تم تحميل هذا الملف من موقع المناهج الإماراتية

*للحصول على أوراق عمل لجميع الصفوف وجميع المواد اضغط هنا

https://almanahj.com/ae

* للحصول على أوراق عمل لجميع مواد الصف الثاني عشر اضغط هنا

https://almanahj.com/ae/12

* للحصول على جميع أوراق الصف الثاني عشر في مادة فيزياء ولجميع الفصول, اضغط هنا

https://almanahj.com/ae/12

* للحصول على أوراق عمل لجميع مواد الصف الثاني عشر في مادة فيزياء الخاصة بـ اضغط هنا

https://almanahj.com/ae/12

* لتحميل كتب جميع المواد في جميع الفصول للـ الصف الثاني عشر اضغط هنا

https://almanahj.com/ae/grade12

للتحدث إلى بوت المناهج على تلغرام: اضغط هنا

https://t.me/almanahj_bot

الفيزياء في حياتك

تشير الأخاديد الموجودة على سطح المريخ إلى أن المياه كانت تتدفق عليه في زمن من الأزمنة. وهناك دليل آخر اكتشفه مطياف الكتلة الموجود على متن مركبة الفضاء التي هبطت على المريخ. فعند تعريض تربة المريخ وغازاته إلى المجالات الكهربائية والمغناطيسية لمطياف الكتلة، ظهرت إشارات دالّة على وجود الماء.

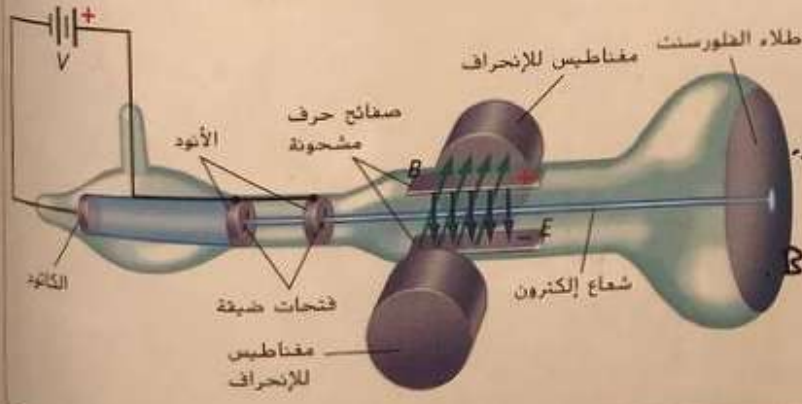
تجارب طومسون

تعد الموجات الكهرومغناطيسية جزءًا لا يتجزأ من حياتنا اليومية. فبعض الموجات هي التي تحمل إليك رسائلك على الهاتف الخلوي. وهي التي تحمل الموسيقى التي تسمعها أجهزة الراديو. وهي التي تمكنك من الرؤية. لكي نفهم طريقة اندماج المجالات الكهربائية والمغناطيسية لإنشاء موجات كهرومغناطيسية، علينا أن نفهم الإلكترون أولاً. هل تعرف لماذا؟ لأن الموجات الكهرومغناطيسية تنشأ بسبب تسارع الإلكترونات.

اكتشاف الإلكترون على مدار القرن التاسع عشر، كان العلماء يعتقدون أن الذرة هي أصغر وحدة في المادة. ثم تنامت الأدلة التي أكدت على أن الذرات تحتوي على جسيمات ذات شحنة سالبة. وفي عام 1894، أطلق على هذه الجسيمات اسم الإلكترون. غير أن طبيعة الإلكترون في ذلك الوقت لم تكن معروفة، ولم يكن معروفًا كذلك ما إذا كان من الممكن فصل الإلكترونات من الذرة. وفي عام 1897، استطاع طومسون، أثناء قيامه بإجراء تجارب باستخدام أنبوب أشعة الكاثود، أن يستخرج الجسيمات ذات الشحنة السالبة من ذرات المواد المختلفة. فكيف فعل هذا؟

قام طومسون بتفريغ الهواء من أنبوب أشعة الكاثود، الشبيهة بالأنبوب الظاهر في **الشكل 1**. ووصل الأنبوب ببطارية ولدت فرق جهد كبير بين الكاثود والأنود. وفي طرف الأنبوب المواجه للكاثود، لاحظ طومسون وجود بقعة مضيئة تسببت فيها حزمة غير مرئية (شعاع الكاثود) تسارعت من الكاثود نحو الأنود بفعل فرق الجهد. وأثناء انتقالها مر شعاع الكاثود بالشقوق الموجودة في الأنود. وأدرك طومسون أن الشعاع يتكون من جسيمات ذات شحنة سالبة، وذلك من خلال الغازات الضئيلة المتبقية في الأنبوب.

الشكل 1 في هذا الأنبوب، الشبيه بأنبوب أشعة الكاثود الذي استخدمه طومسون، يعمل فرق الجهد الموجود بين الأنود والكاثود على تسريع الإلكترونات باتجاه الأنود.



الفكرة الرئيسة

يمكن استخدام انحراف الجسيمات المتحركة في المجالات الكهربائية والمغناطيسية لمعرفة خصائص هذه الجسيمات.

الأسئلة الرئيسة

- كيف استطاع فيزيائيو القرن التاسع عشر قياس نسبة الشحنة إلى الكتلة وقياس كتلة الإلكترون؟
- كيف يمكنك تحديد سرعة الجسيمات في المجالات الكهربائية والمغناطيسية، وكيف يمكنك إيجاد نسبة شحنة هذه الجسيمات إلى كتلتها؟
- كيف يقوم مطياف الكتلة بفصل الأيونات ذات الكتل المختلفة؟

مراجعة المفردات

قانون نيوتن الثاني ينص على أن تسارع الجسم يتناسب طرديًا مع محصلة القوى المؤثرة عليه وعكسيًا مع كتلته.

المفردات الجديدة

النظير isotope

مطياف الكتلة mass spectrometer

* ما علاقة الالكترون بالموجات الكهرومغناطيسية؟
* ماهي وظائف الموجات الكهرومغناطيسية
* ماهي مميزات تجارب انبوب اشعة الكاثود
* ماهي وظيفة فرق الجهد في أنبوب أشعة الكاثود؟
* استخدم تومسون مجالان كهربائية ومغناطيسية:-
  - في مجالات الكهربائية:- تنحرف الالكترونات الى اعلى نحو الصفيحة الموجبة E.
  - في مجالات المغناطيسية:- تنحرف الالكترونك الى أسفل B.

Scanned by CamScanner

على الرغم من أن طومسون لم يكن يعرف شحنة (q) ولا كتلة (m) للجسيمات الموجودة في شعاع الكاثود، إلا إنه استطاع تحديد نسبة شحنة هذه الجسيمات إلى كتلتها. وكانت النسبة التي وجدها طومسون مرتفعة جدًا، ربما لأن كتلة الجسيمات كانت صغيرة جدًا. كما اكتشف طومسون أن نسبة الشحنة إلى الكتلة قد ظلت ثابتة بغض النظر عن نوع الغاز الموجود في الأنبوب. واستنتج طومسون أن الجسيمات كانت مكونات سالبة لجميع الذرات - إلكترونات.

نسبة الشحنة إلى الكتلة إذا أمعنا النظر في تجربة طومسون فإننا نكتشف الطريقة التي استطاع بها طومسون تحديد نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته. ففي داخل أنبوب أشعة الكاثود. كما في **الشكل 1**، توجد لوحتان فلزيتان ذات شحنات متضادة تنتجان مجالاً كهربيًا. بينما تنتج المغانط الكهربائية مجالاً مغناطيسيًا خارج الأنبوب. وبتغيير أحد المجالين، وجد طومسون أن بإمكانه تغيير مسار حزمة الإلكترون.

وجّه طومسون المجال الكهربائي في اتجاه متعامد على حزمة الإلكترونات. وولد هذا المجال (E) قوة (تساوي qE) جعلت الحزمة تنحرف إلى الأعلى باتجاه اللوح الموجب. ووجّه طومسون المجال المغناطيسي في اتجاه متعامد على حزمة الإلكترون والمجال الكهربائي. تذكر أن القوة المبذولة من قبل المجال المغناطيسي تكون متعامدة على المجال وعلى اتجاه حركة الإلكترونات. وبالتالي فالمجال المغناطيسي في الأنبوب (B) قد ولّد قوة (تساوي Bqv، حيث v هي سرعة الإلكترون) جعلت حزمة الإلكترون تنحرف لأسفل.

التأكد من فهم النص التطبيق كيف يمكنك تغيير المجال المغناطيسي بحيث تنحرف الإلكترونات لأعلى؟

عدّل طومسون قوى المجالين الكهربائي والمغناطيسي إلى أن سارت حزمة الإلكترون في مسار مستقيم دون أن تنحرف. وعندما حدث هذا، كانت قوة كلا المجالين متساوية في المقدار ومتعاكسة في الاتجاه. ويمكن التعبير عن هذا الأمر رياضيًا على النحو التالي:

$$Bqv = Eq$$

وباشتقاق المعادلة لإيجاد قيمة v نحصل على التالي:

$$v = \frac{Eq}{Bq} = \frac{E}{B}$$

توضّح المعادلة السابقة أن القوى كانت متوازنة فقط في حالة الإلكترونات ذات السرعة المحددة (v). إذا تم إيقاف المجال الكهربائي، فلن تتبقى سوى القوة الناشئة عن المجال المغناطيسي. أنت تعرف أن اتجاه حركة الإلكترون يكون متعامدًا على القوة المغناطيسية. وبالتالي فالإلكترون في المجال المغناطيسي المنتظم يخضع لتسارع متجه نحو المركز ويسير في مسار دائري نصف قطره r. وباستخدام قانون نيوتن الثاني للحركة الدائرية، نجد أن المعادلة التالية تصف مسار الإلكترون:

$$Bqv = \frac{mv^2}{r}$$

وباشتقاق المعادلة لإيجاد قيمة $\frac{q}{m}$ نحصل على المعادلة التالية.

نسبة شحنة إلكترون في مجال مغناطيسي إلى كتلته
في المجال المغناطيسي، تكون نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته مساوية لنسبة سرعة الإلكترون مقسومة على ناتج ضرب شدة المجال المغناطيسي ونصف قطر المسار الدائري للإلكترون.

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{Br}$$

تجربة مصغرة

تحريك الجسيمات المشحونة

كيف تؤثر المجالات الكهربائية والمغناطيسية في تحريك الجسيمات المشحونة؟

Scanned by CamScanner

مختبر الفيزياء

كتلة الإلكترون

كيف يمكنك تحديد كتلة الإلكترون؟

كتلة الإلكترون لإيجاد قيمة نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته، قام طومسون بحساب سرعة (v) المسار المستقيم لحزمة الإلكترون باستخدام القيم المناسبة لكل من E و B. ثم قام بإلغاء المجال الكهربائي وقاس المسافة بين البقعة المضيئة التي أحدثتها الحزمة غير المنحرفة على طلاء الفلورسنت وبين البقعة التي تكونت عندما كان المجال المغناطيسي هو وحده المؤثر على الحزمة. وباستخدام هذه المسافة، حسب طومسون نصف قطر (r) المسار الدائري لحزمة الإلكترون وأوجد قيمة q/m ووجدها تساوي -1.759×10^{11} C/kg.

كان حساب نسبة الشحنة إلى الكتلة هي الخطوة الأولى في حساب كتلة الإلكترون. عندما كان طومسون يجري تجاربه، كان متوسط شحنة الإلكترون معروفًا من خلال تجارب التحليل الكهربائي التي أجريت على العديد من الإلكترونات وكانت قيمتها $q = -1.602\times10^{-19}$ C. وافترض طومسون إمكانية استخدام هذه القيمة للإلكترون المفردة. ولاحقًا، في العام 1909، أكد روبرت ميليكان هذه القيمة، حيث وجد أن جميع الإلكترونات لها نفس الشحنة (e). وبالتالي أصبح من الممكن حساب كتلة (m_e) الإلكترون باستخدام المعادلة التالية

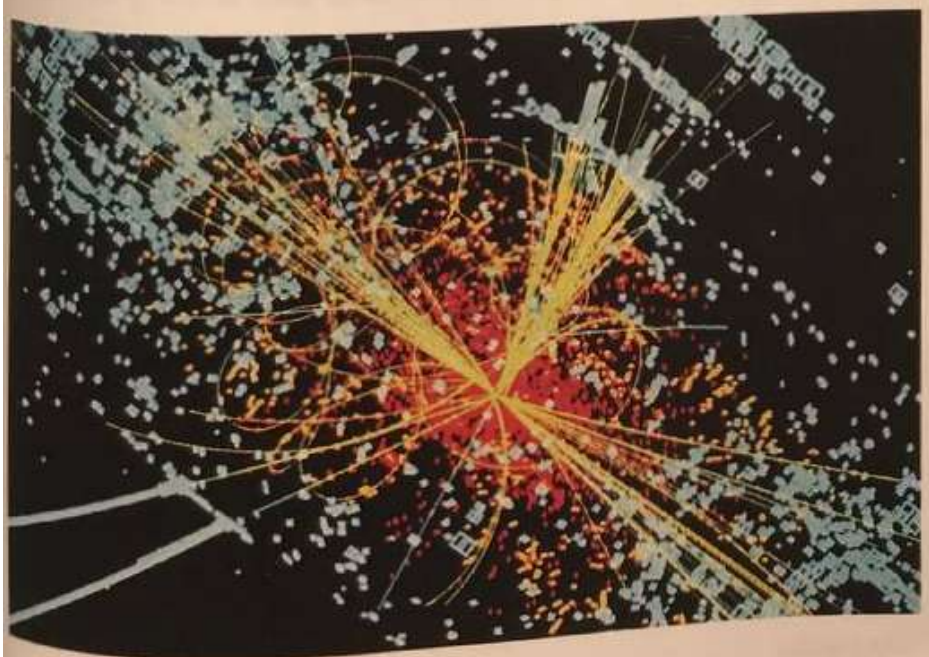
$$m_e = \frac{e}{q/m} = \frac{-1.602\times10^{-19}\ \text{C}}{-1.759\times10^{11}\ \text{C/kg}} = 9.107\times10^{-31}\ \text{kg}$$

$$m_e = 9.11\times10^{-31}\ \text{kg}.$$

التجارب باستخدام الأيونات الموجبة استخدم طومسون كذلك أنبوب أشعة الكاثود لدراسة الأيونات الموجبة. يشير الأيون إلى ذرة مشحونة أو جزيء مشحون. عند مرور الجسيمات ذات الشحنة الموجبة عبر مجال الكهربائي أو مجال مغناطيسي، فإنها تنحرف في اتجاه متعاكس لاتجاه انحراف الإلكترونات، كما يظهر في **الشكل 2**.

كتلة البروتون لجعل الأيونات موجبة، أضاف طومسون مقدارًا ضئيلاً من غاز الهيدروجين إلى الأنبوب وعكس اتجاه المجال الكهربائية بين الكاثود والأنود. أدى المجال الكهربائي القوي إلى انتزاع إلكترونات من ذرات الهيدروجين، فأصبحت الذرات أيونات موجبة. ثم عمل المجال الكهربائي على تسريع مرور الأيونات عبر الشق الضيق إلى منطقة الانحراف في الأنبوب. ومرت حزمة الأيونات الناشئة عبر المجالات الكهربائية والمغناطيسية في طريقها وصولاً إلى شاشة الفلورسنت في طرف الأنبوب.

وحدد طومسون نسبة شحنة الأيونات الموجبة للهيدروجين (والتي أطلق عليها لاحقًا اسم البروتونات) إلى كتلتها بنفس الطريقة التي حدد بها نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته. ومن هذه النسبة، استطاع إيجاد كتلة البروتون الواحد ووجد أنها تساوي 1.67×10^{-27} kg. واستمر طومسون في استخدام أنبوب أشعة الكاثود لتحديد كتل الأيونات الموجبة الناتجة عن انتزاع إلكترون أو أكثر من الغازات الثقيلة كالهيليوم والنيون والأرجون.



الشكل 2 تنحني مسارات الجسيمات ذات الشحنات السالبة والموجبة عند مرورها عبر مجال مغناطيسي في اتجاهات متعاكسة. وتحاكي هذه الصورة المنتجة حاسوبيًا حالة التصادم في مصادم الهدرونات الكبير LHC.

Scanned by CamScanner

مثال 1

نصف قطر المسار يتحرك إلكترون (كتلته 9.11×10^{-31} kg) في أنبوب
2.0×10^{7} m/s متعامدًا على مجال مغناطيسي شدته 3.5×10^{-3} T في
يبلغ نصف قطر المسار الدائري للإلكترون؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مسار الإلكترون وضع تسمية على السرعة (v).
- ارسم المجال المغناطيسي متعامدًا على السرعة.
- ارسم القوة المؤثرة على الإلكترون. أضف القيمة r المجهولة لمسار الإلكترون.

المعلوم	المجهول
$v = 2.0\times10^{7}$ m/s	$r = ?$
$B = 3.5\times10^{-3}$ T	
$m = m_e = 9.11\times10^{-31}$ kg	
$q = e = 1.602\times10^{-19}$ C	

2 حساب المجهول

استخدم قانون نيوتن الثاني لوصف إلكترون في أنبوب أشعة الكاثود بتع

$$Bqv = \frac{mv^2}{r}$$

$$r = \frac{mv}{Bq}$$

10^{-3} T, ◄ عوض عن

$$= \frac{(9.11\times10^{-31}\text{ kg})(2.0\times10^{7}\text{ m/s})}{(3.5\times10^{-3}\text{ T})(1.602\times10^{-19}\text{ C})}$$

$$= 3.2\times10^{-2}\text{ m}$$

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** إن نصف قطر المسار الدائري هو قيا
- **هل القيم معقولة؟** تعد أنصاف الأقطار البالغ طولها سنتيمترات من الأجهزة ويمكن قياسها بسهولة. اتجاه انحراف الإلكترون (شحنة سالبة) عكس اتجاه انحراف البروتون (شحنة موجبة).

