KINGDOM OF BAHRAIN

Ministry of Education

مَمْلَكَةُ البَحْرَيْنِ

وَزَارَةُ التَّرْبِيَةِ وَالتَّعْلِيمِ

الفيزياء ٥

للمرحلة الثانوية

دليل المعلم

2030 البحرين BAHRAIN

العبيكان Obeikan

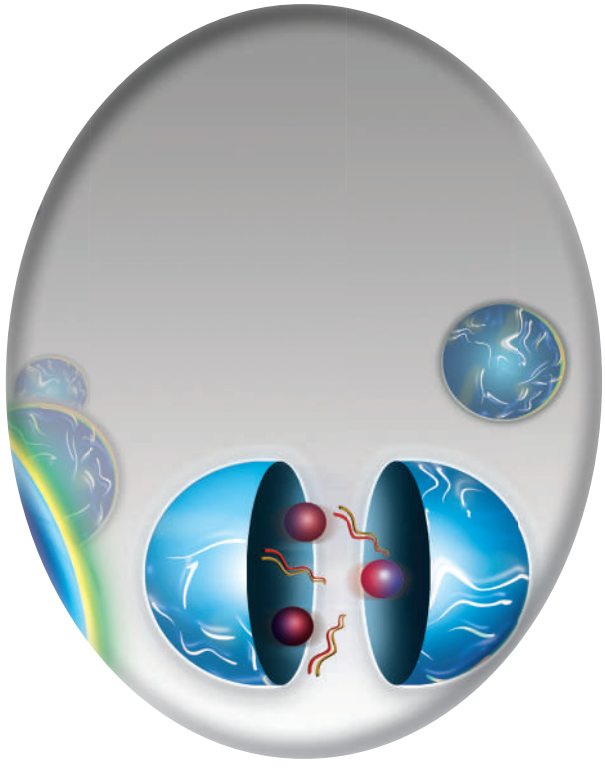
فيز٢١٢

قررت وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين اعتماد تدريس هذا الكتاب بمدارسها الثانوية

إدارة سياسات وتطوير المناهج

الفيزياء ٥

للمرحلة الثانوية



الطبعة الثانية
١٤٣٦ هـ - ٢٠١٥ م

منهاجي
متعة التعليم الهادف

العبيكان Obeikan

Mc Graw Hill Education

Original Title:
Physics
Principles and Problems
By:
Paul W. Zitzewitz
Todd George Elliott
David G. Haase
Kathleen A. Harper
Michael R. Herzog
Jane Bray Nelson
Jim Nelson
Charles A. Schuler
Margaret K. Zorn

الفيزياء ٥

أعدَّ النسخة العربية : شركة العبيكان للتعليم

التحرير والمراجعة والمواءمة
د.أحمد محمد رفيع
ربحي سعيد حميدي
خلدون سليمان المصاروه

التعريب
موسى جابر عبابنة
هنادي لطفي القرعان
محي الدين جابر عبابنة

التحرير اللغوي
عمر الصاوي
حسن فرغلي

مواءمة ومراجعة نسخة مملكة البحرين
يوسف عبدالسلام محفوظ
د. سمير عبد سالم الخريسات

التأليف والتطوير
فريق متخصّص من وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين.

www.macmillanmh.com

Mc Graw Hill Education

العبيكان Obeikan

English Edition Copyright © 2009 the McGraw-Hill Companies, Inc.
All rights reserved.

Arabic Edition is published by Obeikan under agreement with
The McGraw-Hill Companies, Inc. © 2008.

حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل©، ٢٠٠٩م.

الطبعة العربية: مجموعة العبيكان للاستثمار
وفقًا لاتفاقيتها مع شركة ماجروهل© ٢٠٠٨م/ ١٤٢٩هـ.

لا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو نقله في أي شكل أو واسطة، سواءً أكانت إلكترونية أو ميكانيكية، بما في ذلك التصوير بالنسخ «فوتوكوبي»، أو التسجيل، أو التخزين و الاسترجاع، دون إذن خطي من الناشر.

حضرة صاحب الجلالة الملك حمد بن عيسى آل خليفة

ملك مملكة البحرين المعظم

المقدمة

بسم الله الرحمن الرحيم

يأتي اهتمام مملكة البحرين بتطوير مناهج التعليم وتحديثها في إطار الخطة العامة للمملكة، وسعيها إلى مواكبة التطورات العالمية على مختلف الأصعدة.

