutterstock; Huntstyle /Shutterstock; Justin Hobson /Shutterstock; Vladiczech / Shutterstock; NASA images /Shutterstock; Arshad876 /Shutterstock; mapichai/Shutterstock; Minerva Studio/Shutterstock; Belish/Shutterstock; Christoph Burgstedt/Shutterstock; Mopic/Shutterstock; Peter Hermes Furian/Shutterstock; Nasky/Shutterstock; Draw Man/ Shutterstock; Rainer Lesniewski/Shutterstock; Robert Adrian Hillman/Shutterstock; Designua/Shutterstock; Alexander Lukatskiy/Shutterstock; giedre vaitekune/Shutterstock; Fuss Sergey/Shutterstock; Pat_Hastings/Shutterstock; Jakkapan Sookjaroen/Shutterstock; ghost design/Shutterstock; Andrei Kuzmik/Shutterstock; Ras Abu Fontas A3 plant; Purple Anvil/Shutterstock; Eric Iselee/Shutterstock; Martin Voeller/Shutterstock; Sebastian Kaulitzki/Shutterstock; Michiel de Wit /Shutterstock; Flegiere/Shutterstock; Steve Bower/ Shutterstock; terekov igor/Shutterstock; Kimberly Hall/Shutterstock; Oleksandr_Delyk/ Shutterstock; grzym/Shutterstock; Anton Starikof/Shutterstock; marcinm111/Shutterstock; David Tonelson/Shutterstock; Ultrapek/Shutterstock; koosen/Shutterstock; Ebtikar/ Shutterstock; royaltystockphoto.com/Shutterstock; juan gartnear/Shutterstock; Daojah/ Shutterstock; Catherine Eckhart/Shutterstock; Sebastian Kaulitzki/Shutterstock; Burdun Illiya/Shutterstock; Kateryna Kon/Shutterstock; Maxx-studia/Shutterstock; lightboxx/ Shutterstock; gorodenkoff/Shutterstock; okskaz/Shutterstock; Mike Workman/Shutterstock; Miss E Media/Shutterstock; Eric Agar/Shutterstock; IanRedding/Shutterstock; Aldona Griskeviciene/Shutterstock; Raland/Shutterstock; Okrasyuk/Shutterstock; Photomaster/ Shutterstock; A7880S/Shutterstock; PhotocechCZ/Shutterstock; Rizik/Shutterstock; SunshineVector/Shutterstock; Lebendkulturen.de/Shutterstock; eranicle/Shutterstock; Bijanart/Shutterstock; JubalHarshaw/Shutterstock; Taiga/Shutterstock; /Shutterstock; / Shutterstock; /Shutterstock; /Shutterstock; /Shutterstock;

www.jnob-jo.com