تطبيق

بالنسبة للأسئلة التالية، سنفترض أن جميع الجزيئات المشحونة تتحرك باتجاه متعامد على مجال مغناطيسي منتظم.

1. يتحرك بروتون بسرعة 7.5×10^{4} m/s عند مروره عبر مجال مغناطيسي شدته 0.080 T. احسب نصف قطر مساره الدائري. لاحظ أن شحنة البروتون تكون مساوية لشحنة الإلكترون غير أن إشارتها موجبة.
2. تتحرك إلكترونات في مجال مغناطيسي شدته 3.0×10^{-3} T ومتوازنة بفعل مجال كهربائي شدته 2.4×10^{4} N/C.
   a. فكم تبلغ سرعة الإلكترونات؟
   b. إذا كان المجال الكهربائي ناشئًا عن لوحين مشحونين موضوعين على مسافة 0.50 cm من بعضهما البعض، فكم يبلغ فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين؟
   c. إذا تم إيقاف المجال الكهربائي، فكم سيبلغ نصف قطر المسار الدائري الذي ستسير فيه الإلكترونات؟
3. بروتونات تسير بدون انحراف في مجال مغناطيسي شدته 0.060 T ومتوازنة بفعل مجال كهربائي شدته 9.0×10^{3} V/m. فما هي سرعة البروتونات المتحركة؟
4. **التحدي** ما المسار الذي سيأخذه أيون موجب يتحرك في مجال مغناطيسي يزيد خطيًا مع الزمن؟

Scanned by CamScanner

مطياف الكتلة

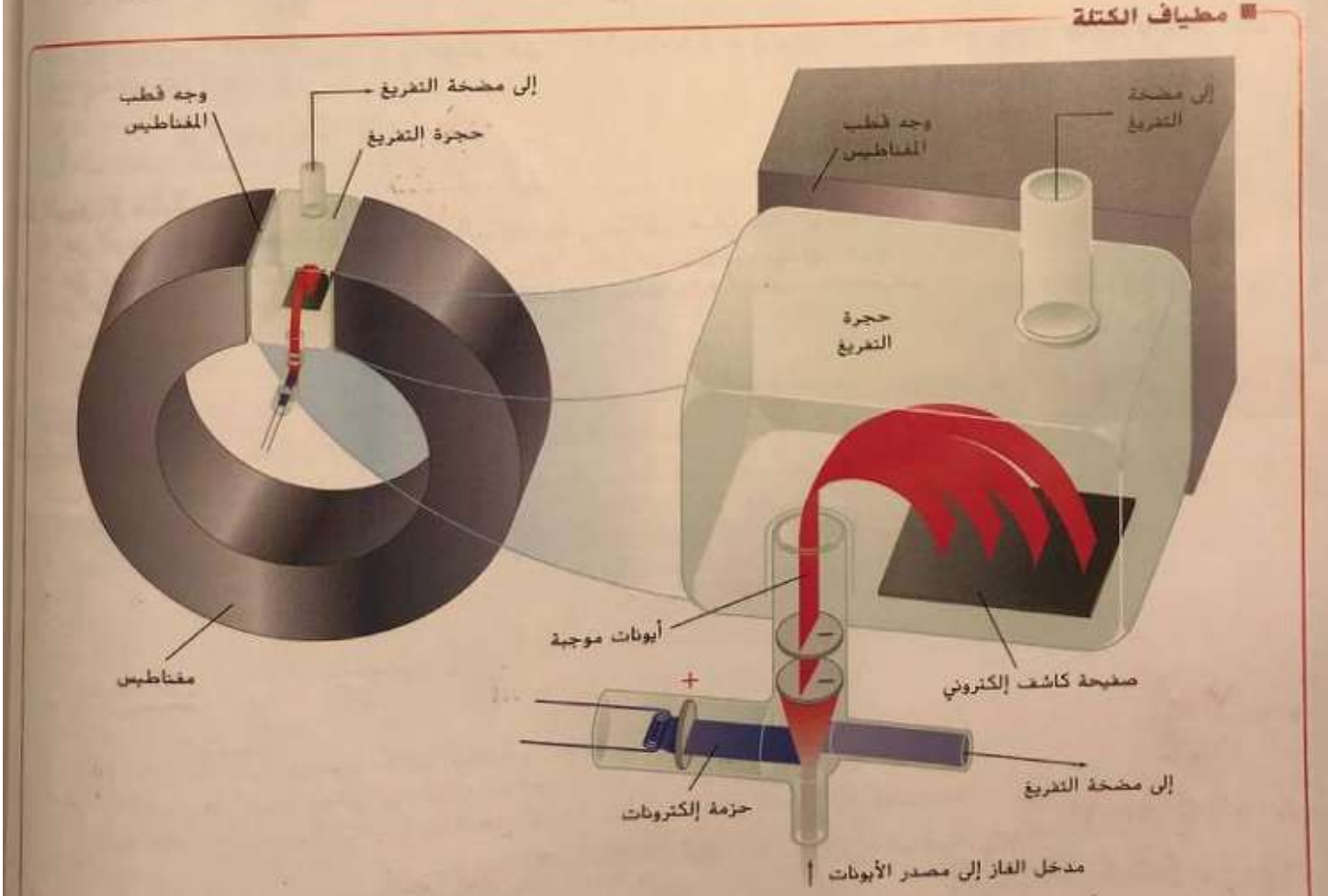
حدث شيء لافت للانتباه عندما وضع طومسون غاز النيون في أنبوب أشعة الكاثود. حيث لاحظ طومسون وجود نقطتين مضيئتين على الشاشة بدلاً من نقطة واحدة. وبحساب قيمة q/m لكل نقطة على حدة استنتج طومسون أن هناك ذرتين مختلفتين من النيون لهما نفس الخواص الكيميائية ولكن تختلفان في الكتلة. وتُعرف أشكال الذرة الواحدة المتشابهة في الخواص الكيميائية والمختلفة في الكتلة باسم **النظائر**.

وكان فصل طومسون لنظائر النيون على أساس كتلتها هو التطبيق الأول لقياس الطيف الكتلي. **مطياف الكتلة** هو عبارة عن أداة تقيس نسبة شحنة الأيونات الموجبة في المادة إلى كتلتها. ومن هذه النسبة، يصبح من الممكن تحديد النظائر الذرية التي تتشكل منها المادة. ويظهر أحد أنواع مطياف الكتلة في **الشكل 3**.

يجب أن تكون المواد التي يتم إدخالها في مطياف الكتلة إما غازات في الأصل ① أو مواد تم تسخينها لتصل إلى الحالة الغازية. ويتم إدخال الغاز إلى مكوّن يُعرف باسم المصدر الأيوني. ويمكنك رؤيته في أسفل **الشكل 3**. وفي المصدر الأيوني، تتصادم جزيئات الغاز ② نشطة من الإلكترونات مع ذرات الغاز وتنتزع منها إلكترون أو أكثر لتحصل على أيونات موجبة. ثم يعمل المجال الكهربائي-الناتج عن فرق الجهد بين القطبين في المصدر ③ الأيوني-على تسريع الأيونات التي تدخل مجالاً مغناطيسيًا في حجرة التفريغ. يعمل المجال المغناطيسي المنتظم على تحريك الأيونات في مسار دائري قبل أن تصطدم بكاشف الإلكترونات. ④

الشكل 3 داخل مطياف الكتلة (الموجود على اليسار). يعمل المغناطيس على انحراف الأيونات الموجبة في حجرة التفريغ وفق كتلتها. وكل جسيم تكون له كتلة منفصلة يتم تسجيلها على اللوح الكاشف في غرفة التفريغ.

حدد القطب الشمالي للمغناطيس.



Scanned by CamScanner

حساب نسبة الشحنة إلى الكتلة بمجرد أن تتحرك الأيونات في مطياف الكتلة في مجال مغناطيسي، فإنها تأخذ مسارًا دائريًا. ويعتمد نصف قطر هذا المسار على كتلة الأيون. فكلما كان الأيون أخف، زاد انحناؤه وقل نصف قطر مساره الدائري. ويمكن استخدام نصف قطر مسار كل أيون لتحديد نسبة الشحنة إلى الكتلة. يمكن حساب نصف قطر (r) مسار الأيون باستخدام قانون نيوتن الثاني للحركة:

$$Bqv = \frac{mv^2}{r}$$

وباشتقاق المعادلة لإيجاد قيمة r نحصل على المعادلة التالية:

$$r = \frac{mv}{qB}$$

ويمكن حساب سرعة الأيون المتسارع من معادلة الطاقة الحركية للأيونات المتحركة بعد سكون إذا عرفنا فرق الجهد (V_{accel}):

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = qV_{accel}$$

$$v = \sqrt{\frac{2qV_{accel}}{m}}$$

وبالتعويض عن هذا التعبير بقيمة v في المعادلة $r = \frac{mv}{qB}$ فإننا نحصل على نصف قطر المسار الدائري للأيون:

$$r = \frac{mv}{qB}$$

$$= \frac{m}{qB}\sqrt{\frac{2qV_{accel}}{m}}$$

$$= \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2V_{accel}m}{q}}$$

يمكن تبسيط هذه المعادلة بضرب طرفيها في B لنحصل على المعادلة التالية:

$$Br = \sqrt{\frac{2mV_{accel}}{q}}$$

ويمكن إعادة ترتيب هذه المعادلة بالشكل الظاهر أدناه.

نسبة شحنة أيون في مطياف الكتلة إلى كتلته
تساوي نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته ضعف فرق الجهد المتسارع مقسومًا على ناتج ضرب مربع شدة المجال المغناطيسي ومربع نصف قطر المسار الدائري للأيون.

$$\frac{q}{m} = \frac{2V_{accel}}{B^2r^2}$$

لحساب كتلة الأيون، يمكن قسمة شحنة الأيون على نسبة الشحنة إلى الكتلة المقاسة. شحنة البروتون تساوي شحنة الإلكترون غير أنها موجبة: 1.602×10^{-19} C. لاحظ أنه في حالة انتزاع أكثر من إلكترون من ذرات الغاز في المصدر الأيوني، يجب ضرب الشحنة في عدد الإلكترونات المنزوعة. ويمكن التحكم في هذا العدد (عدد الإلكترونات المنزوعة.) من قبل مشغل مطياف الكتلة.

☑ **التأكد من فهم النص الحساب ما هي شحنة الأيون الذي نُزعت منه ثلاثة إلكترونات؟**

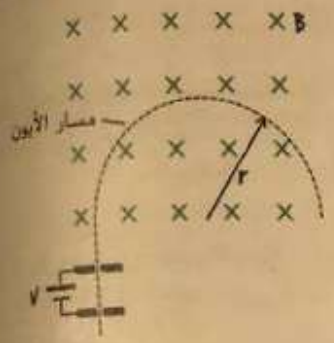
* كيف نحصل على ذرة أحادية التأين؟
- عند تحرير أول إلكترون للذرة.

* كيف يمكننا الحصول على ذرة ثنائية التأين؟
- بزيادة الطاقة لتحرير إلكترون ثاني.

* كيف يمكننا زيادة الطاقة؟
- بتعريضها إلى المجال كهربائي أكبر فسيزداد تسارع الإلكترونات.

Scanned by CamScanner

التي انتزع منها إلكترونان. أي أن هذه
تداره 34 V. عند مرورها عبر
53 m. احسب كتلة عدد النويات (البروتونات و



القطر.

المجهول

$m_{\text{نيون}} = ?$

$N_{\text{نوية}} = ?$

$q = 3.204\times10^{-19}$ C, $B = 0.050$ T,
$r = 0.053$ m, and $V_{accel} = 34$ v

من

تطبيق ص 164 :-

$\frac{q}{m} = \frac{2V_{accel}}{r^2B^2}$, $m = \frac{qr^2B^2}{2V_{accel}}$ .5

$m = \frac{(1.602\times10^{-19})(0.085)(7.2\times10^{-2})}{2(110)}$

$= 2.710\times10^{-25}$ kg

$\frac{q}{m} = \frac{2V_{accel}}{r^2B^2}$, $m = \frac{qr^2B^2}{2V_{accel}}$ .6

$m = \frac{2(1.602\times10^{-19})(0.106)^2(5.0\times10^{-2})^2}{2(66.0)}$

$= 6.810\times10^{-25}$ kg

$q = 1.602\times10^{-19}$ $\frac{q}{m} = \frac{2V_{accel}}{r^2B^2}$ $r^2 = \frac{2mV}{qB^2}$ .7

$m = 7m_p = 1.669\times10^{-27}$

$V_{accel} = 320$ V $r = \sqrt{\frac{2mV_{accel}}{qB^2}}$

$B = 1.5\times10^{-2}$ T

$= \sqrt{\frac{2(11.69\times10^{-27})(320)}{(1.602\times10^{-19})^2(1.5\times10^{-2})^2}}$

$= 0.455$ m $= 0.46$ m

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** يجب أن تُقاس الكتلة بالجرامات أو الكيلوجرامات. عدد النويات لا يُمثَّل بأي وحدة.
- هل هذا المقدار واقعي؟ لذرة النيون نظيران كتلتاهما التقريبية 20 و 22.

تطبيق

5. أرسلت حزمة متأينة بشكل مفرد (+1) من ذرات الأكسجين عبر مطياف الكتلة. القيم هي $q = 1.602\times10^{-19}$ C, $r = 0.085$ m, $B = 7.2\times10^{-2}$ T, و $V_{accel} = 110$ V. احسب كتلة ذرة الأكسجين.

6. حلل مطياف الكتلة حزمة ثنائية التأين (+2) من ذرات الأرجون وأظهر بياناتها. وكانت القيم الناتجة عن التحليل هي $2(1.602\times10^{-19}$ C), $B = 5.0\times10^{-2}$ T, $r = 0.106$ m و $V_{accel} = 66.0$ V. احسب كتلة ذرة الأرجون.

7. تتسارع حزمة أحادية التأين (+1) من ذرات الليثيوم ($m \approx 7m_{\text{بروتون}}$) بفرق جهد مقداره 320 V وتمر عبر مجال مغناطيسي شدته 1.5×10^{-2} T. فما نصف قطر مسار انحناء الحزمة في المجال المغناطيسي؟

8. **التحدي** بغض النظر عن طاقة الإلكترونات المستخدمة لإنتاج الأيونات، لم يستطع طومسون نزع أكثر من إلكترون واحد من ذرة الهيدروجين. فما الذي كان يمكن أن يستنتجه بشأن الشحنة الموجبة لذرة الهيدروجين؟

$r^2 = \frac{2mV}{qB^2}$

Scanned by CamScanner

تحليل النظائر تصطدم الأ
أماكن مختلفة. وتعتمد أماكن ا
الأيون، زاد قطر مساره المنحني
بين موضع اصطدام الأيون والش
نصف هذه المسافة المُقاسة.

المسافة التقريبية بين مواض
موضّح في **الشكل 4**. وتشير ال
تتكون من أربعة نظائر. وتقاس و

جميع أيونات الكروم في الـ
فقط من حزمة الكروم الأصلية
المنزوعة من الذرات الأصلية (ا
متأينة بشكل مفرد (+1). يلزم
متأينة بشكل مزدوج (+2). وهذ
الكهربائي وهو ما يمنح حزمة الإ
الإلكترونات ذات الطاقة الأعلى
ثنائية. وبهذه الطريقة، يمكن لمس
دراسته.

التأكد من فهم النص ص

تطبيقات قياس الطيف الكتلي يتمتع مطياف الكتلة بحساسية بالغة تجعل بإمكانه فصل الأيونات ذات الكتل المختلفة اختلافًا ضئيلاً يصل إلى واحد من عشرة آلاف في المائة. وبسبب هذه الدقة، يمكن للعلماء استخدام مطياف الكتلة للكشف عن وجود جزيء واحد في عينة بها 10 مليارات جزيء.

لمطياف الكتلة مجموعة واسعة من التطبيقات. فكما قرأت في بداية هذه الوحدة، يُستخدم مطياف الكتلة لتحليل الغلاف الجوي والتربة في المريخ وأجسام أخرى في النظام الشمسي. كما يشيع استخدام مطياف الكتلة في العلوم الجيولوجية والمستحضرات الدوائية والبيولوجية، وحتى علوم الطب الشرعي. وعلى سبيل المثال، يُستخدم مطياف الكتلة في المطارات للكشف عن آثار الجزيئات الموجودة في المتفجرات والتي يمكن أن يحملها المسافرون في أمتعتهم أو أيديهم أو أحذيتهم.

تبلغ كتلته 52 بروتون هو الأكثر وفرة، وأن مجموع النسب المئوية للنظائر الأربعة تساوي 100%. ويشير المتوسط المرجح لكتل نظائر العنصر إلى كتلة العنصر في الجدول الدوري.

احسب متوسط كتلة نظائر الكروم.