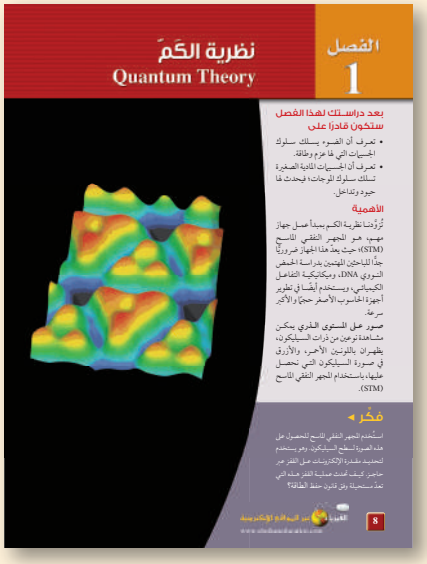
ويأتي كتاب الفيزياء٥ للمرحلة الثانوية في إطار مشروع تطوير مناهج الرياضيات والعلوم، الذي يهدف إلى إحداث تطور نوعي في تعليم وتعلم هاتين المادتين، يكون للطالب فيه الدور الرئيس والمحوري في عمليتي التعليم والتعلّم. وقد جاء هذا الكتاب في ثلاثة فصول شملت: نظرية الكم، والذرة، والفيزياء النووية.

وقد جاء عرض محتوى الكتاب بأسلوب مشوق، وتنظيم تربوي فاعل، يعكس توجهات المنهج وفلسفته. وقد كتب بأسلوب يساعد الطالب على تنمية مهارات التحليل والتفسير والاستنتاج والتعبير، وذلك من خلال اهتمامه بالجانب التجريبي. كذلك اشتمل المحتوى على أنشطة متنوعة المستوى، تتسم بإمكانية تنفيذ الطلبة لها، وتراعي في الوقت نفسه مبدأ الفروق الفردية بينهم، بالإضافة إلى تضمينه صورًا وأشكالًا ورسومًا توضيحية معبرة تعكس طبيعة الفصل، مع حرص الكتاب على مبدأ التقويم التكويني في فصوله ودروسه المختلفة.

كما أكدت فلسفة الكتاب أهمية اكتساب الطالب المنهجية العلمية في التفكير والعمل، وتزويده بالمهارات العقلية والعملية الضرورية، ومنها: التجارب الاستهلالية، والتجارب العملية الأخرى، ومختبر الفيزياء، والإثراء، بالإضافة إلى حرصها على ربط المعرفة مع حياة الطالب، إلى جانب التكامل مع المواد الأخرى مثل: الرياضيات، واللغة، والتقنية، والمجتمع.

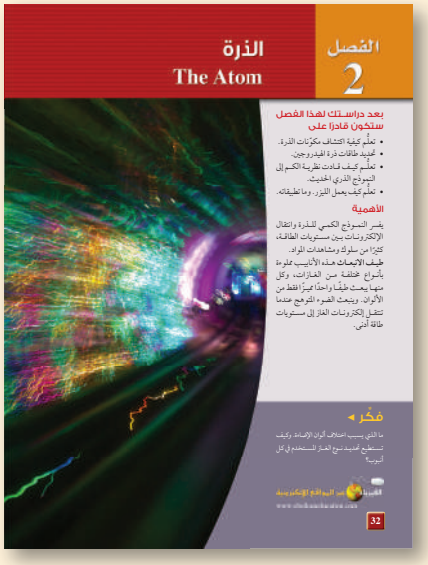
واللهَ نسأل أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

قائمة المحتويات



الفصل 1

نظرية الكم 8
تجربة استهلالية 9
1–1 النموذج الجسيمي للموجات 9
1–2 موجات المادة 21
مختبر الفيزياء 24
التقويم 28



الفصل 2

الذرة 32
تجربة استهلالية 33
2–1 نموذج بور الذري 33
2–2 النموذج الكمي للذرة 47
مختبر الفيزياء 54
التقويم 58

قائمة المحتويات

الفصل 3

الفيزياء النووية 62

تجربة استهلالية 63

3–1 النواة 63

3–2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية 70

3–3 وحدات بناء المادة 80

مختبر الفيزياء 90

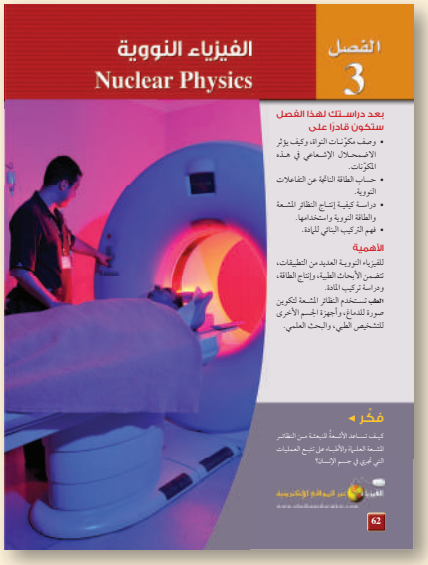
التقويم 94

دليل الرياضيات 100

الجداول 120

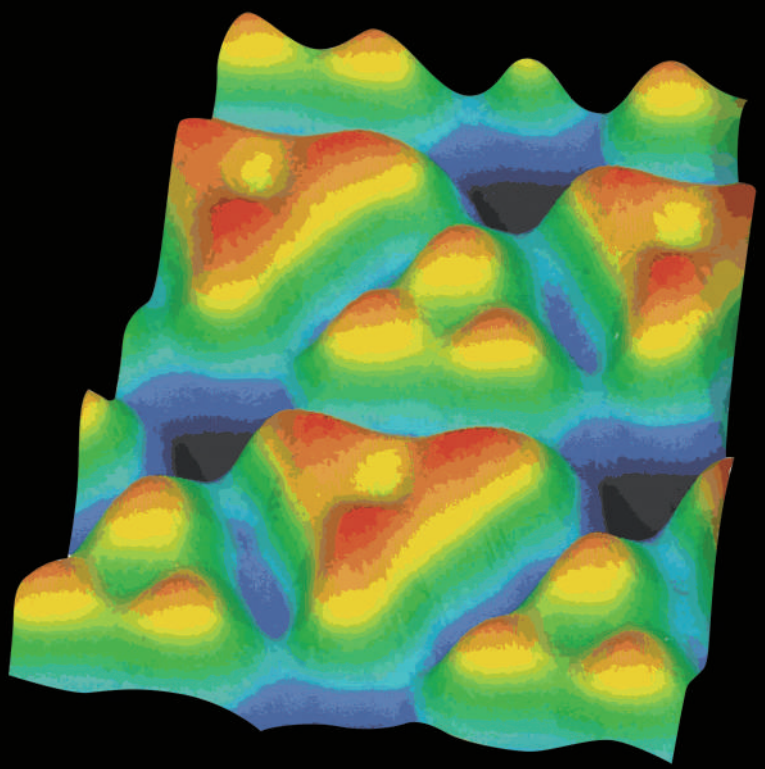
المصطلحات 125

الجدول الدوري للعناصر 128



الفصل
1

نظرية الكَمّ
Quantum Theory



بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- تعرف أن الضوء يسلك سلوك الجسيمات التي لها عزم وطاقة.
- تعرف أن الجسيمات المادية الصغيرة تسلك سلوك الموجات؛ فيحدث لها حيود وتداخل.

الأهمية

تُزوِّدنا نظرية الكم بمبدأ عمل جهاز مهم، هو المجهر النفقي الماسح (STM)؛ حيث يعدّ هذا الجهاز ضروريًّا جدًّا للباحثين المهتمين بدراسة الحمض النووي DNA، وميكانيكية التفاعل الكيميائي، ويستخدم أيضًا في تطوير أجهزة الحاسوب الأصغر حجمًا والأكبر سرعة.

صور على المستوى الذري يمكن مشاهدة نوعين من ذرات السيليكون، يظهران باللونين الأحمر، والأزرق في صورة السيليكون التي نحصل عليها، باستخدام المجهر النفقي الماسح (STM).