القسم 1 مراجعة

9. **الفكرة الرئيسة** يمكن معرفة نصف قطر المسار الدائري للأيون في مطياف الكتلة عن طريق المعادلة $r = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2V_{accel}m}{q}}$ استخدم هذه المعادلة لتفسير كيف يستطيع مطياف الكتلة فصل الأيونات ذات الكتل المختلفة.
10. **أنبوب أشعة الكاثود** صف كيف يمكن لأنبوب أشعة الكاثود الذي استخدمه طومسون إنشاء حزمة من الالكترونات.
11. **المجال المغناطيسي** يمكن لمطياف الكتلة تحليل الجزيئات التي تساوي كتلتها كتلة مئات البروتونات. إذا تم إنتاج أيونات ذات شحنة مفردة من هذه الجزيئات باستخدام نفس فرق الجهد المتسارع المستخدم مع الأيونات الأصغر، فكيف يجب تغيير المجال المغناطيسي لمطياف الكتلة بحيث تصطدم الأيونات بالكاشف؟
12. **نصف قطر المسار** يتحرك بروتون بسرعة 8.4×10^4 m/s أثناء مروره عبر مجال مغناطيسي شدته 12.0 mT. فكم يبلغ نصف قطر مساره الدائري؟
13. **الكتلة** تتسارع حزمة متأينة بشكل مزدوج (+2) من ذرات الأكسجين بفرق جهد مقداره 232 V ثم يدخل الأكسجين مجالاً مغناطيسيًا شدته 75 mT ويسير في مسار منحني نصف قطره 8.3 cm. فكم تبلغ كتلة ذرة الأكسجين؟
14. **التفكير الناقد** في المسألة المحلولة 2 (في الصفحة السابقة)، تم تحديد كتلة أحد نظائر النيون. وهناك نظير آخر من نظائر النيون تساوي كتلته كتلة 22 بروتون. فكم سيكون بعد المسافة بين هذين النظيرين على الكاشف؟

9. الفكرة الرئيسة يمكن معرفة نصف قطر المسار الدائري للأيون في مطياف الكتلة عن طريق المعادلة $r=\left(\frac{1}{B}\right)\sqrt{\frac{2Vm}{q}}$ فعند زيادة m يجب ان تزداد B ايضا. فاذا زادت m بمعامل مقداره 10 فان B تزداد بمعامل مقداره 3، فلابقاء كل r ثابتة يجب ان تزداد B بمقدار $\sqrt{3}$.

10 تبعث الإلكترونات من الكاثود وتتسارع بواسطة فرق الجهد وتمر خلال الشقوق لتكوين حزمة الشعاع.

11 ان الايونات جميعها لها شحنة نفسها سيكون المتغير الوحيد غير الثابت في المعادلة هو كتلة الايون m، لذا إذا زادت كتلة الايون m فسيزداد ايضا نصف القطر مسار الايون، وهذا يؤدي الى فصل مسارات الأيونات ذات الكتل المختلفة.

12. 3.7×10^{-6} m

13. 2.7×10^{-26} kg

Scanned by CamScanner

المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الفضاء

القسم 2

الفكرة الرئيسة

ترتبط الموجات الكهرومغناطيسية وتعمل على تذبذب المجالات الكهربائية والمغناطيسية التي تنتقل عبر الفضاء وتتفاعل مع المادة.

الأسئلة الرئيسة

- كيف تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في الفضاء؟
- كيف تتباين سرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية في المواد المختلفة؟
- كيف تقوم الموجات الكهرومغناطيسية بإرسال المعلومات؟
- ما العوامل التي تؤثر في حساسية الهوائي للموجات الكهرومغناطيسية ذات الأطوال الموجية المعينة؟

مراجعة المفردات

المكثف جهاز كهربائي يستخدم لتخزين الطاقة الكهربائية ويتكون من لوحين من مادة موصلة يفصل بينهما عازل.

المفردات الجديدة

الموجة الكهرومغناطيسية
electromagnetic wave

الطيف الكهرومغناطيسي
electromagnetic spectrum

الإشعاع الكهرومغناطيسي
electromagnetic radiation

جهاز الإرسال	transmitter
الهوائي	antenna
العازل الكهربائي	dielectric
الموجة الحاملة	carrier wave
الكهرضغطية	piezoelectricity
جهاز الاستقبال	receiver

الفيزياء في حياتك

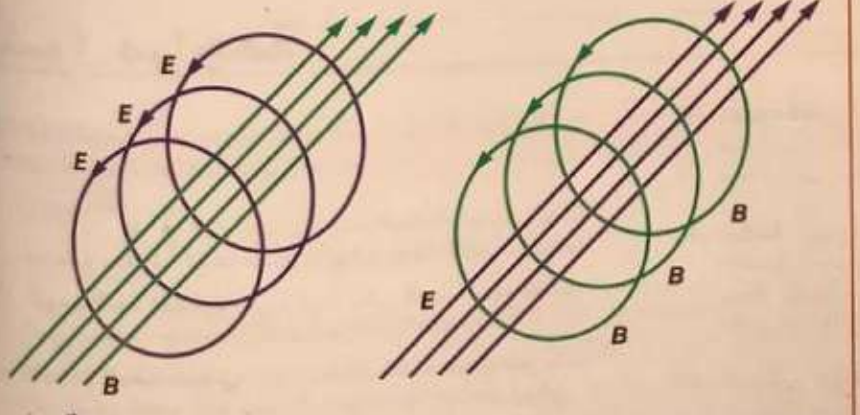
هل كنت تعلم أن الموجات الكهرومغناطيسية تُستخدم لطهي الطعام وإرسال الرسائل الصوتية إلى هاتفك المحمول؟ الموجات الكهرومغناطيسية تحمل الطاقة. ويمكنها أيضًا حمل معلومات. كيف يمكن للموجات الكهرومغناطيسية حمل المعلومات؟

ما المقصود بالموجات الكهرومغناطيسية؟

قرأت في القسم 1 أن الإلكترونات المتسارعة تنشئ موجات كهرمغناطيسية وأن هذه الموجات هي مزيج من المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية. تذكر أن هانز كريستيان أورستد كان أول من أثبت وجود علاقة بين الكهرباء والمغناطيسية عندما وجد في عام 1820، أن الشحنات المتحركة تنشئ مجالات مغناطيسية. وبعدها بعشرة أعوام اكتشف مايكل فاراداي وجوزيف هنري، كلٌّ على حدة، أن العكس صحيح–أي أن المجال المغناطيسي لسلكٍ ما يمكن أن يستحث مجالاً كهربائيًا.

الحركة في الفضاء يمكن للمجالات الكهربائية أن تُستحث حتى بدون سلك. فكما يظهر على يمين **الشكل 5**، يمكن للمجال المغناطيسي المتغير أن ينشئ بمفرده مجالاً كهربائيًا. والعكس صحيح، فيمكن للمجال الكهربائي المتغير أن ينشئ مجالاً مغناطيسيًا كما يظهر على يسار **الشكل 5**. وقد صاغ عالم الفيزياء الاسكتلندي جيمس ماكسويل العلاقة بين المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي في عام 1873، عندما لخّص عمل كولوم وأورستد وفاراداي في أربع معادلات. وقد تنبأت هذه المعادلات بإمكانية انتقال الموجات الكهرومغناطيسية في الفضاء. وفي عام 1887، أكد تلك النبوءة عالم الفيزياء الألماني هاينريش هرتز. وأُطلق اسم هرتز بعدها على الوحدة التي تقيس تردد تذبذب الموجة. تذكر أن 1 Hz يساوي دورة واحدة في الثانية.

وفي الوقت الحالي، أصبح من المعروف أن **الموجات الكهرومغناطيسية** ترتبط وتعمل على تذبذب المجالات الكهربائية والمغناطيسية التي تنتقل عبر الفضاء والمادة. وقد أدت معرفة خصائص الموجات الكهرومغناطيسية إلى العديد من التقنيات التي كان لها أثر هائل على المجتمع.



الشكل 5 يمكن لمجال كهربائي أن ينشأ عن مجال مغناطيسي متغير (اليسار). لاحظ أن خطوط المجال الكهربائي عبارة عن حلقات مغلقة، وخلافًا لمجال الكهرباء الساكنة، لا توجد شحنات كهربائية تبدأ عندها الخطوط أو تنتهي.

يمكن لمجال مغناطيسي أن ينشأ عن مجال كهربائي متغير (اليمين).

Scanned by CamScanner

$f = 5.70\times10^{14}$ $c = \lambda f$, $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00\times10^{8}}{5.70\times10^{14}}$ .15

$\lambda = ??$ $= 5.26\times10^{-7} = 526\times10^{-9}$

$c = 3.00\times10^{8}$ $= \boxed{526\ nm}$

$\lambda = ??$ $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00\times10^{8}}{8.2\times10^{14}}$ .16

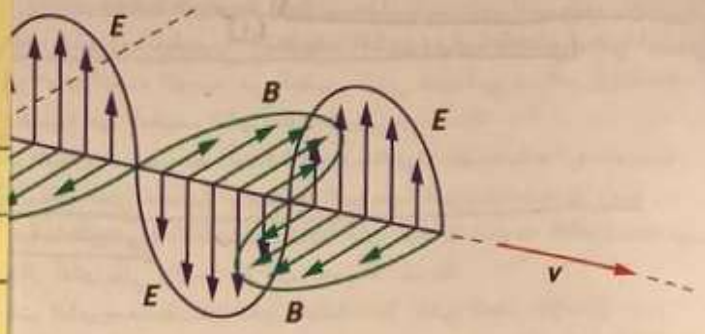
$f = 8.2\times10^{14}$ $= 3.7\times10^{-7}$

$c = 3.00\times10^{8}$ $= \boxed{370\ nm}$

$f = ??$ $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00\times10^{8}}{2.2\times10^{-2}}$ .17

$\lambda = 2.2\times10^{-2}$ $= \boxed{1.4\times10^{10}\ Hz}$

$c = 3.00\times10^{8}$



خصائص الموجات الكهرومغناطيسية

ما العلاقة بين المجال
والمجالات الكهربائية في الموجة الكهرومغناطيسية؟ تنشئ الإلكترونات
المجال الكهربائي للموجة، ويعمل المجال الكهربائي المتباين على إنشاء
المغناطيسي. وتظهر اتجاهات كلا المجالين في **الشكل 6**. ومع حركة
مجالها الكهربائي صعودًا وهبوطًا، بينما يتذبذب مجالها المغناطيسي في
على اتجاه المجال الكهربائي. ويكون كلا المجالين الكهربائي والمغناطيس
اتجاه انتشار الموجة.

السفر في الفراغ جميع الموجات الكهرومغناطيسية تتحرك بنفس الـ
الحيل. تعتبر الموجات الكهرومغناطيسية موجات مستعرضة ويمكن أن ت
الوسط. وعلى خلاف الأنواع الأخرى من الموجات، يمكن للموجة الكهرومغناطيسية أن
تنتقل في الفراغ. وتساوي السرعة التي تنتقل بها الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ
299,792,458 m/s أو تقريبًا 3.00×10^{8} m/s ويشار إليها بالرمز c، سرعة الضوء.
وتنتقل الموجات الكهرومغناطيسية بسرعة أبطأ قليلًا في الهواء. تذكر أن هناك علاقة
بين الطول الموجي والتردد وسرعة الموجة كما يظهر من المعادلة التالية:

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

في المعادلة المذكورة أعلاه، يُقاس الطول الموجي (λ) بالأمتار، ويُقاس السرعة
(v) بوحدة المتر لكل ثانية، ويقاس التردد (f) بوحدة الهرتز. بالنسبة للموجة
الكهرومغناطيسية التي تنتقل عبر الفضاء، فإن سرعتها (v) تساوي سرعة الضوء (c).
وبالتالي تصبح المعادلة بالنسبة للموجة الكهرومغناطيسية كما يلي:

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

لاحظ أنه في معادلة الطول الموجي والتردد، يكون حاصل ضرب التردد في الطول
الموجي ثابتًا – ويساوي c – لأي موجة كهرومغناطيسية. وبالتالي إذا زاد الطول الموجي
قل التردد، والعكس صحيح.

التأكد من فهم النص احسب إذا زاد تردد الموجة بعامل 1.25، فبأي عامل سيتغير الطول الموجي؟

$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00\times10^{8}}{5.70\times10^{14}} =$

تطبيق

15. ما الطول الموجي للضوء الأخضر إذا علمت أن تردده يساوي 5.70×10^{14} Hz؟
16. إذا كان تردد موجة كهرومغناطيسية 8.2×10^{14} Hz، فما هو الطول الموجي لهذه الموجة؟
17. ما هو تردد الموجة الكهرومغناطيسية التي يبلغ طولها الموجي 2.2×10^{-2} m؟
18. **التحدي** إذا كانت موجة كهرومغناطيسية تنتشر باتجاه نحو اليمين وكان المجال الكهربائي يتجه إلى داخل وخارج الصفحة، ففي أي اتجاه سيكون المجال المغناطيسي؟

$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00\times10^{8}}{2.2\times10^{-2}}$

الشكل 7 يحتوي الطيف الكهرومغناطيسي على موجات تتراوح ما بين موجات الراديو الطويلة (ذات الأطوال الموجية الأكبر من المنازل) وموجات جاما القصيرة (ذات الأطوال الموجية الأصغر من الذرات). يوضّح العمود الأيسر أمثلة لمصادر الإشعاع. لاحظ أن تردد الموجة يتجاوز الترددات المبينة في هذه الصورة.

ملاحظة أي أنواع الموجات الكهرومغناطيسية في حجم البروتون؟

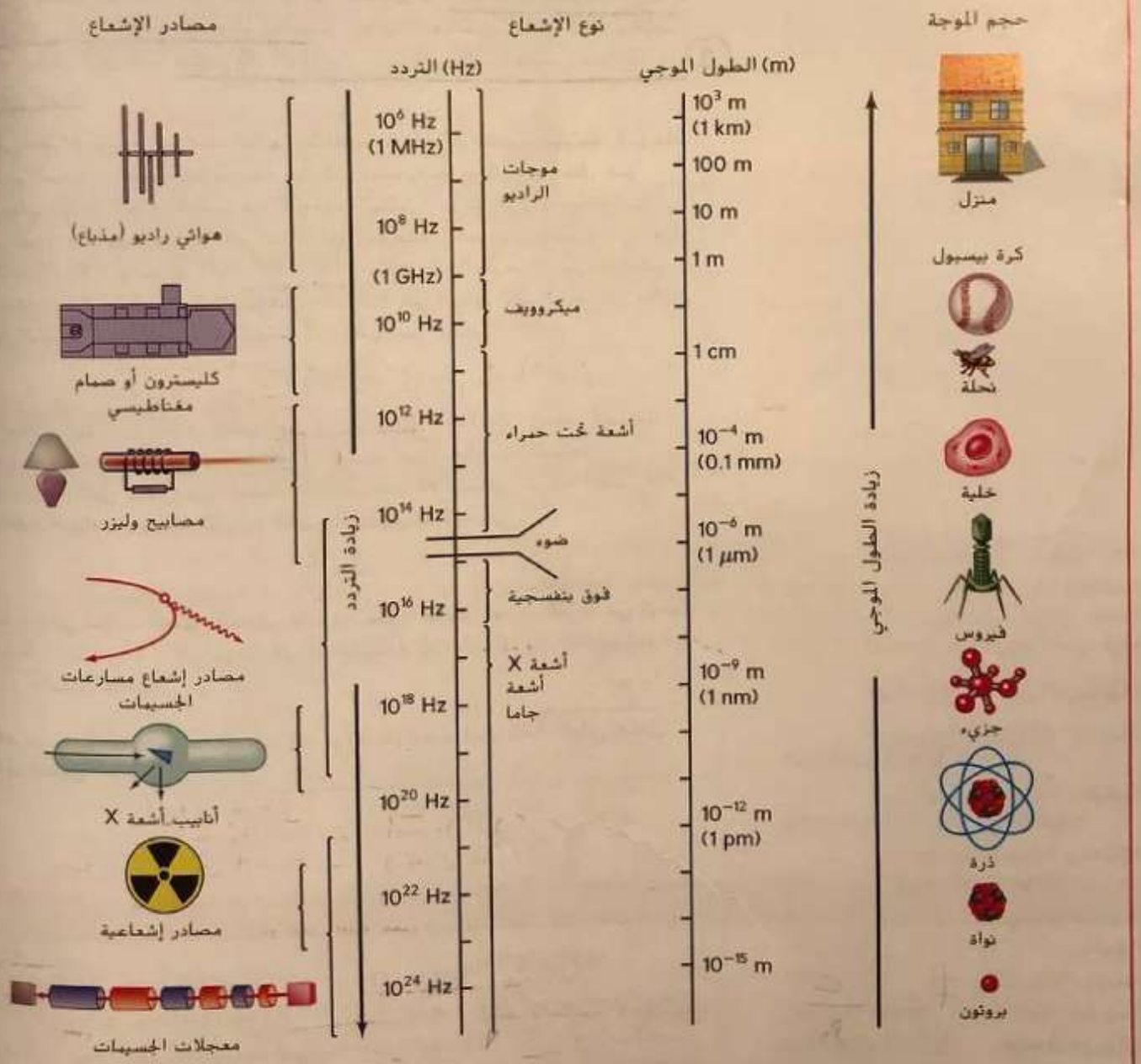
أنواع الموجات الكهرومغناطيسية

تظهر نطاق الترددات التي تكون الطيف المتصلة من الموجات الكهرومغناطيسية، **الطيف الكهرومغناطيسي**، في الشكل 7. لاحظ أن الضوء—وهو الجزء الوحيد من الطيف الذي تستطيع عيناك رؤيته—يشكل سوى نسبة ضئيلة من الطيف الكهرومغناطيسي.

تحمل الموجات الكهرومغناطيسية الطاقة في مجالاتها الكهربائية والمغناطيسية المتذبذبة. وتُعرف الطاقة التي تحملها أو تنشرها الموجة الكهرومغناطيسية باسم **الإشعاع الكهرومغناطيسي**. وتتناسب الطاقة التي تحملها الموجة الكهرومغناطيسية مع مربع سعة المجال الكهربائي والمساحة التي تعبرها الموجة.

بعض الإشعاعات الكهرومغناطيسية تكون نشطة بما يكفي لتضر بالإنسان. ومع ذلك فيمكن التحكم في طاقة الموجات الكهرومغناطيسية، بما في ذلك الموجات عالية الطاقة، لاستخدامها في أغراض الاتصالات والأغراض الصناعية والطبية.

الطيف الكهرومغناطيسي



Scanned by CamScanner

الطول الموجي للضوء فيما يلي الأطوال الموجية لبعض ألوان الضوء في **الجدول 1**.

1. ما اللون الذي له أكبر طول موجي؟
2. ما اللون الذي ينتشر بشكل أسرع في الفراغ؟
3. تحيد الموجات ذات الأطوال الموجية الأطول حول الأجسام الموضوعة في مسارها أكثر من الموجات ذات الأطوال الموجية الأقصر. ما اللون الأكثر حيودًا؟ وما اللون الأقل حيودًا؟
4. احسب نطاق تردد كل لون من ألوان الضوء الموجودة في **الجدول 1**.