فكِّر ◄

استُخدم المجهر النفقي الماسح للحصول على هذه الصورة لسطح السيليكون. وهو يستخدم لتحديد مقدرة الإلكترونات على القفز عبر حاجز. كيف تحدث عملية القفز هذه التي تعدّ مستحيلة وفق قانون حفظ الطاقة؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

ماذا يشبه طيف المصباح الكهربائي المتوهّج؟

سؤال التجربة ما ألوان الضوء المرئي المنبعثة من مصباح كهربائي متوهج وساطع؟

الخطوات

1. ثبت المصباح الكهربائي المتوهج في قاعدته.
2. صل المصباح مع مصدر جهد كهربائي يمكن التحكم فيه بمفتاح تحكم، وأضئ المصباح بحيث يصدر ضوءًا خافتًا. **تحذير: تجنب لمس المصباح المتوهج؛ لأنه يؤدي إلى إحداث حروق عندما يكون ساخنًا.**
3. أطفئ المصابيح الأخرى في الغرفة الصفية أو اجعل إضاءتها خافتة.
4. قف على بُعد 1–2 m من المصباح الكهربائي، وأمسك بمحزوز حيود هولوجرافي، بحيث يكون قريبًا من عينك، وشاهد المصباح من خلاله. **تحذير: لا تنظر مباشرة إلى المصباح الكهربائي الساطع دون استخدام محزوز الحيود؛ لأن ذلك يؤدي إلى إلحاق الأذى بقدرتك على الرؤية.**
5. **أنشئ رسومًا توضيحية علمية واستخدمها** استعمل أقلام رصاص ملونة لعمل رسم توضيحي لما تشاهده.
6. أدِرْ مفتاح التحكم لزيادة سطوع المصباح الكهربائي إلى حدّه الأقصى.
7. **أنشئ رسومًا توضيحية علمية واستخدمها** استعمل أقلام رصاص ملونة لعمل رسم توضيحي لما تشاهده.

التحليل

صف الطيف المنبعث من المصباح الكهربائي. هل هو متصل أم سلسلة من الخطوط الملونة والمميّزة؟ صف كيف يتغير الطيف المشاهد عندما يزداد سطوع المصباح.

التفكير الناقد ما مصدر الضوء المنبعث من المصباح؟ ماذا يحدث لدرجة حرارة فتيلة المصباح عندما يزداد سطوع المصباح الكهربائي؟

1–1 النموذج الجسيمي للموجات
A Particle Model of Waves

الأهداف

- **تصف** الطيف المنبعث من جسم ساخن.
- **تفسر** التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون.
- **تحل** مسائل تتضمن التأثير الكهروضوئي.

المفردات

طيف انبعاث	مكمّاة
التأثير الكهروضوئي	تردد العتبة
(الانبعاث الكهروضوئي)	جهد الإيقاف
الفوتون	اقتران (دالة) الشغل
تأثير كومبتون	

تم إثبات صحة نظرية الموجات الكهرومغناطيسية للعالم ماكسويل، من خلال تجارب هينرش هيرتز التي أجراها عام 1889م. وقد اعتُبر الضوء بعد ذلك موجات كهرومغناطيسية. وبدا أن جميع الظواهر البصرية – ومنها التداخل والحيود والاستقطاب – قابلة للتفسير باستخدام نظرية الموجات الكهرومغناطيسية.

ورغم ذلك، فقد بقيت بعض المشكلات لدى الفيزيائيين بحاجة إلى حل؛ لأن ما أشارت إليه نظرية ماكسويل – أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية محضة – لم تستطع تفسير بعض الظواهر المهمة الأخرى. وتتعلق هذه المشكلات عمومًا بعملية امتصاص أو انبعاث الإشعاع الكهرومغناطيسي. ومن هذه المشكلات: الطيف المنبعث من جسم ساخن، وتفريغ الجسيمات المشحونة كهربائيًّا من سطح فلزي عند سقوط أشعة فوق بنفسجية عليه. وسوف تتعلم في هذا الفصل أن هاتين الظاهرتين يمكن تفسيرهما عندما تدرك أن الموجات الكهرومغناطيسية لها خصائص جسيمية إضافة إلى خصائصها الموجية.

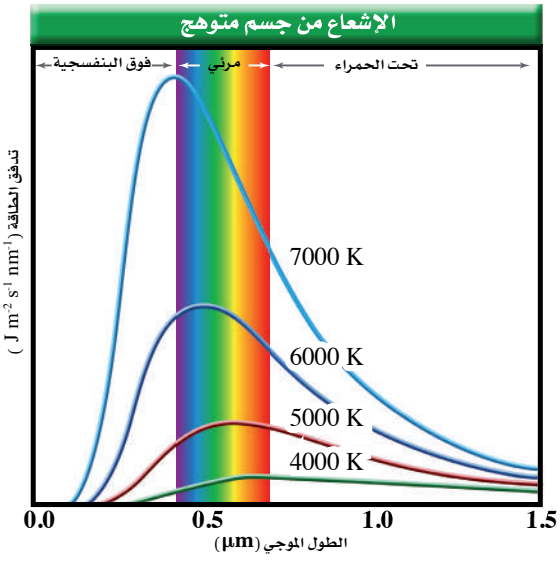
الإشعاع من الأجسام المتوهجة
Radiation from Incandescent Bodies

لماذا حيّر الإشعاع المنبعث من الجسم الساخن الفيزيائيين؟ لاحظ أنه يجب التعامل مع المشكلة من حيث شدة، وتردد الإشعاع المنبعث عند درجات حرارة مختلفة. لم تستطع نظرية الموجات الكهرومغناطيسية لماكسويل تفسير الإشعاعات المشاهدة المنبعثة من الأجسام الساخنة. إذن فما طبيعة الإشعاع المُنبعث من الأجسام الساخنة؟

يعدّ المصباح الكهربائي الذي شاهدته في التجربة الاستهلالية في بداية الفصل مثالاً على الجسم الساخن. وكما يتوقع بناءً على النظرية الكهرومغناطيسية، تبعث الجسيمات المشحونة المهتزة في فتيلة المصباح الكهربائي الضوءَ المرئي والأشعة تحت الحمراء، حيث تضيء الفتيلة؛ لأنها ساخنة، ويقال إنها توهّجت، لذا يوصف المصباح الكهربائي بالمتوهّج. وتعتمد الألوان التي تراها على الشدة النسبية للموجات الكهرومغناطيسية المنبعثة ذات الترددات المختلفة، وعلى حساسية عينيك لهذه الموجات.

عندما يُستخدم مفتاح التحكم لزيادة الجهد المسلط على المصباح، فإن درجة حرارة الفتيلة المتوهجة تزداد. ونتيجة لذلك، فإن اللون يتغير من الأحمر الداكن إلى البرتقالي، ثم إلى الأصفر، وأخيرًا إلى الأبيض. ويحدث تغير اللون هذا لأن الفتيلة ذات درجة الحرارة الأعلى تبعث إشعاعًا بتردد أعلى (طول موجي أقل). إن الإشعاع ذا التردد الأعلى يَنتج عن التردد الأعلى للطيف المرئي (اللون البنفسجي)، وهذا يؤدي إلى أن تظهر الفتيلة بيضاء.

ماذا تتوقع أن تشاهد إذا نظرت إلى الفتيلة المتوهجة من خلال محزوز حيود؟ عندما تنظر إليها بهذه الطريقة فإنه يمكنك مشاهدة جميع ألوان قوس المطر. ويبعث المصباح في الوقت نفسه أشعة تحت حمراء وأخرى فوق بنفسجية لا يمكنك رؤيتها، ويعبر الرسم البياني لشدة الضوء المنبعث من جسم ساخن على مدى من الأطوال الموجية عن **طيف الانبعاث**، ويوضح **الشكل 1–1** أطياف الانبعاث لجسم متوهج عند درجات الحرارة 4000 K و 5000 K و 6000 K و 7000 K، لاحظ أنه عند كل درجة حرارة هناك طول موجي تنبعث عنده كمية عظمى من الطاقة. وإذا قمت بمقارنة موقع قمة كل منحنى، فستلاحظ أنه كلما ازدادت درجة الحرارة، فإن الطول الموجي الذي تنبعث عنده القيمة العظمى من الطاقة يقل.



الشكل 1–1 يوضح الرسم البياني أطياف الانبعاث لجسم متوهج عند درجات حرارة مختلفة.

إن القدرة الكلية المنبعثة من جسم ساخن تزداد أيضًا بازدياد درجة حرارته؛ إذ تتناسب قدرة (الطاقة المنبعثة في كل ثانية) الموجات الكهرومغناطيسية طرديًّا مع درجة حرارة الجسم الساخن بوحدة كلفن، مرفوعة للقوة الرابعة؛ لذا تشع الأجسام الأسخن،

تجربة

التوهج في الظلام

أَسدل الستائر، وأطفئ المصابيح في الغرفة، ثم سلّط ضوء مصباح يدوي على إناء يحتوي على مادة الفلوريسين. ضع الآن مرشّح ضوء أحمر على المصباح اليدوي لكي يسقط ضوء أحمر فقط على الإناء.