الجدول 1
أطوال موجات الضوء

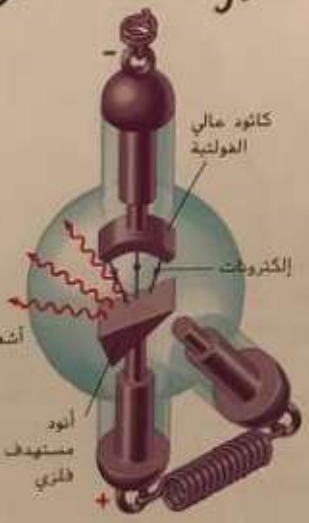
اللون	طول الموجة (nm)
البنفسجي النيلي	390 to 455
أزرق	455 to 492
أخضر	492 to 577
أصفر	577 to 597
برتقالي	597 to 622
أحمر	622 to 700

استخدامات الموجات منخفضة التردد تستخدم أدنى الموجات ترددًا — موجات الراديو — بشكل رئيسي في بث المعلومات. يمكن إرسال موجات الراديو لمسافات طويلة لأنها تنعكس على الأيونات في الغلاف الجوي. أما موجات الراديو الأقصر والمستخدمة في التلفاز والراديو فتنتقل في خطوط مستقيمة وبالتالي يجب نقلها على مراحل من محطة إلى أخرى على طول سطح الأرض المنحني. ترسل اليوانف الخلوية ونظام تحديد المواقع المعلومات باستخدام موجات الراديو القصيرة جدًا والتي تُعرف باسم موجات المايكروويف. كما تُستخدم موجات المايكروويف في طهي الطعام. حيث يمتص الماء والدهون الموجودة في الطعام موجات المايكروويف وتتحول طاقة الموجات إلى طاقة حرارية تُستخدم لطهي الطعام.

الطول الموجي للأشعة تحت الحمراء أقصر من الطول الموجي لموجات المايكروويف. وبالتالي يمكن للكاميرات المزودة بأجهزة استشعار خاصة للكشف عن الأشعة تحت الحمراء أن تنتج صورًا. كما تتيح الكاميرات ومناظير الرؤية الليلية التي تعمل بالأشعة تحت الحمراء الرؤية في الظلام. ونظرًا لأن الأجسام الساخنة تبعث الأشعة تحت الحمراء (ذات الأطوال الموجية الطويلة)، يمكن لكاشفات الأشعة تحت الحمراء أن تقيس درجة حرارة المنازل والأجسام الأخرى. كما يمكن استخدام الأشعة تحت الحمراء في تدفئة المباني. ويمكن للأشعة تحت الحمراء القريبة (ذات الأطوال الموجية الأقصر والترددات الأعلى) أن تحمل إشارات على أنظمة الألياف البصرية أو عن طريق الهواء، مبرمجة من أجهزة التحكم عن بعد.

تتمتع الأشعة فوق البنفسجية بترددات أعلى. ويمكن للأشعة فوق البنفسجية تأيين الجزيئات والذرات وإحداث تفاعلات كيميائية، مثل حروق الشمس. كما تُستخدم الأشعة فوق البنفسجية في الصناعة لمعالجة البوليمرات وتعقيم الأدوات. وفي صناعة أشباه الموصلات، كما تستخدم الأشعة فوق البنفسجية لحفر النقوش على رقائق السليكون في الدوائر المتكاملة.

الشكل 8 في الأنبوب الزجاجي الذي استخدمه رونتجن، أعطى فرق الجهد المرتفع جدًا طاقة حركية كبيرة للإلكترونات، وهذه الطاقة كانت كافية لإنتاج أشعة إكس عند اصطدام الإلكترونات بالأنود المعدني. واستمر الوهج الذي أحدثته الإلكترونات على الشاشة الفسفورية حتى عندما قام رونتجن بوضع قطعة من الخشب بين الأنبوب والشاشة. ولكن عندما وضع رونتجن يده بين الأنبوب وفيلم التصوير الضوئي، حجبت عظام يده تلك الأشعة.

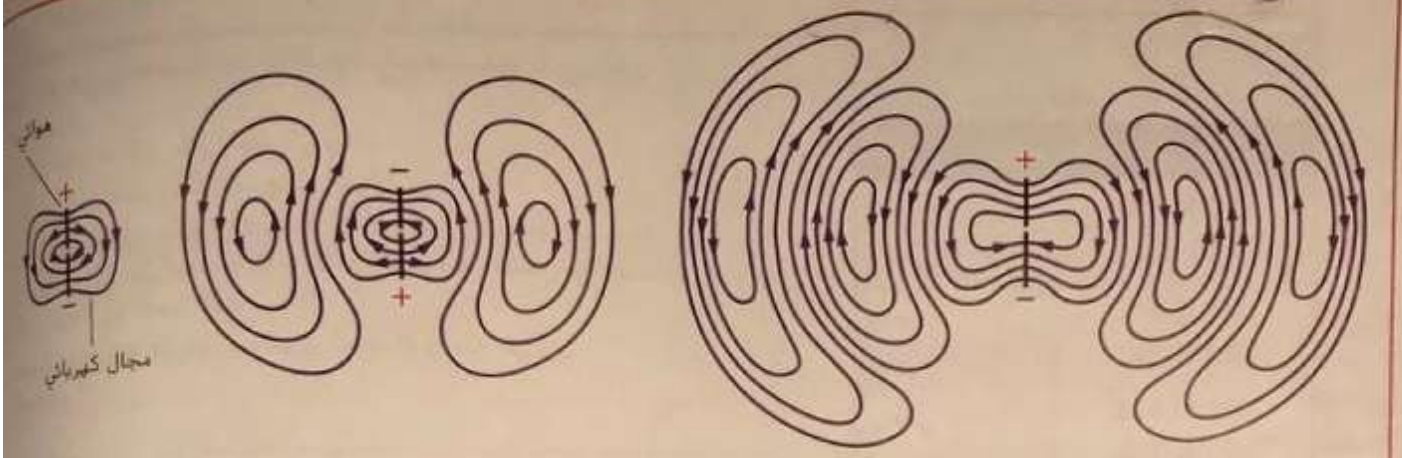


التأكد من فهم النص **المقارنة** بين انتشار موجات الراديو القصيرة والطويلة.

استخدامات الموجات عالية التردد تنتج أشعة إكس عند استخدام إلكترونات عالية الطاقة لتنتزع من الذرات إلكترونات كانت شديدة الارتباط بها. وعندما تعيد الإلكترونات في الذرات ترتيب نفسها، تنبعث أشعة إكس. وقد اكتشف الفيزيائي الألماني ولهلم رونتجن أشعة إكس في عام 1895 باستخدام أنبوب زجاجي فارغ يشبه المبين في **الشكل 8**. في أنابيب أشعة إكس الحديثة، يتم تسريع الإلكترونات إلى سرعات عالية من خلال فرق جهد تساوي 20,000 V أو أكثر. أبت على الأرجح معتاد على صور الأسنان بأشعة إكس. كما تُستخدم أشعة إكس على نطاق واسع للفضاء على الخلايا السرطانية.

أشعة جاما هي أحد أنواع الإشعاع الكهرومغناطيسي وتتميز بأنها ذات ترددات عالية. وهذه الموجات تأتي من النوى المشعة للذرات. ويمكن استخدام أشعة جاما للكشف عن المواد الخطرة في حاويات الشحن. وفي الطب، تُستخدم أشعة جاما لعلاج السرطان بتدمير الخلايا السرطانية.

Scanned by CamScanner



الشكل 9 أنتج مصدر للتيار المتردد متصل بهوائي فرق جهد متذبذب عبر الهوائي. أدى إلى تسريع الإلكترونات. فنشأ مجال كهربائي متذبذب. ينشئ المجال الكهربائي المتغير مجالاً مغناطيسيًا متغيرًا (غير معروض). وهذا المجال المغناطيسي المتغير ينشئ بدوره مجالاً كهربائياً متغيرًا. وتستمر هذه العملية وتنتشر الموجات الكهرومغناطيسية بعيدًا عن الهوائي.

نقل الموجات الكهرومغناطيسية

قرأت أن موجات الراديو وموجات المايكروويف يمكن أن تحمل معلومات. فكيف يتم بث هذه الموجات – والمعلومات التي تحملها؟

الانتشار في الفضاء يتم بث موجات الراديو والمايكروويف في الفضاء عن طريق أجهزة إرسال متصلة بهوائيات. **جهاز الإرسال** هو عبارة عن جهاز يحوّل الأصوات أو الموسيقى أو الصور أو البيانات إلى إشارات إلكترونية ويضخّم هذه الإشارات ثم يرسلها إلى الهوائي. وينتج **الهوائي** موجات كهرومغناطيسية تنتشر عبر الهواء. فكيف يفعل الهوائي هذا؟

١ ينتج جهاز الإرسال فرق جهد متذبذب عبر الهوائي المعدني فيعمل على تسريع ٢ الإلكترونات في المعدن. ويعمل تسارع الإلكترونات على إنشاء مجال كهربائي متذبذب ينتشر بعيدًا عن الهوائي. يمكنك أن ترى كيف يتكون المجال كهربائي من الهوائي في **الشكل 9**.

بينما لا يظهر في **الشكل 9** المجال المغناطيسي المتغير الناشئ عن المجال كهربائي المتغير. وينتشر المجال المغناطيسي بعيدًا عن الهوائي بنفس السرعة التي ينتشر بها المجال الكهربائي. ولكن في اتجاه متعامد عليه وعلى اتجاه الانتشار. لاحظ أن الموجة الكهرومغناطيسية التي نتجت عن الهوائي مستقطبة؛ بمعنى أن مجالها الكهربائي في مستوى يوازي موصّل الهوائي.

الانتشار في المادة يمكن للموجات الكهرومغناطيسية أن تنتقل عبر المادة والهواء. وبعد ظهور ضوء الشمس الساطع من خلال كوب من الماء مثالاً على انتقال موجات الضوء عبر ثلاثة أنواع من المادة. الهواء والزجاج والماء. مع العلم أن هذه المواد عازلة **العازل كهربائي** مادة رديئة التوصيل للتيار الكهربائي تتأثر شحنته كهربائية جزئيًا بالمجال الكهربائي. وفي العادة تكون سرعة الموجات الكهرومغناطيسية في العازل الكهربائي أقل من سرعتها في الفراغ. ويمكنك حساب سرعة الموجة في أي عازل كهربائي عن طريق المعادلة التالية:

$$v = \frac{c}{\sqrt{k}}$$

في هذه المعادلة، تُقاس سرعة الموجة (v) بوحدة المتر لكل ثانية، وتساوي سرعة الضوء (c) 3.00×10^8 m/s، وثابت العزل كهربائي النسبي (k) كمية لا بعدية. وفي الفراغ، فإن $k = 1.00000$، وسرعة الموجة تساوي c. وفي الهواء، فإن $k = 1.00054$، وتنتقل الموجة الكهرومغناطيسية بسرعة تقل قليلاً عن c. وثابت العزل الكهربائي يساوي مربع معامل الانكسار. $k = n^2$. وبالتالي فإن $\sqrt{k} = n$.

الموجه الناتجة هو الهوائي تكون مستقطبة، لماذا؟

تجربة مصغرة

إشارات الموجة

كيف تعمل أجهزة التحكم عن بعد؟

Scanned by CamScanner

تطبيق

19. ما هي سرعة الموجة الكهرومغناطيسية التي تنتقل عبر الهواء؟ استخدم في حساباتك القيمة التالية $c = 299,792,458$ m/s.
20. يبلغ ثابت العزل الكهربائي للماء 1.77. فما هي سرعة الضوء في الماء؟
21. سرعة الضوء أثناء انتقاله في إحدى المواد تساوي 2.43×10^8 m/s.
22. **التحدي** تم إرسال إشارة راديو من سطح الأرض إلى سطح القمر. زمن يمكن أن نتوقع فيه رؤا؟

171 تطبيق

19. $v = \frac{c}{\sqrt{k}} = \frac{299792458}{\sqrt{1.00054}} = 2.99712 \times 10^8$ m/s

20. $v = \frac{c}{\sqrt{k}} = \frac{3.00 \times 10^8}{\sqrt{1.77}} = 2.25 \times 10^8$ m/s

21. $v = \frac{c}{\sqrt{k}}$, $k = \left(\frac{c}{v}\right)^2 = \frac{3.00 \times 10^8}{2.43 \times 10^8} = 1.52$

إنتاج الموجات الكهرومغناطيسية

لنفترض أنك قمت توًا بضبط الراديو على محطتك المفضلة. فـ
بتحويل موجات الراديو التي تستمع إليها على صورة موسيقى؟

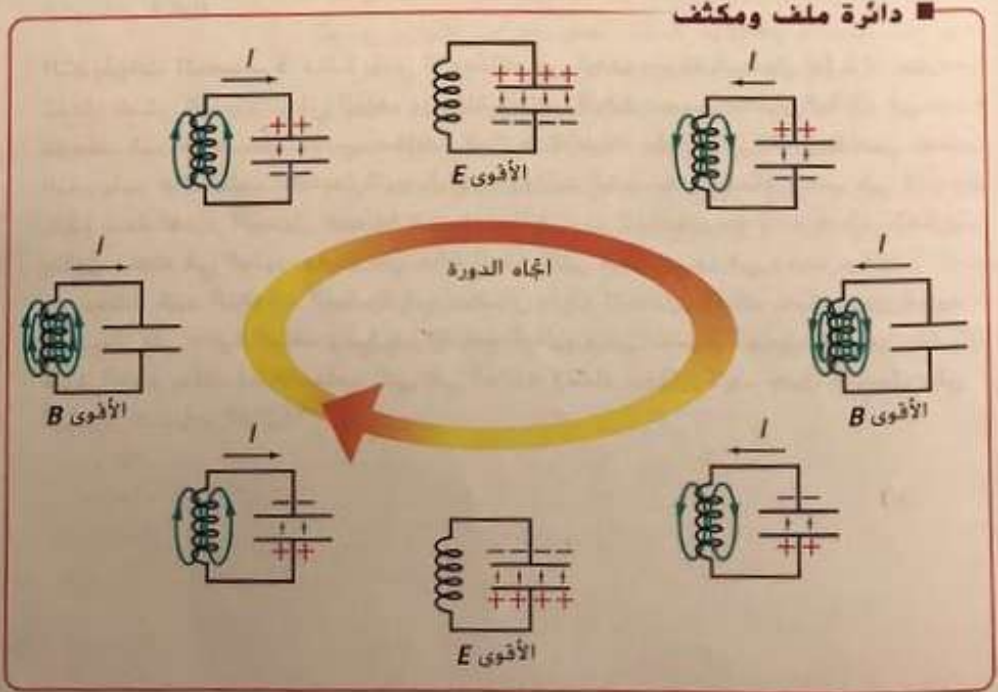
الموجات الحاملة تم تخصيص طول موجي محدد من الموجات
الطيف الكهرومغناطيسي لكل محطة راديو تجارية في الإمارات العربية المتحدة يُعرف
باسم **الموجة الحاملة**. وبالتالي فإن محطة الراديو تبث الموسيقى أو غير ذلك من
المعلومات عن طريق تغيير موجتها الحاملة بتعديل ترددها أو سعتها. ويحدث هذا من
خلال جهاز الإرسال الموجود في المحطة.

يحتوي جهاز الإرسال على ثلاثة أجزاء. المذبذب الذي ينشئ الموجة الحاملة. المغير
ويعمل على استخدام الموسيقى أو الصور أو الكلمات أو غير ذلك من البيانات في تغيير
تردد الموجة الحاملة أو سعتها. والمضخم ويعمل على زيادة فرق جهد الإشارة الناتجة.

ضبط تردد التذبذب لإنشاء موجات حاملة يصل ترددها إلى 400 MHz.
يستخدم المذبذب ملفًا ومكثفًا متصلين على التوالي. وتولد دائرة المذبذب فرق جهد
عبر المكثف ينشئ مجالاً كهربائيًا ويخزّن الشحنات في المكثف. وعند إزالة فرق
الجهد، يفصل المكثف وتتدفق الإلكترونات المخزونة عبر الملف. وينشئ التيار الكهربائي
مجالاً مغناطيسيًا متغيرًا يستحث قوة دافعة كهربائية عبر الدائرة. وتعيد القوة الدافعة
الكهربائية شحن المكثف في الاتجاه المعاكس. وتتكرر العملية في الاتجاه المعاكس. وفيما
يلي دورة تذبذب كاملة في **الشكل 10**.

باستخدام مصدر متناوب.
" ملف ومكثف.
" الكهرباء الإجهادية.
سبب عملها: لتوليد ترددات صغيرة
بما تقارب 1kHz.
سبب عملها: لتوليد ترددات كبيرة.

■ دائرة ملف ومكثف



الشكل 10 في دورة تذبذب كاملة لدائرة الملف والمكثف، كان المجال المغناطيسي في أقوى مستوياته عندما كان المجال الكهربائي في أضعف مستوياته. ويساوي عدد الذبذبات في الثانية الواحدة تردد الموجات الناتجة. إذا تغيرت قدرة الملف على تخزين الطاقة الكهرومغناطيسية أو تغيرت السعة الكهربائية، فسيتغير تردد التذبذبات.

Scanned by CamScanner

الوحدة 7 التعويم

63. طول الهوائي يساوي

$$0.083\ m = \frac{1}{4}\lambda = \left(\frac{1}{4}\right)\frac{c}{f}$$

التردد يساوي:

$$f = \frac{c}{(4)(0.083)} = \frac{3.00\times10^{8}}{(4)(0.083)} = \boxed{9.0\times10^{8}\ Hz}$$

64. $$\frac{q}{m} = \frac{2V}{B^2r^2} = \frac{(2)(1.50\times10^{2})}{(50.0\times10^{-3})^2(9.80\times10^{-3})^2}$$

$$= \boxed{1.25\times10^{8}\ C/kg}$$

65. $$v = \frac{cf}{2f} = \frac{(3.00\times10^{8})(1850)}{(2)(10.625\times10^{9})}$$

$$= \boxed{26.4\ m/s}$$

66. حتى تتمكن من الرؤية يجب ان تعكس الضوء وهذا يعني ان الضوء سوف يقفز او ينعكس وبصورة أكيدة يكون الشخص غير المرئي شفافاً، لذلك سيمر الضوء خلال العين دون امتصاص او انعكاس.