1. **صف** النتائج.
2. **توقع** كيف تتأثر النتائج عند استعمال مرشّح ضوء أخضر بدلاً من المرشّح الأحمر؟
3. **اختبر** توقعاتك.
4. **فسّر** النتائج.
5. **توقع** ما إذا كان الفلوريسين سيتوهج عند استعمال مرشح ضوء أزرق مع وضع تفسير لتوقعك.
6. **اختبر** توقعاتك.

التحليل والاستنتاج

7. **اكتب** تفسيرًا مختصرًا، تلخّص وتوضح فيه مشاهداتك.

الربط مع الفلك

قدرة أكبر مقارنة بالأجسام الأبرد. وتعد الشمس من أكثر الأمثلة شيوعًا على الأجسام الساخنة التي تشع كمية كبيرة من الطاقة؛ إذ تعد كرة كثيفة من الغازات الساخنة جدًّا والمتوهجة؛ وذلك بسبب الطاقة الناتجة عن التفاعلات النووية فيها. وتبلغ درجة حرارة سطح الشمس 5800 K، وتشع قدرة مقدارها 4×10^{26} W وهي كمية هائلة جدًّا. وفي المتوسط يستقبل كل متر مربع من سطح الأرض 1000 J من الطاقة في كل ثانية؛ أي قدرة مقدارها 1000 W، وتكون هذه الكمية كافية لإضاءة عشرة مصابيح كهربائية قدرة كل منها 100 W

فرضية التكميم لبلانك: تكمن المشكلة بالنسبة للنظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل أنها غير قادرة على تفسير شكل الطيف الموضّح في **الشكل 1–1**. وقد حاول كثير من الفيزيائيين خلال الفترة 1887 و 1900م تفسير شكل هذا الطيف باستخدام النظريات الفيزيائية الكلاسيكية التي كانت موجودة آنذاك، ولكنها فشلت جميعًا. وفي عام 1900م وجد الفيزيائي الألماني ماكس بلانك أن باستطاعته حساب الطيف اعتمادًا على فرضية قدّمها تنص على أن الذرات غير قادرة على تغيير طاقتها بشكل مستمر. وأن طاقة اهتزاز الذرات في الجسم الصلب لها ترددات محددة فقط، كما هو موضح في المعادلة التالية:

طاقة الاهتزاز $E = nhf$

طاقة الذرة المهتزة تساوي حاصل ضرب عدد صحيح في ثابت بلانك وفي تردد الاهتزاز.

يمثل الرمز f تردد اهتزاز الذرة، وh ثابت بلانك ومقداره 6.626×10^{-34} J/Hz، ويُقرّب الثابت h عادة إلى 6.63×10^{-34} J/Hz لتبسيط إجراء الحسابات، و n عدد صحيح يعرف بالعدد الكمي مثل 0 و1 و2 و3 و...

$$n = 0:\ E = (0)\ hf = 0$$
$$n = 1:\ E = (1)\ hf = hf$$
$$n = 2:\ E = (2)\ hf = 2\ hf$$
$$n = 3:\ E = (3)\ hf = 3\ hf \quad \text{وهكذا}$$

لذا فإن الطاقة E يمكن أن يكون لها المقادير hf و $2hf$ و $3hf$ ... وهكذا، ولكن لن يكون لها المقدار $\frac{2}{3}hf$ أو $\frac{3}{4}hf$، أي أن الطاقة **مكمّاة**؛ بمعنى أنها توجد فقط على شكل حزم أو كميات معينة.

واقترح بلانك أيضًا أن الذرات لا تشع دائمًا موجات كهرومغناطيسية عندما تكون في حالة اهتزاز– كما توقع ماكسويل– إلا أن الذرات تبعث إشعاعًا فقط عندما تتغير طاقة اهتزازها. فإذا تغيرت طاقة اهتزاز ذرة مثلاً من $3\ hf$ إلى $2\ hf$ فإن الذرة تبعث إشعاعًا. والطاقة المنبعثة تساوي التغير في طاقة اهتزاز الذرة، وهي تساوي hf في هذه الحالة.

وجد بلانك أن الثابت h له قيمة صغيرة جدًّا، وهذا يعني أن مقادير تغير الطاقة صغيرة جدًّا، بحيث لا يمكن ملاحظتها في الأجسام العادية. وبقي تقديم مفهوم تكمية الطاقة يمثل مشكلة كبيرة للفيزيائيين، وخصوصًا لبلانك نفسه. وكانت هذه أول إشارة إلى أن الفيزياء الكلاسيكية لنيوتن، وماكسويل قد تكون صحيحة تحت ظروف خاصة فقط. وتم تكريم العالم بلانك لنظريته في تكمية الطاقة؛ وذلك بحصوله على جائزة نوبل عام 1918م من خلال طابع بريدي صدر في الآونة الأخيرة، كما هو موضح في **الشكل 2–1**.