67. نسبة الشحنة الى كتلة النظائر:

$$\frac{q}{m} = \frac{2V}{B^2r^2}$$

اي نصف قطر مسار النظير:

$$r = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2Vm}{q}}$$

الفرق نصف القطر لمسار نظيرين:

$$0.10\times10^{-3}\ m = r_{176} - r_{175}$$

$$= \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2V}{q}}\left(\sqrt{m_{176}} - \sqrt{m_{175}}\right)$$

$$= \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2V}{q}}\left(\sqrt{176m_p} - \sqrt{175m_p}\right)$$

$$= \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2V}{q}}\left(\sqrt{176} - \sqrt{175}\right)$$

نكملة

المجال المغناطيسي يساوي:

$$B = \frac{\left(\sqrt{176} - \sqrt{175}\right)}{0.10\times10^{-3}}\sqrt{\frac{2Vm_p}{q}}$$

$$= \frac{\sqrt{176} - \sqrt{175}}{0.10\times10^{-3}}\sqrt{\frac{(2)(500.0)(1.67\times10^{-27})}{1.60\times10^{-19}}} = \boxed{1.2\ T}$$

نصف القطر للنظير الذي كتلته 176 بروتون يساوي:

$$r_{76} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2V(176)}{q}} = \frac{1}{1.2\ T}\sqrt{\frac{(2)(5.00)(176)(1.67\times10^{-27})}{1.60\times10^{-19}}}$$

$$= \boxed{3.6\times10^{-2}\ m}$$

Scanned by CamScanner

31. كتلة الإلكترون تساوي $9.11\times10^{-31}\ kg$ وشحنته $-1.60\times10^{-19}\ C$.

32. النظائر: ذرات للعنصر نفسه (العدد الذري متساوٍ) مختلفة الكتلة. تكملة

35. $B=\frac{E}{V}$, $V=\frac{E}{B}=\frac{5.8\times10^{3}\ N/C}{3.6\times10^{4}\ m/s}$

$=0.16\ T$

36. $V=\frac{Brq}{m}=\frac{(0.36)(0.20)(1.60\times10^{-19})}{1.67\times10^{-27}}$

$=6.9\times10^{6}\ m/s$

37. $m=\frac{qB^2r^2}{2V}=\frac{(2)(1.60\times10^{-19})(8.0\times10^{-3})^2(0.077)^2}{(2)(156)}$

$=3.9\times10^{-26}\ kg$

38. a. $V=\frac{KE}{q}=\frac{7.0\times10^{-13}}{(2)(1.60\times10^{-19})}=2.2\times10^{6}\ V$

b. $\frac{qB^2r^2}{2m}=\frac{(2)(1.60\times10^{-19})(2.0)(0.15)}{(2)(6.6\times10^{-27})}=7.0\times10^{-13}\ J$

c. $V=\frac{Bqr}{m}=\frac{(20)(2)(1.60\times10^{-19})(0.15)}{6.6\times10^{-27}}=1.5\times10^{8}\ m/s$

41. $m_2=m_1\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2=(28)\ \frac{17.97}{16.23}=34\ mp$

$m_2=34\ mp=(34)(1.67\times10^{-27})=5.7\times10^{-26}\ kg$

42. $B=\frac{1}{r}\sqrt{\frac{2vm}{q}}=\frac{1}{0.050}\sqrt{\frac{(2)(4.5\times10^{3})(9.11\times10^{-31})}{1.60\times10^{-19}}}$

$=4.5\times10^{-2}\ T$

47. يجب ان يكون طول الهوائي $\frac{\lambda}{2}$، اي $1.00\ m$

48. $f=\frac{c}{\lambda}=\frac{3.00\times10^{8}\ m/s}{650\times10^{-9}}=4.6\times10^{14}\ Hz$

50. $\frac{1}{2}\lambda=\left(\frac{1}{2}\right)\frac{c}{f}=\frac{3.00\times10^{8}}{(2)(101.3\times10^{6})}$

$=1.48\ m$

52. $\frac{1}{4}\lambda=\left(\frac{1}{4}\right)\frac{c}{f}=\frac{3.00\times10^{8}}{(4)(8.00\times10^{8})}$

$=0.0938\ m=9.38\ cm$

54. اللوح الحلوي سيشحن بشحنة موجبة

55. $\frac{E}{B}=\frac{\frac{N}{C}}{\frac{N}{A.m}}=A.m/C$

$\frac{E}{B}=\frac{C.m}{S.C}=m/s$

56. عند استخدام قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي، نجد ان اتجاهه يجب ان يكون خارجًا من الورقة وعموديا على مستواها.

57. يمكنك ان تغير كلا المجالين، او لا تغير ايا منهما، ولكن لا يمكنك ان تغير مجالا واحدا فقط.

58. a. موجات الراديو.

b. الاشعة السينية

c. جميعها تنتقل بالسرعة نفسها.

59. ستكون عيني الشخص أكبر، لأن الطول الموجي لموجات الميكروويف أكبر كثيرًا من الطول الموجي للضوء المرئي.

62. $\frac{1}{2}\lambda=\left(\frac{1}{2}\right)\frac{c}{f}=\frac{3.00\times10^{8}}{(2)(94.5\times10^{6})}$

$=1.59\ m$

Scanned by CamScanner

23. يولد تغير المجال الكهربائي مجالا مغناطيسيا، يولد تغير المجال المغناطيسي مجالا كهربائيا ولذلك تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية عندما يولد كل من المجالين الآخر.

25. 2.0×10^{13} Hz

26. يجب ان تكون أفقية أيضا.

28. القنوات ضمن المجموعة الاولى. للموجات التي لها تردد أقل تكون ذات طول موجي أكبر لذا فإنها تحتاج الى هوائي أطول.

29. 2.30

30. الطول الموجي لموجات الاشعة فوق البنفسجية صغير وطاقتها كبيرة الى درجة تكون كافية لتحطيم الخلايا في الجلد، ولذلك فإن تعرض الإنسان للأشعة فوق البنفسجية بكثرة يزيد من احتمال إصابته بسرطان الجلد.

تحويل الموجات إلى معل
للطاقة الكهرومغناطيسية إلى ف
الاستقبال. الذي يحولها إلى م
تصطدم الموجات ذات الترددات
واحد. فكيف يحدد جهاز الاستق
لاختيار موجات ذات تردد م
موالف. ويحتوي الموالف على د
الراديو، فأنت بذلك تختار محط
يتساوى تردد تذبذب الدائرة مع
التردد المطلوب فقط أن تنتج و

الإشارات معدلة التردد ومع
يمكن أن تحمل معلومات إذا نج
الموجة. تتباين الموجات الحاملة
أو في التردد (FM أو تعديل التر
في نطاق 550–1650 kHz. بين
يتراوح ما بين 88 إلى 108 MHz
لأن معظم مصادر الضجيج. كال
لا تتأثر بها أجهزة الاستقبال مع

التأكد من فهم النص التطبيق ما السبب الذي يجعل الهوائيات معدلة
أطول من الهوائيات معدلة التردد؟

الإشارات الرقمية هناك العديد من خدمات الراديو، بما في ذلك الإذاعة التجارية وخدمات الطوارئ وأجهزة الاستقبال ثنائية الاتجاه، التي تستخدم ترددات أخرى وتستخدم إما تعديل السعة أو تعديل التردد. تقوم الهواتف الخلوية وأجهزة التلغاز والكمبيوتر بتحويل الأصوات والصور والبيانات إلى إشارات رقمية. والإشارات الرقمية عبارة عن سلسلة من نبضات الجهد. وفي العادة، يتم ترميز النبضات بالنظام الثنائي 0 و1. وهذا النظام يتباين في المدة، وليس في السعة أو التردد. ويمكن للإشارات الرقمية أن تحتوي على مزيد من المعلومات في نفس مقدار الوقت، مثل الإشارات معدلة السعة أو الإشارات معدلة التردد. كما أنها أقل تأثرا بالضجيج.

القسم 2 مراجعة

23. **الفكرة الرئيسة** اشرح كيف تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في الفضاء.

24. **الموجات الكهرومغناطيسية** اذكر بعض الخصائص الأساسية للموجات الكهرومغناطيسية. ما وجه الاختلاف بين الموجات الكهرومغناطيسية وموجات الصوت والموجات الأخرى؟ اشرح.

25. **التردد** إذا كان الطول الموجي لموجة كهرومغناطيسية يساوي 1.5×10^{-5} m، فما هو ترددها؟

26. **إشارات الراديو** في القالب تحتوي هوائيات الراديو على عمود معدني يوجه أفقيا. من هذه المعلومة، ما الذي يمكنك أن تستنتجه بشأن اتجاهات المجالات الكهربائية في إشارات الراديو.

27. **أطباق الاستقبال الفضائي** لماذا يعد من المهم توجيه هوائي الاستقبال بأطباق القطع المكافئ مباشرة نحو جهاز الإرسال؟

28. **تصميم الهوائي** هل الهوائي المعدل التردد والمصمم ليكون أكثر حساسية للمحطات التي يقترب ترددها من 88 MHz سيكون أقصر أم أطول من الهوائي المصمم لاستقبال المحطات القريبة من 108 MHz؟ اشرح استدلالك.

29. **ثابت العزل الكهربائي** سرعة الضوء أثناء انتقاله في مادة مجهولة تساوي 1.98×10^8 m/s. فإذا علمنا أن سرعة الضوء في الفراغ تساوي 3.00×10^8 m/s، فكم يبلغ ثابت العزل الكهربائي لهذه المادة المجهولة؟

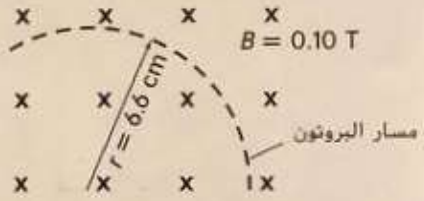
30. **التفكير الناقد** تحجب طبقة الأوزون الموجودة في الغلاف الجوي للأرض معظم الأشعة فوق البنفسجية التي ترسلها الشمس. وقد وجد العلماء أن طبقة الأوزون قد ترققت فوق القارة القطبية الجنوبية ونصف الكرة الجنوبي. استخدم ما تعلمته عن الموجات الكهرومغناطيسية لتفسير مخاوف العلماء من ترقق طبقة الأوزون.

Scanned by CamScanner

الاختيار من متعدد

1. بالنسبة لجسيم مشحون يتحرك في مسار دائري.
   A. فإن القوة المغناطيسية تكون موازية للسرعة ومتجهة نحو مركز المسار الدائري.
   B. فإن القوة المغناطيسية قد تكون متعامدة على السرعة ومتجهة بعيدًا عن مركز المسار الدائري.
   C. فإن القوة المغناطيسية تظل دائمًا موازية للسرعة ومتجهة بعيدًا عن مركز المسار الدائري.
   (D) فإن القوة المغناطيسية تظل دائمًا متعامدة على السرعة ومتجهة نحو مركز المسار الدائري.

2. إذا كان نصف قطر المسار الدائري الذي يأخذه بروتون في مجال مغناطيسي ثابت شدته 0.10 T يساوي 6.6 cm. فما هي سرعة البروتون؟
   A. 6.3×10^{5} m/s
   B. 2.0×10^{6} m/s
   C. 6.3×10^{7} m/s
   D. 2.0×10^{12} m/s

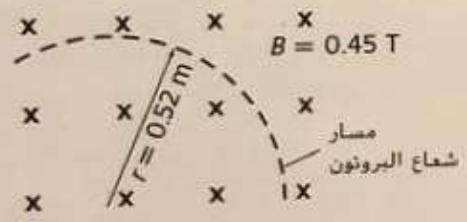


3. ثابت العزل الكهربائي لأحجار الميكا يساوي 5.4. فما هي سرعة الضوء أثناء مروره عبر الميكا؟
   A. 3.2×10^{3} m/s
   B. 9.4×10^{4} m/s
   C. 5.6×10^{7} m/s
   (D) 1.3×10^{8} m/s

4. إذا كانت محطة بث إذاعي معينة تستخدم موجات طولها 2.87 m. فما هو تردد تلك الموجات؟
   A. 9.57×10^{-9} Hz
   B. 3.48×10^{-1} Hz
   (C) 1.04×10^{8} Hz
   D. 3.00×10^{8} Hz

5. أي من الحالات التالية لا تؤدي لإنشاء موجة كهرومغناطيسية؟
   (A) فرق جهد ثابت يُطبق على بلورة كوارتز.
   B. تيار متناوب يمر بسلك موجود داخل أنبوب بلاستيكي.
   C. فرق جهد متناوب رنان يُطبق على دائرة ملف ومكثف.
   D. إلكترونات ذات طاقة عالية تصطدم بهدف معدني في أنبوب أشعة إكس.

6. إذا كان نصف قطر المسار الدائري لحزمة بروتونات يساوي 0.52 m عندما تتحرك بشكل متعامد على مجال مغناطيسي شدته 0.45 T. وإذا كانت كتلة البروتون الواحد تساوي 1.67×10^{-27} kg. فما هي سرعة البروتونات الموجودة في تلك الحزمة؟
   A. 1.2 m/s
   B. 4.7×10^{3} m/s
   (C) 2.2×10^{7} m/s
   D. 5.8×10^{8} m/s



أسئلة ذات إجابات مفتوحة

7. إذا كانت كتلة الديوترون (نواة ذرة الديوتيريوم) تساوي 3.34×10^{-27} kg وشحنتها e+. وكانت سرعتها 2.88×10^{5} m/s وكانت تنتقل في مجال مغناطيسي شدته 0.150 T. فكم يبلغ نصف قطر انحناء مسارها؟

Scanned by CamScanner

التداخل

الفيزياء في حياتك

هل رأيت من قبل ألوان قوس المطر التي كوّنتها قطرات الماء أو في ماء يحتوي على الصابون؟ يكون هذا نتيجة ظاهرة تُسمى التداخل في الأغشية الرقيقة. فكيف يتفاعل الضوء مع المادة لإنتاج هذه الأنماط؟

الضوء المترابط والضوء غير المترابط

تعلمتَ أنّ للضوء خصائص موجية، حيث يحيد عندما يمر بحافة. وتعلّمتَ أيضًا من دراسة المرايا والعدسات أنّه يمكن توضيح الانعكاس والانكسار بناءً على النموذج الموجي للضوء. فما الذي دفع العلماء إلى الاعتقاد بأنّ للضوء خصائص موجية؟ اكتشف العلماء أنّ الضوء يمكن أن يتداخل بسبب تراكب الموجات.

الضوء غير المترابط عندما تنظر إلى أجسام تُضاء بمصدر ضوء أبيض مثل مصباح قريب، ترى **ضوءًا غير مترابط** وهو ضوء موجاته مختلفة في الطول ويمكن مشاهدة تأثير عدم الترابط في الموجات عند سقوط مطر بغزارة على ماء راكد، حيث يصبح سطح الماء مائجًا ولا يظهر فيه النمط المنتظم للموجات، كما في **الشكل 1**. ونظرًا لأن تردد الموجات الضوئية كبير جدًا، فإنّ الضوء غير المترابط لا يظهر لك غير مترابط أي مائج ومتقطع؛ إلا أنّه عندما يُضاء جسم من مصدر ضوء أبيض غير مترابط، فإنك ترى تراكب موجات الضوء غير المترابط كأنها ضوء أبيض منتظم.

الضوء المترابط يُسمى الضوء الناتج عن تراكب موجات لها الطول الموجي نفسه وتكون متفقة في الطور **بالضوء المترابط**. ويمكن توليد مقدمة موجة منتظمة، التي تتكوّن من ضوء مترابط، من مصدر نقطي واحد، كما هو مبيّن في **الشكل 1**. كما يمكن أيضًا توليد موجة منتظمة من مصادر نقطية متعددة عندما تكون هذه المصادر النقطية كلها متفقة في الطور. وهذا النوع من الضوء المترابط يولّده الليزر.

أمثلة على الضوء المترابط

الشكل 1 تمثل أنماط الموجات غير المنتظمة والمضطربة الضوء غير المترابط. وتمثل أنماط الموجات المنتظمة الضوء المترابط.

موجات غير مترابطة

موجات مترابطة

الفكرة الرئيسة

يمكن أن يتداخل الضوء عند مروره عبر شقوق ضيقة أو عندما ينعكس عن غشاء رقيق.

الأسئلة الرئيسة

- كيف يُنتج الضوء الساقط على شقّين نمط تداخل؟
- كيف يمكنك استخدام نمط تداخل لحساب الطول الموجي للضوء؟
- كيف يمكن تطبيق تقنيات النمذجة على التداخل في الأغشية الرقيقة؟

مراجعة المفردات

التداخل interference: ينتج التداخل من تراكب موجتين أو أكثر

مفردات جديدة

ضوء غير مترابط
incoherent light
ضوء مترابط **coherent light**
أهداب التداخل
interference fringes
ضوء أحادي اللون
monochromatic light
تداخل في الأغشية الرقيقة
thin-film interference

Scanned by CamScanner

تداخل الضوء المترابط

بين العامين 1801 و 1803، أجرى الفيزيائي الإنجليزي توماس يونج عددًا من التجارب التي أثبتت الخصائص الموجية للضوء. حيث وجّه يونج ضوءًا من مصدر صغير على شقين متقاربين وأنتج نمط تداخل.

اختار يونج جزءًا صغيرًا جدًا من ضوء أحد المصادر وجعله مترابطًا بتمريره عبر شق أحادي ضيق. ثم مرّر الضوء عبر شقين ضيقين وقريبين في حاجز. فسقط الضوء المتداخل الخارج من الشقين على شاشة. وأنتج هذا الضوء نمطًا من حزم مضيئة وأخرى معتمة سمّاها **هداب التداخل**. فسّر يونج أنّ هذه الحزم نتجت عن التداخل البنّاء والتداخل الهدّام للموجات الضوئية الصادرة من الشقين في الحاجز.

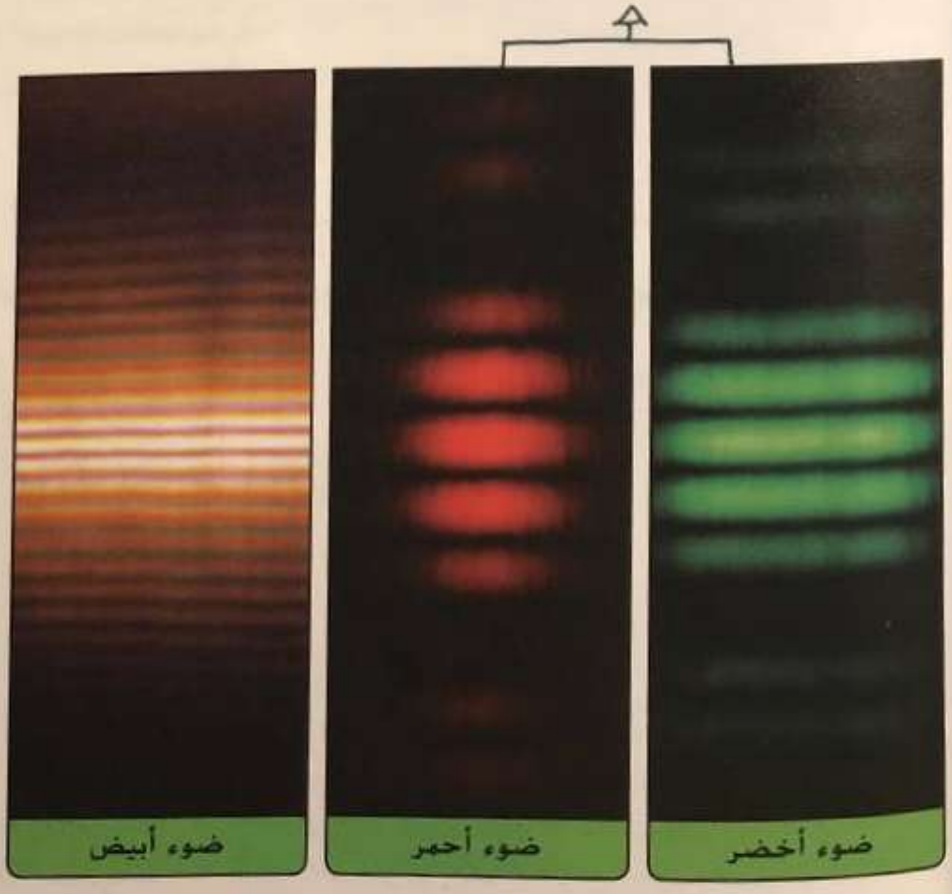
استخدم يونج في تجربته **ضوءًا أحاديّ اللون**، وهو ضوء له طول موجي واحد. وفي هذه التجربة يُنتج التداخل البنّاء حزمة مركزية مضيئة بلون معيّن على الشاشة. كما يُنتج على كل جانب حزمًا مضيئة أخرى تفصلها فراغات متساوية وعرضها متساوٍ تقريبًا. كما هو مبيّن في **الشكل 3**. تتناقص شدة إضاءة الحزم كلما ابتعدنا عن الحزمة المركزية كما ترى. وتوجد بين الحزم المضيئة مناطق معتمة بسبب حدوث تداخل هدّام. تعتمد مواقع حزم التداخل البنّاء والتداخل الهدّام على الطول الموجي للضوء.

لكن عندما يُستخدم ضوء أبيض في تجربة الشق المزدوج، يؤدي التداخل إلى ظهور أطياف ملونة. **كما هو مبيّن على الجزء الأيسر من الشكل 3**. تتداخل الحزم المختلفة لألوان الطيف المرئي على الشاشة. حيث تتداخل كل هذه الألوان تداخلًا بنّاءً في الحزمة المركزية لذا تظهر بيضاء اللون. ونظرًا إلى أنّ مواقع الحزم المضيئة الأخرى الناتجة عن التداخل البنّاء تعتمد على الطول الموجي، تكون حزمة كل لون عند موقع مختلف. فينتج طيف من الألوان.

الشكل 2 تعود شهرة توماس يونج (1773–1829) إلى إسهاماته في العديد من المجالات المختلفة. فبالإضافة إلى دوره في تحديد الطبيعة الموجية للضوء، يشتهر بإسهامه في فك رموز اللغة الهيروغليفية المصرية.

* عرض الهدبة المركزية لنمط التداخل الناتج عن الضوء الأحمر أكبر من عرض الهدبة المركزية لنمط التداخل الناتج عن الضوء الأخضر :-

ج : تردد الضوء الأخضر أكبر من تردد الضوء الأحمر.



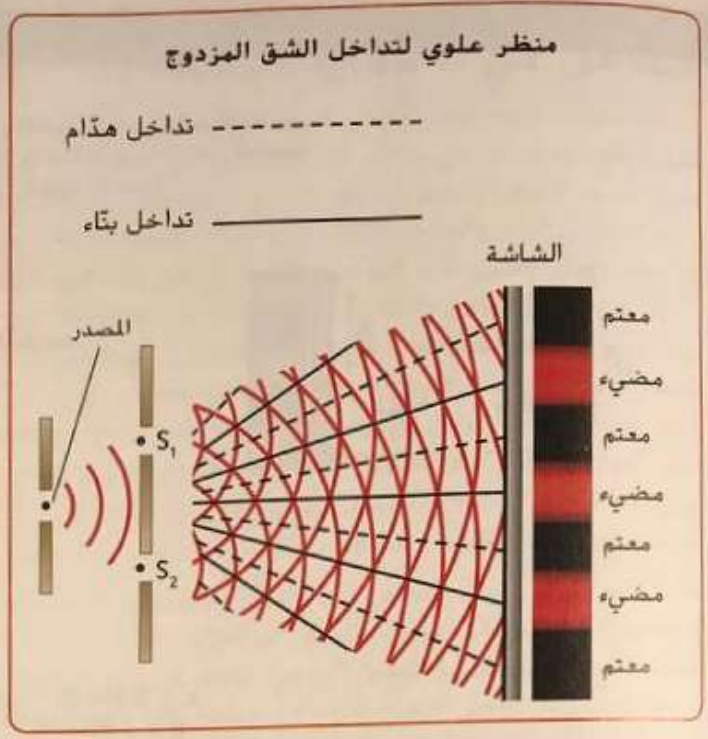
الشكل 3 تُنتج أنماط تداخل الشق المزدوج حزمة مركزية مضيئة ونمطًا من حزم مضيئة وأخرى معتمة على كلا الجانبين.

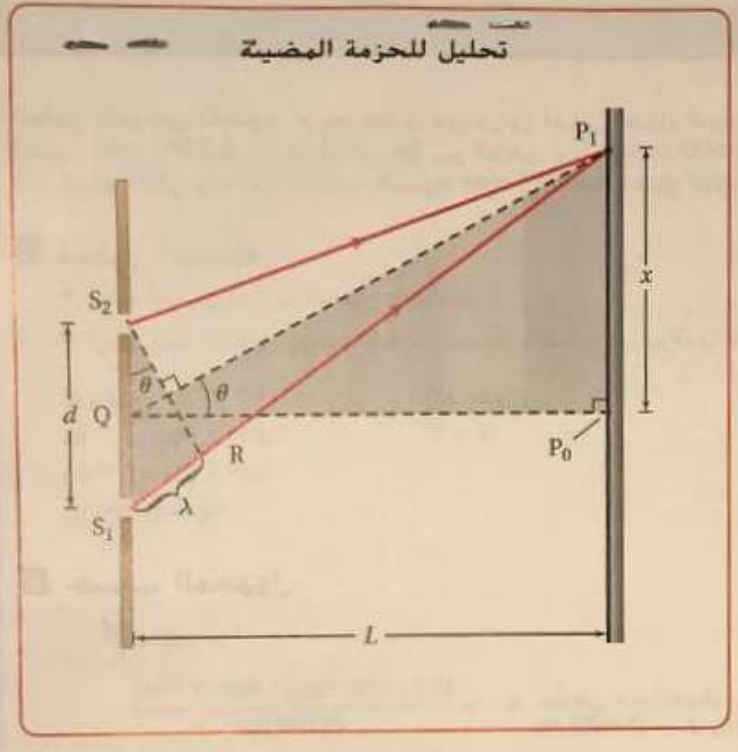
مختبر الفيزياء

الهولوغرامات

ما العلاقة بين تداخل الضوء المترابط والهولوغرامات؟

Scanned by CamScanner





الشكل 6 يمكن استخدام تداخل الشق المزدوج لإيجاد الطول الموجي للضوء. ونظرًا إلى أنّ L أكبر بكثير من d، ولأنّ الزاوية θ صغيرة، تُبسّط معادلة إيجاد الطول الموجي للضوء.

قياس الطول الموجي للضوء يوضّح **الشكل 6** منظرًا علويًا لتجربة الشق المزدوج. حيث تتداخل مقدمات الموجات تداخلات بناءة وهدامة لتشكيل أنماط حزم مضيئة وأخرى معتمة. يوضّح الرسم التوضيحي في **الشكل 6** أنّ الضوء الذي يصل إلى النقطة P_0 يقطع المسافة نفسها من كل شق. ونظرًا إلى أنّ الموجات متفقة في الطور، تتداخل تداخلًا بنّاءً على الحاجز وتنتج الحزمة المركزية المضيئة عند النقطة P_0. كما يحدث تداخل بنّاء عند الحزمة المضيئة الأولى (P_1) على جانبي الحزمة المركزية. لأنّ القطعة المستقيمة P_1S_1 يزيد طولها بمقدار طول موجي واحد (λ) عن القطعة المستقيمة P_1S_2. لذا تصل الموجات عند المنطقة P_1 بالطور نفسه.

في الشكل أعلاه مثلثان مظللان. إنّ المثلث الكبير هو مثلث قائم الزاوية لذا فإن $\tan \theta = x/L$. وفي المثلث الصغير RS_1S_2، يمثّل الضلع S_1R الفرق بين مساري الضوء، والذي يساوي طولًا موجيًا واحدًا. يوجد تبسيطان لحساب الطول الموجي.

1. إذا كان L أكبر بكثير من d، فإنّ القطعتين المستقيمتين S_1P_1 و S_2P_1 تكونان متوازيتين تقريبًا إحداهما مع الأخرى ومع القطعة المستقيمة QP_1. ويكون المثلث RS_1S_2 قائم الزاوية تقريبًا. لذا فإن $\sin \theta \approx \lambda/d$.
2. إذا كانت الزاوية θ صغيرة، فإنّ $\sin \theta$ يكون مساويًا تقريبًا لـ $\tan \theta$.

وباستخدام التبسيطين أعلاه، نجمع المعادلات $\tan \theta = x/L$ و $\sin \theta \approx \lambda/d$ و $\sin \theta \approx \tan \theta$ لنحصل على المعادلة $x/L = \lambda/d$. ولإيجاد الطول الموجي λ نستخدم المعادلة التالية.

الطول الموجي من تجربة الشق المزدوج

يساوي الطول الضوئي المقيس بتجربة الشق المزدوج المسافة بين الحزمة المركزية المضيئة والحزمة المضيئة الأولى على الشاشة، مضروبة في المسافة بين الشقين، ومقسومة على المسافة بين الشقين والشاشة.

$$\lambda = \frac{xd}{L}$$

يحدث تداخل بنّاء عند مواقع x_m على جانبي الحزمة المركزية المضيئة. ويتم تحديد هذه المواقع من خلال المعادلة $m\lambda = x_m d/L$، حيث $m = 0, 1, 2$. وهكذا. وتتكوّن الحزمة المركزية المضيئة عند $m = 0$. وتُسمى الحزمة عند $m = 1$ بحزمة الرتبة الأولى غالبًا، وهكذا لبقية المواقع.

مختبر الفيزياء

ما الطول الموجي؟
ما العلاقة بين أنماط تداخل الشق المزدوج وكل من الحيود والطول الموجي؟

تداخل الشق المزدوج
كيف يمكن استخدام نمط تداخل من الشق المزدوج لقياس الطول الموجي للضوء؟

Scanned by CamScanner

ي للضوء الأحمر. وكان البُعد بين
0. والمسافة بين الحزمة المضيئة
ي للضوء الأحمر؟

صحيحة.

$x = 2.11\times10^{-2}$ m
$d = 1.90\times10^{-5}$

حيحة للطول الموجي.
70 تقريبًا. ويساوي الطول الموجي
لى الضوء الأحمر.

1. فظهرت الحزمة المضيئة ذات
اشة تبعُد 0.600 m عن الشقَّين.

2. سلّط ضوء برتقالي مُصفر من مصباح غاز الصوديوم بطول موجي 596 nm على شقين البُعد بينهما 1.90×10^{-5} m. ما المسافة بين الحزمة المركزية المضيئة والحزمة المضيئة باللون الأصفر ذات الرتبة الأولى إذا كانت الشاشة تبعُد مسافة 0.600 m عن الشقَّين؟

3. في تجربة شق مزدوج، استخدم طلاب الفيزياء أشعة ليزر طولها الموجي $\lambda = 632.8$ nm. ووضع أحد الطلاب الشاشة على بُعد 1.000 m من الشقين، فوجد أنّ المسافة بين الحزمة المضيئة ذات الرتبة الأولى والحزمة المركزية المضيئة هي 65.5 mm. ما المسافة الفاصلة بين الشقين؟

4. **تحفيز** مرّ ضوء برتقالي مُصفر طوله الموجي 596 nm عبر شقَّين المسافة الفاصلة بينهما 2.25×10^{-5} m فنتج نمط تداخل على الشاشة. إذا كانت المسافة بين الحزمة المركزية والحزمة المضيئة باللون الأصفر ذات الرتبة الأولى 2.00×10^{-2} m، فما بُعد الشاشة عن الشقين؟

نشر يونج النتائج التي توصل إليها العام 1803. إلا أنه قوبل بالمعارضة من معظم الفيزيائيين المؤيدين للنموذج الجسيمي للضوء لنيوتن؛ إلا أنّ نتائج يونج حظيت بالقبول بعد العام 1820 عندما اقترح جين فريسنل حلًا رياضيًا للطبيعة الموجية للضوء في إحدى المسابقات. بيّن سيمون دينس بويسون، أحد حكّام المسابقة، أنه إذا كان اقتراح فريسنل صحيحًا، فستتكون بقعة مضيئة في مركز ظل جسم دائري مُضاء بضوء متوازٍ إلا أنّ ذلك لم يحدث على الإطلاق. ثم أجرى جين آرجو، حكم آخر، التجربة فرأى هذه البقعة. وكان لهذا الفضل في إقناع بويسون وآرجو وكثيرين غيرهما بالطبيعة الموجية للضوء.

Scanned by CamScanner

31. عندما تستخدم الضوء الاحادي اللون، تحصل على نمط تداخل دقيق للعالم، واذا كنت تستخدم ضوءًا أبيض فستحصل على مجموعة من الاهداب الملونة.

32. الاطوال الموجية جميعها تنتج الهدب المركزي في الموقع نفسه.

33. أسقط الضوء على الشق المزدوج، وضع نمط التداخل ليسقط على ورقة ثم قس مسافات بين الاهداب المضيئة x، واستخدم للمعادلة

$$d = \frac{\lambda L}{x}$$

35. $$\lambda = \frac{xd}{L} = \frac{(1.90\times10^{-2})(19.0\times10^{-4})}{80.0\times10^{-2}}$$

$$= \boxed{451\ nm}$$

36. $$d = \left(\frac{1}{4}\right)\frac{\lambda}{n} = \frac{545}{(4)(1.45)}$$

$$= \boxed{94.0\ nm}$$

---

47. $$\lambda = \frac{xw}{L} = \frac{(0.60)(0.010)}{100}$$

$$= \boxed{600\ nm}$$

49. $$x_1 = \frac{\lambda L}{w} = \frac{(4.5\times10^{-5})(100)}{0.015}$$

$$= \boxed{0.3\ cm}$$

51. $$x_1 = \left(\frac{1}{2}\right)(2x_1) = \boxed{0.30\ cm}$$

$$w = \frac{(4.25\times10^{-5})(75)}{0.30} = \boxed{1.1\times10^{-2}\ cm}$$

53. $$d = \frac{1}{12000\ lines/cm} = 8.33\times10^{-5}\ cm$$

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

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{6.32\times10^{-5}}{8.33\times10^{-5}}\right) = \boxed{49.3^\circ}$$

← الضوء الاحمر

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{4.21\times10^{-5}}{8.33\times10^{-5}}\right) = \boxed{30.3^\circ}$$

← الضوء الازرق

Scanned by CamScanner

(4)

$d = \left(\frac{1}{4}\right)\frac{\lambda}{n} = \frac{635}{(4)(1.45)} = 109\text{nm}$ .5

$d = \left(\frac{1}{4}\right)\frac{\lambda}{n} = \frac{521}{(4)(1.33)} = 97.9\text{nm}$ .7

$d = \left(\frac{3}{4}\right)\frac{\lambda}{n} = \frac{(3)(575)}{(4)(1.33)} = 324\text{nm}$ .8

مثال 2

الزيت والماء لاحظتْ وجود حلقات ملونة على سطح بركة ماء واستنتجت رقيقة من الزيت على سطح الماء. ونظرتَ مباشرة إلى الأسفل نحو البركة فر (λ = 555 nm). إذا كان معامل انكسار الزيت 1.45، ومعامل انكسار الماء 33 يُسبب ظهور هذا اللون؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الغشاء الرقيق والطبقتين. الطبقة التي فوقه والطبقة التي تحته.
- ارسم الأشعة مبيّنًا الانعكاس عن سطح الغشاء العلوي وعن سطحه ال

المعلوم	المجهول
$n_{\text{الماء}}$ = 1.33	d = ؟
$n_{\text{الزيت}}$ = 1.45	
λ = 555 nm	

2 حساب المجهول

لأنّ $n_{\text{الهواء}} < n_{\text{الزيت}}$، فستنقلب الموجة عند انعكاسها الأول.
ولأنّ $n_{\text{الزيت}} > n_{\text{الماء}}$، فلن يحدث انقلاب في الانعكاس الثاني. لذلك، يحد
يكون الطول الموجي في الزيت أقل منه في الهواء.