تطبيق الفيزياء

درجة حرارة الكون

الكون مليء بالإشعاع الذي بعثه عندما كان جسمًا ساخنًا جدًا. وفي الوقت الحالي، فإن طيف الانبعاث للكون مماثل لطيف الانبعاث لجسم درجة حرارته 2.7 K، وهو بهذا يعدّ باردًا جدًّا. وكما تعلم فإن 0 K تمثل أقل درجة حرارة ممكنة في مقياس كلفن وتسمى الصفر المطلق.

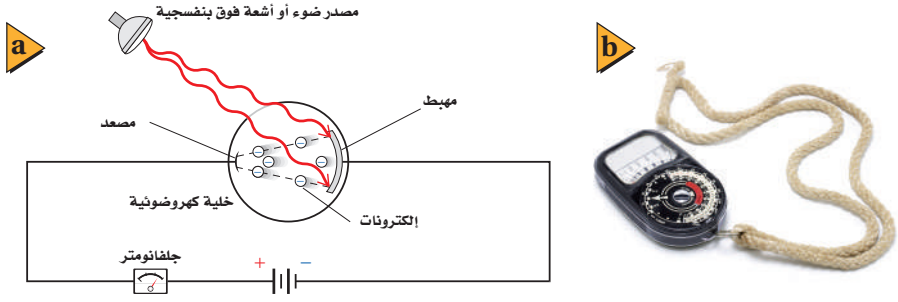
الشكل 2–1 يخلّد هذا الطابع إنجاز العالم ماكس بلانك، ويوضح إشارة الثابت h الذي يحمل اسم بلانك. ويستخدم ثابت بلانك، ومقداره 6.626×10^{-34} J/Hz في كثير من المعادلات المتعلقة بفيزياء الكم.

التأثير الكهروضوئي (الانبعاث الكهروضوئي)

The Photoelectric Effect

واجـه الفيزيائيون في بداية القرن العشرين أيضًا، بعـض التحديات المتعلقة ببعض النتائج العملية التي لا يمكن تفسـيرها من خلال النظرية الموجية لماكسويل؛ حيث لوحظ أنه عند سـقوط أشـعة فوق بنفسجية على لوح زنك مشحون بشحنة سـالبة، فإنه يفقد شحنته. أما عند سقوط ضوء مرئي عادي على اللوح المشحون نفسه، فإنه لا يفقد شحنته. وهذه النتيجة مناقضـة للنظرية الكهرومغناطيسـية؛ حيث إن كلًّا من الأشـعة فوق البنفسـجية والضوء المرئـي يتكونان من إشـعاع كهرومغناطيسي، فلماذا إذًا يفقد لوح الزنك شـحنته بأحدهما، ولا يفقدها بالآخر؟ ولماذا لا يفقد لوح الزنك الموجب الشحنة شحنته بطريقة مماثلة؟ وقد بيّنت دراسـات إضافية أن لوح الزنك السالب الشـحنة يفقد شحنته نتيجة انبعاث أو فقد إلكترونات. ويسـمى انبعاث إلكترونات عند سـقوط إشـعاع كهرومغناطيسي على جسم **التأثير الكهروضوئي**.

يمكـن دراسـة التأثـير الكهروضوئي باسـتخدام خليـة كهروضوئية، كتلـك الموضحة في **الشـكل 3–1**؛ حيـث تحتـوي الخلية على قطبـين كهربائيـين فلزيين في أنبـوب مخلخل من الهـواء ومحكـم الإغـلاق. والهدف من هـذا الأنبوب منع تأكسـد سـطحي الفلزين، ومنع الإلكترونـات مـن التباطـؤ أو التوقف نتيجة تصادمها مع الجسـيمات الموجـودة في الهواء. وعـادة يطـلى القطب الأكبر (المهبط) المكون من صفيحة مقعرة بمادة السـيزيوم، أو أي فلز قلـوي آخـر، في حين يصنع القطب الأصغر (المصعد) من سـلك رفيع؛ لكي يحجب كمية قليلة فقط من الإشـعاع. ويصنع الأنبوب عادة من الكوارتز؛ لكي يسـمح للأشـعة فوق البنفسـجية بالنفاذ من خلاله. ويؤدي تطبيق فرق جهد على القطبين (المصعد والمهبط) إلى جذب الإلكترونات في اتجاه المصعد.