اتبع استراتيجية حل المسائل لكي تكوّن المعادلة.

$$2d = \left(m + \frac{1}{2}\right)\left(\frac{\lambda}{n_{\text{الزيت}}}\right)$$

لأننا نريد أقل سُمك، فإنّ $m = 0$.

$$d = \frac{\lambda}{4n_{\text{الزيت}}}$$

► عوّض مستخدمًا $m = 0$.

$$= \frac{555\text{ nm}}{(4)(1.45)}$$

► عوّض مستخدمًا $\lambda = 555\text{ nm}$ ، $n_{\text{الزيت}} = 1.45$.

$$= 95.7\text{ nm}$$

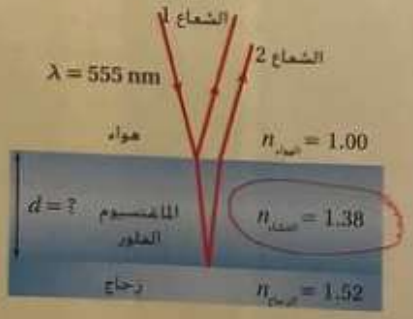
3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** إنّ الإجابة بوحدة nm، وهي صحيحة بالنسبة إلى السُمك.
- **هل الجواب منطقي؟** إنّ أقل سُمك يكون أقل من طول موجي واحد، والذي يمثّل ما يجب أن يكون.

$d = \frac{(\frac{1}{4})\lambda}{n} = \frac{521}{(4)(1.33)}$

تطبيق

5. في مثال المسألة 2، ما أقل سُمك للغشاء لتكوين حزمة ضوء منعكسة لونها أحمر (λ = 635 nm)؟
6. وُضع غشاء من فلوريد المغنيسيوم على عدسة زجاجية مطلية بطبقة غير عاكسة. ما السُمك اللازم للغشاء غير العاكس لمنع انعكاس الضوء الأخضر المُصفر ذي الطول الموجي 555 nm؟ انظر إلى الرسم الموجود في **الشكل 9**.
7. يمكنك ملاحظة التداخل في الأغشية الرقيقة عند غمس عصا فقاعة في محلول فقاعات ثم رفع العصا في الهواء. ما أقل سُمك لغشاء الصابون يمكن أن ترى عليه خيطًا أسود إذا كان الطول الموجي للضوء الساقط على الغشاء 521 nm؟ استخدم n = 1.33 لمحلول الفقاعات.
8. ما أقل سُمك لغشاء الصابون الذي معامل انكساره (n = 1.33) ليتداخل عنده ضوء طوله الموجي 521 nm تداخلًا بنّاءً مع نفسه؟
9. **مسألة تحفيزية** خلية شمسية من السليكون مطلية بطبقة غير عاكسة. إذا وُضع غشاء من أول أكسيد السليكون معامل انكساره n = 1.45 على السليكون الذي معامل انكساره n = 5.3، فما السُمك اللازم لهذه الطبقة لمنع انعكاس ضوء أخضر مُصفر طوله الموجي (λ = 555 nm)؟



الشكل 9

Scanned by CamScanner

تطبيق ص 196

16. $x = \frac{\lambda L}{m} = \frac{(5.46\times10^{-7})(0.75)}{9.5\times10^{-5}} = 4.3\text{mm}$

$\Delta x = 2(4.3) = \boxed{8.6\text{mm}}$

20.

a. الأحمر لديه عرض الهدب يتناسب طرديا مع الطول الموجي.

b. $\Delta x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$ للأزرق

$\Delta x_1 = \frac{2(4.41\times10^{-7})(1.00)}{5.0\times10^{-5}} = \boxed{18\text{mm}}$

للأحمر: $\Delta x_1 = \frac{2(6.22\times10^{-7})(1.00)}{5.0\times10^{-5}}$

$= \boxed{25\text{mm}}$

19. $\lambda = \frac{(2x_1)w}{2L} = \frac{(24.0\times10^{-3})(0.0295\times10^{-3})}{(2)(60.0\times10^{-2})}$

$= \boxed{5.90\times10^{2}\text{nm}}$

ق أحادي عرضه 0.095 mm. ويبعد
ية المضيئة؟

0. فتنتج نمط على الشاشة. إذا كان
ق عن الشاشة؟

عرضه مجهول، وتكوّن نمط على شاشة
عرض الشق؟

ض الحزمة المركزية المضيئة
؟

0.050 ، ووُضعت شاشة على بُعد
ل الشق أولًا، ثم وضع مرشحًا أحمر

الحيود

ات الحيود غالبًا، كتلك المبيّنة في **الشكل 15**. لأخذ قياسات دقيقة

محزوز الحيود هو أداة مكوّنة من شقوق كثيرة صغيرة تسبّب حيو

ناتجًا عن تداخل أنماط ناتجة عن حيود شق أحادي. يشبه هذا النمط

شق مزدوج، لكن تكون حزمه أكثر إضاءة وأقل عرضًا. يمكن أن

يود من 10,000 شق لكل سنتيمتر. وهذا يعني أنّ المسافة الفاصلة

غيرة جدًا تصل إلى 10^{-6} m. يُعدّ محزوز الحيود أداة فعالة لدراسة

تبعث الضوء أو تمتصه. (1)

ت الحيود، التي يُسمى **محزوز النفاذ**. ويُصنع محزوز النفاذ بعمل خدوش

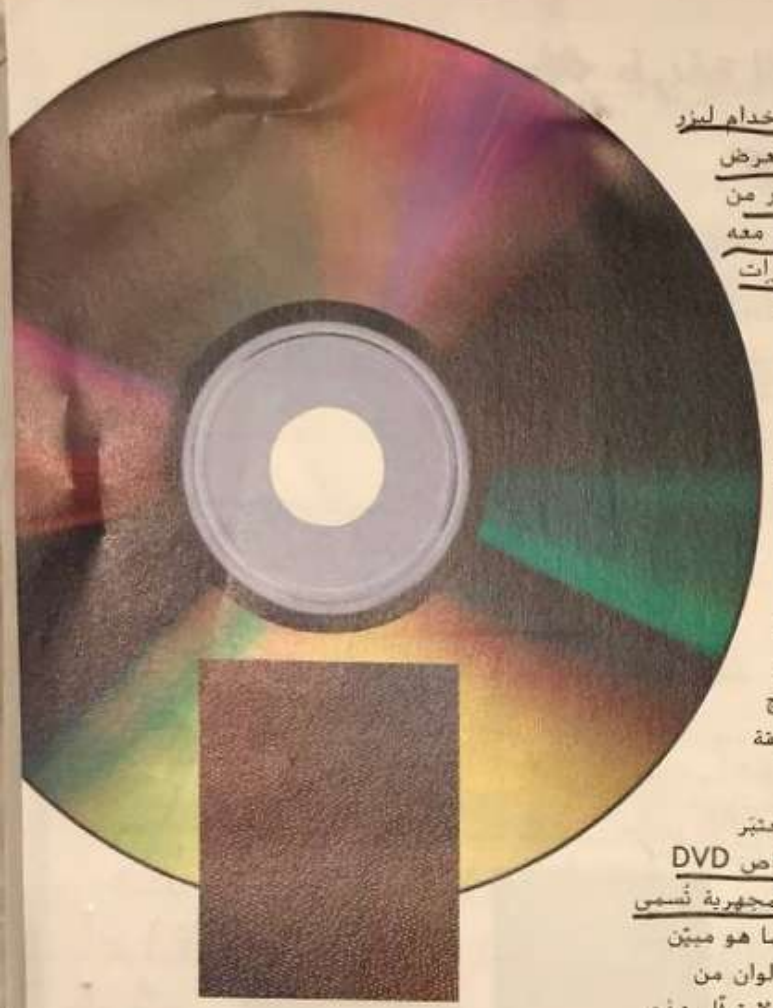
وء في صورة خطوط رفيعة جدًا باستخدام رأس من الألماس، حيث تُ

تعمل الفراغات بين خطوط الخدوش كالشقوق.

يمكن استخدام محزوزات الحيود مع الألماس لتجمل مظهره، حيث تُحفر المحزوزات على أسطح معينة للألماس لزيادة تشتّت الضوء ولتبدو الجواهر برّاقة أكثر.

الشكل 15 تُستخدم محزوزات الحيود في أجهزة وأدوات كثيرة. كما أنّ التأثيرات التي تنتجها هذه المحزوزات تجعلها مثالية لاستخدامها في صناعة المجوهرات.

Scanned by CamScanner



الشكل 16 يُعدّ القرص المدمج محزوز انعكاس ينتج طيفًا ضوئيًا. وتوضّح الصورة المكبّرة لسطح القرص المدمج ترتيب الثقوب والأرضيات.

تُنتج محزوزات الحيود الهولوغرافية الطيف الأكثر إضاءة. وتُصنع باستخدام ليزر ومرايا لإنتاج نمط حيود يتكوّن من خطوط مضيئة ومعتمة متوازية. حيث يُعرض النمط على قطعة فلزية مطلية بمادة حساسة للضوء. فيُنتج الضوء الصادر من الليزر تفاعلًا كيميائيًا يجعل المادة صلبة. ثم يوضع الفلز في حمض يتفاعل معه في الأماكن غير المحمية بالمادة الصلبة. وتكوّن النتيجة مجموعة من البروزات والنتوءات في الفلز مماثلة لنمط الحيود الأصلي. كما يمكن استخدام الفلز نفسه كمحزوز انعكاس. ففي بعض الحالات، توضع طبقة بلاستيكية على فلز بعد تسخينه. فتنتج بروزات ونتوءات في الطبقة البلاستيكية. وتكون أنماط الحيود مضيئة للغاية بسبب الشكل الجيبي للبروزات والنتوءات.

محزوز الانعكاس قد تلاحظ أنّ الضوء المنعكس عن الأقراص المدمجة أو أقراص DVD ينتج نمط حيود طيفي، كما في **الشكل 16**. يُوجد نوع من محزوزات الحيود يُسمى محزوز الانعكاس. ويُصنع بحفر خطوط رفيعة على أسطح طبقة فلزية أو زجاج عاكس. تُعتبَر الأقراص المدمجة وأقراص DVD أمثلة على محزوزات الانعكاس. حيث تُنتج طيف ألوان تراه عندما ينعكس الضوء الأبيض عن أسطحها. إذا سلّطتَ ضوءًا أحادي اللون على قرص DVD. فسيُكوّن الضوء المنعكس نمط انعكاس على شاشة. تُنتج محزوزات النفاذ ومحزوزات الانعكاس أنماطًا متشابهة يُمكن تحليلها بالطريقة نفسها.

الأقراص المدمجة وأقراص DVD وأقراص الأشعة الزرقاء لماذا يُعتبَر القرص المدمج أو قرص DVD محزوز حيود؟ تُعتبَر الأقراص المدمجة وأقراص DVD محزوزات خطية تقليدية. وتُغطّى أسطحها فعليًا بخطوط من الفجوات المجهرية تُسمى ثقوبًا تفصل بينها مناطق مسطحة تُسمى أرضيات. وتأخذ شكلًا حلزونيًا. كما هو مبيّن في الشكل 16. تعمل منحنيات الشكل الحلزوني كمحزوز حيود. وتفصل الألوان من خلال التداخل. إنّ الأقراص المدمجة وأقراص DVD محزوزات حيود. لكن لا تمثّل هذه الحقيقة أهمية بالنسبة إلى وظيفتها. لكن المهم هو الطريقة التي تتفاعل بها مع الأطوال الموجية المختلفة للضوء.

تخزين المعلومات وقراءتها يستخدم الليزر "لقراءة" نمط الثقوب والأرضيات على القرص المدمج أو قرص DVD. يشبه ذلك طريقة برايل التي يستخدمها شخص ضرير للقراءة. حيث ينعكس الضوء الصادر من الليزر عن سطح القرص إلى كاشف الضوء. يتم تسليط ضوء الليزر بحيث تسقط بقعته الساطعة على الكاشف عندما ينعكس عن الأرضيات. وعندما ينعكس عن الثقوب ينتشر ويخفت ضوءه.

يتحدد حجم البقعة بالحيود. لذا، إذا استُخدم طول موجي قصير لليزر، فيقل حجم البقعة وتكون الثقوب أقرب بعضها إلى بعض، مما يسمح بتخزين المزيد من المعلومات. بفضل تقدم تكنولوجيا الليزر، تُستخدم ليزرات بطول موجي قصير، مما يسمح بوضع كم معلومات أكبر على القرص. فأقراص الموسيقى المدمجة تستخدم ضوء الأشعة تحت الحمراء بطول موجي 780 nm. يمكن أن يستوعب القرص المدمج معلومات بسعة 700 ميجابايت تقريبًا. وتستخدم أقراص DVD الليزر الأحمر (650 nm). مما يسمح بتسجيل أكثر من 4 جيجابايت. أما أقراص الأشعة الزرقاء، فستخدم الليزر البنفسجي (405 nm). ويظهر الليزر باللون الأزرق. ولذا سُمي القرص بهذا الاسم. يمكن أن تستوعب أقراص الأشعة الزرقاء ذات الطبقة الواحدة معلومات بسعة تصل إلى 25 جيجابايت.

☑ **التأكد من فهم النص** اشرح العلاقة بين كم المعلومات التي يمكن تخزينها على قرص DVD والطول الموجي للضوء المستخدم لقراءة هذه المعلومات.

كيف تزيد السعة التخزينية للقرص المدمج أو DVD؟

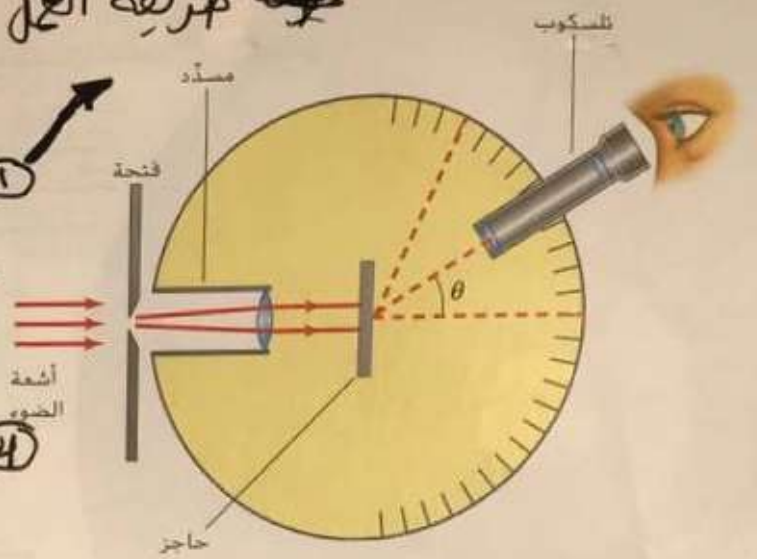
Scanned by CamScanner

طريقة العمل

قياس الطول الموجي تُسمى الأداة التي تُستخدم لقياس الأطوال الموجية للضوء باستخدام محزوز الحيود منظارًا طيفيًا ذا محزوز. كما في الرسم التخطيطي في **الشكل 17**، حيث يمرّ المصدر المراد تحليله ضوءًا يُوجَّه نحو شق ومنه إلى مُجمِّع أشعة ثم إلى محزوز الحيود فيُنتج المحزوز نمط حيود يمكن مشاهدته بالتلسكوب.

إذا كان مصدر الضوء أحادي اللون، فسيكون نمط الحيود الناتج عن المحزوز عبارة عن خطوط مضيئة ضيقة تفصلها مسافات متساوية، كما هو موضّح في **الشكل 18**. كلما زاد عدد الشقوق لكل وحدة طول من المحزوز، كانت الخطوط أضيق في نمط الحيود. وكلما كانت الخطوط أضيق، زادت دقة قياس المسافة بين الخطوط المضيئة.

لقد درستَ سابقًا في هذه الوحدة أنه يمكن استخدام نمط الحيود الناتج عن الشق المزدوج في حساب الطول الموجي. ويمكن وضع معادلة محزوز الحيود بالطريقة نفسها التي اتُبعت لتطوير معادلة الشق المزدوج. لكن الزاوية θ في محزوز الحيود يمكن أن تكون كبيرة. لذا لا يُطبَّق التبسيط الخاص بالزاوية الصغيرة ويمكن إيجاد الطول الموجي بقياس الزاوية (θ) بين الخط المركزي المضيء والخط المضيء ذي الرتبة الأولى.



الشكل 17 يُستخدم المنظار الطيفي ذو المحزوز في قياس الطول الموجي للضوء بشكل دقيق.

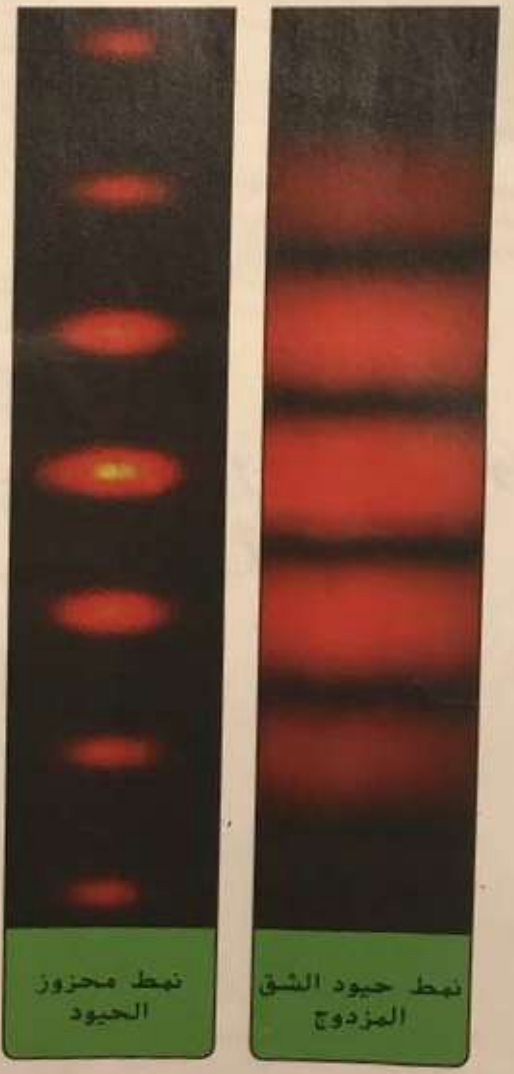
الطول الموجي من محزوز الحيود

يساوي الطول الموجي للضوء المسافة الفاصلة بين الشقوق مضروبة في جيب الزاوية التي يحدث عندها الخط المضيء ذو الرتبة الأولى.

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

يحدث التداخل البنّاء بواسطة محزوز الحيود عند زوايا على جانبي الخط المركزي المضيء الذي تعبّر عنه المعادلة $m\lambda = d \sin \theta$، حيث $m = 0, 1, 2$. وهكذا. ويحدث الخط المركزي المضيء عند $m = 0$. يستخدم علماء التحليل الطيفي أحيانًا الخطوط التي تحدث عن $m = 2$ أو $m = 3$ لأنه يمكن قياس المسافات بين الخطوط المضيئة بشكل أكثر دقة. لاحظ أنّ الفراغ المعتم في نمط محزوز الحيود يكون أكبر منه في نمط الشق المزدوج كما في **الشكل 18**. وذلك لأنّ التداخل الهدّام الناتج في محزوز الحيود أكبر منه في الشق المزدوج. ينتج عن هذا خطوط أكثر ضيقًا، مما يزيد من دقة القياسات أيضًا.

تدخل محزوزات الحيود في تركيب المناظير الطيفية المستخدمة في تحليل الأحجار الكريمة. يدرك علماء الأحجار الكريمة ذوو الخبرة أنماطَ الحزم الناتجة عن مرور الضوء الأبيض عبر الأحجار المختلفة. على سبيل المثال، تُعدّ الحزم الثلاث المضيئة بالألوان الأخضر والأصفر والبرتقالي مؤشرًا قويًا على وجود الكوبالت. وهذا يعني أنّ حجرًا أزرق من المحتمل ألا يكون جوهرة نفيسة كالياقوت الأزرق أو التوباز، بل قطعة زجاجية زهيدة الثمن مشوبة باللون الأزرق.



الشكل 18 يوضح الشكل مقارنة بين نمطي الحيود للضوء الأحمر. يوفّر نمط محزوز الحيود قياسًا أكثر دقة.

Scanned by CamScanner

مثال 3

استخدام قرص DVD بوصفه محزوز حيود لاحظت طالبة طيفًا رائعًا وخيت شعاعًا من مؤشر الليزر الأخضر الخاص بمعلمتها نحو قرص الـ DVD انعكست على الجدار. وظهر على المؤشر أنّ الطول الموجي 532 nm. ووج هذه البقع كانت 1.29 m على الجدار الذي يبعُد مسافة 1.25 m عن القرص قرص الـ DVD؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم التجربة، مبينًا قرص الـ DVD بوصفه محزوزًا والبقع الموجودة ع
- حدّد القيم المعلومة وقم بتسميتها.

المعلوم	المجهول
$x = 1.29\ \text{m}$	$d = ?$
$L = 1.25\ \text{m}$	
$\lambda = 532\ \text{nm}$	

2 حساب المجهول

أوجد الزاوية المحصورة بين البقعة المركزية المضيئة والبقعة المجاورة لها

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{x}{L}\right)$$

عوّض مستخدمًا $x = 1.29\ \text{m}$ ◄

$$= \tan^{-1}\left(\frac{1.29\ \text{m}}{1.25\ \text{m}}\right)$$

$$= 45.9°$$

استخدم الطول الموجي لمحزوز الحيود وأوجد المتغيّر d.

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

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

عوّض مستخدمًا $\times 10^{-9}\ \text{m}$ ◄

$$= \frac{532 \times 10^{-9}\ \text{m}}{\sin 45.9°}$$

$$= 7.41 \times 10^{-7}\ \text{m} = 741\ \text{nm}$$

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** الإجابة بوحدة m، وهي وحدة صحيحة للمسافة الفاصلة.
- **هل الجواب منطقي؟** عندما يكون كلٌ من x و L الحجم نفسه غالبًا، تكون قيمة d قريبة من قيمة λ.

تطبيق

21. يسقط ضوء أبيض من خلال محزوز على شاشة. صف النمط الناتج.
22. إذا سقط ضوء أزرق طوله الموجي 434 nm على محزوز حيود، وكانت المسافة الفاصلة هي 0.55 m بين الخطوط الناتجة على شاشة تبعُد 1.05 m، فما المسافة الفاصلة بين الشقوق في المحزوز؟
23. بضاء محزوز حيود تفصل بين شقوقه مسافة $8.60 \times 10^{-7}\ \text{m}$ يضوء بنفسجي طوله الموجي 421 nm. إذا كانت الشاشة على بُعد 80.0 cm من المحزوز، فما مقدار المسافات الفاصلة بين الخطوط في نمط الحيود؟
24. يسقط ضوء أزرق على قرص DVD في مثال المسألة 3. إذا كانت المسافات الفاصلة بين النقاط المتكوّنة على جدار يبعُد 0.65 m تساوي 58.0 cm، فما مقدار الطول الموجي؟
25. **تحفيز** يمرّ ضوء طوله الموجي 632 nm عبر محزوز حيود ويكوّن نمطًا على شاشة تبعُد مسافة 0.55 m عن المحزوز. إذا كانت الحزمة المضيئة الأولى على بُعد 5.6 cm من الحزمة المركزية المضيئة، فما عدد الشقوق لكل سنتيمتر في المحزوز؟

Scanned by CamScanner

الشكل 19 تسبب الفتحة حيود الضوء فتنشئ نمط حيود يحوي بقعة مركزية مضيئة محاطة بحلقات معتمة ومضيئة.

قدرة التحليل للعدسات

تعمل العدسة المستديرة في التلسكوب والمجهر وحتى عينك عمل فجوة وتسمى فتحة، ليمرّ الضوء من خلالها. وتسبب الفتحة حيود الضوء، تمامًا كما يفعل الشق الأحادي، وتنتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة بواسطتها. كما هو مبيّن في الشكل 19 فضلًا عن ذلك، تكون معادلة حساب الفتحة مماثلة لمعادلة حساب الشق الأحادي لكن يكون للفتحة حافة دائرية بدلًا من حافتي الشق. لذا يُستبدل عرض الشق (w) بقطر الفتحة (D)، بالإضافة إلى إدخال عامل هندسي مقداره 1.22. فتصبح المعادلة

$$x_1 = \frac{1.22\lambda L}{D}$$

الربط بعلم الفلك عندما يُرى الضوء المنبعث من نجم بعيد بواسطة فتحة التلسكوب، فإنّ الصورة تنتشر بسبب الحيود. إذا كان يوجد نجمان قريبان جدًا أحدهما إلى الآخر، فإنّ صورتيهما تتداخلان معًا. في العام 1879، وضع الفيزيائي والرياضي البريطاني لورد ريليه، الحائز على جائزة نوبل، معيارًا لتحديد ما إذا كان يوجد نجم أم اثنان في مثل هذه الصورة. ينص **معيار ريليه** على أنه إذا سقط مركز البقعة المضيئة لصورة أحد النجمين على الحلقة المعتمة الأولى للنجم الثاني، فإنّ الصورتين تكونان عند حد التمييز. وإذا كانت صورتا النجمين عند حد التمييز، فسيكون المشاهد قادرًا على تحديد وجود نجمين بدلًا من نجم واحد فقط.

إذا كان جسمان عند حد التمييز، فكيف يمكنك إيجاد المسافة بينهما (x_{obj})؟ طبقًا لمعيار ريليه، تكون المسافة بين مركزي بقعتين مضيئتين لصورتين هي x_1. يوضّح الشكل 20 أنه يمكن استخدام المثلثات المتماثلة لإيجاد أنّ $\frac{x_{obj}}{L_{obj}} = \frac{x_1}{L}$. ويمكننا جمع هذه المعادلة مع معادلة حجم الفتحة $\left(\frac{x_1}{L} = \frac{1.22\lambda}{D}\right)$ وإيجاد المسافة بين الجسمين (x_{obj}).

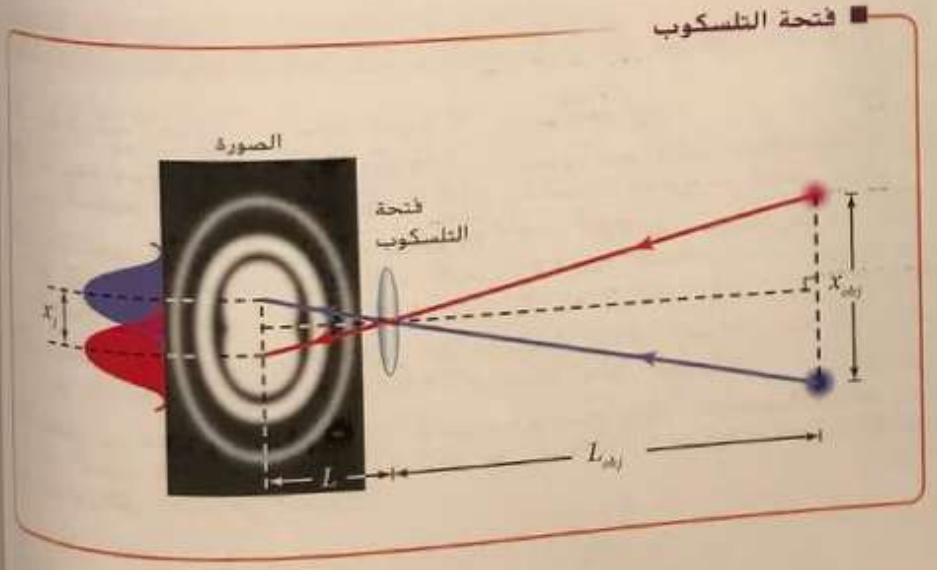
معيار ريليه

تساوي المسافة الفاصلة بين جسمين عندما يكونان عند حد التمييز 1.22 مضروبًا في الطول الموجي للضوء والمسافة من الفتحة المستديرة إلى الجسمين مقسومًا على قطر الفتحة المستديرة.

$$x_{obj} = \frac{1.22\lambda L_{obj}}{D}$$

تجربة مصغرة

شاشة عرض شبكية كيف تُستخدم شبكية العين بوصفها شاشة؟



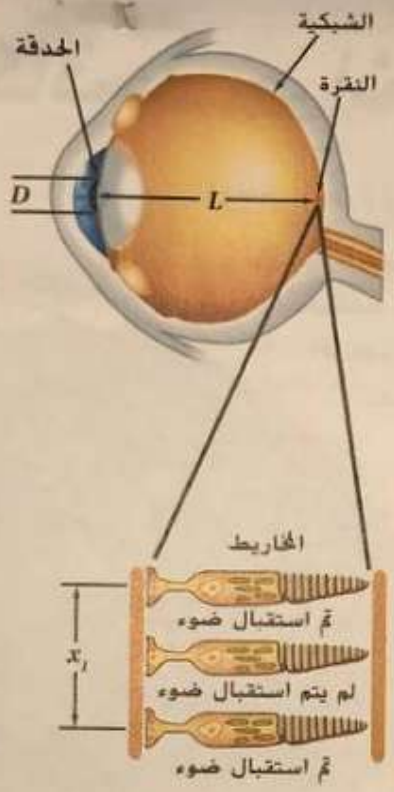
الشكل 20 يمكن حساب المسافة الفاصلة بين جسمين باستخدام هندسة المثلثات المتماثلة. إنّ اللونين الأزرق والأحمر للتوضيح فقط. (الرسم التوضيحي ليس مقياسًا)

Scanned by CamScanner

الحيود في العين عندما يكون الضوء ساطعًا، يكون قطر حدقة العين 3 mm تقريبًا. وتكون حساسية العين أكبر ما يكون للضوء الأصفر المخضر حيث الطول الموجي $\lambda = 550\ nm$. لذا بتطبيق معيار ريليه على العين يُعطي $x_{obj} = (2 \times 10^{-4})L_{obj}$. وتبلغ المسافة بين الحدقة والشبكية 2 cm تقريبًا، لذا باستخدام $x_1 = 1.22\lambda L/D$. سيكون من الصعب التمييز بين مركزي البقعتين المضيئتين لمصدرين نقطيين عندما تفصل بينهما مسافة 4 μm تقريبًا على الشبكية. تبلغ المسافة الفاصلة بين المخاريط، التي هي عبارة عن كاشفات ضوئية في الشبكية، في أكثر الأجزاء حساسية في الشبكية، وهي النقرة، 2 μm تقريبًا. لذا تُسجل المخاريط الثلاثة المتجاورة في الحالة المثالية ضوءًا وعتمة وضوءًا، كما هو موضّح في **الشكل 21**. يجب أن تكون المسافة بين مركزي البقعتين المضيئتين من مصدرين نقطيين مساوية على الأقل للمسافة بين مخروطي تسجيل الضوء لتمييزهما. وتبدو العين مثالية التركيب.

بدل تطبيق معيار ريليه لإيجاد قدرة العين على التمييز بين مصدرين متباعدين على أنّ العين يمكنها التمييز بين المصباحين الأماميين (المسافة بينهما 1.5 m) لسيارة على بُعد 7 km. لكن عمليًا، لا يحد الحيود من عمل العين إذ تؤدي العيوب في العدسة والسائل الذي يملأ العين إلى التقليل من قدرة التمييز للعين بمقدار خمس مرات وفق معيار ريليه. كما تُحدّ مراكز معالجة الرؤية في دماغ الإنسان من القدرة على اكتشاف الأجسام النقطية الصغيرة.

يعلن العديد من الشركات المصنعة للتلسكوب أنّ أجهزتها محدودة الحيود. وهذا يعني أنّ أجهزتها قادرة على التمييز بين مصدرين نقطيين عند حد معيار ريليه. وللوصول إلى هذا الحد، يجب عليهم صقل المرايا والعدسات بدقة تصل إلى عُشر الطول الموجي (55 nm تقريبًا). وكلما كبر قطر المرآة، زادت قدرة التمييز للتلسكوب إلا أنّ تفاعلات الضوء مع الغلاف الجوي للأرض تؤدي إلى عدم وصول التلسكوبات الموجودة على الأرض إلى حد الحيود. وتُعدّ دقة صور التلسكوبات الموجودة في الفضاء أفضل بكثير من دقة صور التلسكوبات الكبرى الموجودة على سطح الأرض.



الشكل 21 تُعدّ حدقة العين فتحة تسبب حيود الضوء.

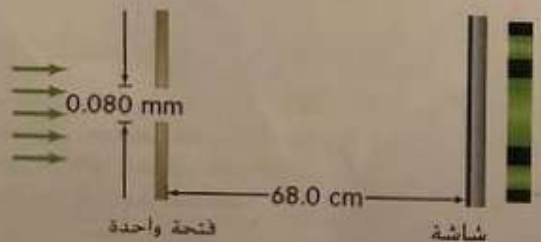
القسم 2 مراجعة

26. **الكرة** الرئيسة قطعة كبيرة من الورق المقوى عليها شقوق كثيرة ضيقة وقريبة بعضها من بعض على مسافات متساوية. وأضيء هذان الشقان بضوء أحمر أحادي اللون. ووُضعت ورقة بيضاء بعيدًا عن الشقوق. فنتج نمط من الحزم المضيئة والمعتمة على الورقة. ارسم النمط الظاهر على الورقة.

27. **معيار ريليه** يُعدّ نجم الشِّعرى اليمانية (سيريوس) النجم الأكثر سطوعًا في نصف الكرة الأرضية الشمالي في فصل الشتاء. وهذا النجم، في الحقيقة، نظام مكوّن من نجمين يدور كل منهما حول الآخر. إذا وُجّه تلسكوب هابل الفضائي (قطر فتحته 2.4 m) نحو هذا النظام الذي يبعُد 8.44 سنوات ضوئية عن الأرض، فما أقل مسافة فاصلة بين النجمين نحتاج إليها لنتمكن من التمييز بينهما باستخدام التلسكوب؟ افترض أنّ الطول الموجي للضوء المنبعث من النجمين يساوي 550 nm.

28. **المسافة بين الخطوط** سلّطتَ ضوء ليزر أحمر إلى محزوز حيود فنتج نمط من النقاط الحمراء على شاشة. ثم استبدلتَ محزوز الحيود الأول بمحزوز حيود آخر، فنتج نمط مختلف. وكانت النقاط الناتجة عن المحزوز الأول أكثر انتشارًا من تلك الناتجة عن المحزوز الثاني. أي من المحزوزين يحتوي على خطوط أكثر لكل ملليمتر؟

29. **الحزم المعتمة ذات الرتبة الأولى** يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طوله الموجي 546 nm على شق أحادي موضح عرضه وبُعده عن الشاشة في **الشكل 22**. ما مقدار المسافة الفاصلة بين الحزم المعتمة ذات الرتبة الأولى؟



الشكل 22

30. **التفكير الناقد** شاهدتَ مطيافًا إلا أنك لا تعلم ما إذا كان الطيف الناتج عنه باستخدام منشور أو محزوز حيود. إذا نظرت إلى الطيف الناتج عن الضوء الأبيض المارّ عبر المطياف، فكيف يمكنك تحديد الجهاز الذي أنتج الطيف؟

Scanned by CamScanner