الشكل 3–1 في الخلية الكهروضوئية الموضحة، تتدفق الإلكترونات المحررة من المهبط إلى المصعد، ومن ثم تكتمل الدائرة الكهربائية، ويتولد تيار كهربائيّ (a). يعمل مقياس الضوء اليدوي بسبب التأثير الكهروضوئي، ويستخدمه مصورو الفوتوجرافيا لقياس مستويات الضوء (b).

عندما لا يسـقط إشعاع على المهبط (القطب السالب) لا يسري تيار في الدائرة الكهربائية، لكن عندما يسقط الإشعاع عليه ينتج تيار كهربائيّ يتم قياسه بالجلفانومتر، كما هو موضح في **الشـكل 3–1**. وينتج هذا التيار لأن التأثير الكهروضوئي أدّى إلى تحرير إلكترونات – تسمى أيضًا الإلكترونات الضوئية – من المهبط في اتجاه المصعد (القطب الموجب)، وتدفق الإلكترونات هذا عبارة عن تيار كهربائي في الدائرة.

تـردد العتبـة لا يتولـد تيـار كهربائي، عند سـقوط أي إشـعاع على المهبـط، ولكن تنطلق الإلكترونات من المهبط فقط، عندما يكون تردد الإشـعاع السـاقط أكبر من قيمة صغرى معينة، تسمى **تردد العتبة** f_o، ويتغير تردد العتبة بتغير نوع الفلز. فمثلاً تُحرر كل الأطوال

الموجية للضوء المرئي – ما عدا الضوء الأحمر – إلكترونات من السيزيوم، بينما لا يُحرر أي طول موجي للضوء المرئي إلكترونات من الزنك؛ حيث إننا نحتاج إلى الأشعة فوق البنفسجية، ذات التردد العالي لحدوث التأثير الكهروضوئي في الزنك.

يكون الإشعاع الساقط على فلز غير قادر على تحرير إلكترونات منه مهما كانت شدة هذا الإشعاع إذا كان تردده أقل من تردد العتبة. في حين يؤدي سقوط إشعاع شدته قليلة جدًّا ولكن تردده مساوٍ أو أكبر من تردد العتبة إلى تحرير إلكترونات من الفلز مباشرة. عندما يكون تردد الإشعاع الساقط مساويًا أو أكبر من تردد العتبة، فإن زيادة شدة هذا الإشعاع تؤدي إلى زيادة تدفق الإلكترونات الضوئية.

كيف تفسّر نظرية الموجات الكهرومغناطيسية التأثير الكهروضوئي؟ إنها غير قادرة على ذلك؛ فبناءً على هذه النظرية فالمجال الكهربائي يسرّع الإلكترونات من الفلز، وترتبط شدة المجال الكهربائي مع شدة الإشعاع (لا مع تردده). ولذلك تحتاج الإلكترونات في الفلز إلى أن تمتص طاقة من مصدر ضوء خافت فترة زمنية طويلة جدًّا قبل أن تتحرر. ولكن تبين المشاهدات أن الإلكترونات تنطلق مباشرة حتى عندما يسقط على الفلز إشعاع ذو شدة منخفضة تردده مساوٍ أو أكبر من تردد العتبة.

الفوتونات وتكمية الطاقة نشر العالم أينشتاين في عام 1905م نظرية تفسر التأثير الكهروضوئي. وبناءً على هذه النظرية، يتكون الضوء والأشكال الأخرى من الإشعاع الكهرومغناطيسي من حزم (مكماة) ومنفصلة من الطاقة، سُمّي كل منها فيما بعد **الفوتون**، وتعتمد طاقة الفوتون على تردده.

طاقة الفوتون $E = hf$

طاقة الفوتون تساوي حاصل ضرب ثابت بلانك في تردد الفوتون.

تمثل f التردد بوحدة Hz، و h ثابت بلانك، ولأن $\text{Hz} = 1/\text{s}$ فإن وحدة J/Hz لثابت بلانك مكافئة أيضًا للكمية J.s، ولأن وحدة الجول وحدة طاقة كبيرة جدًّا، لاستخدامها في الأنظمة ذات الحجم الذري، لذا فالوحدة الأكثر شيوعًا للطاقة هي وحدة الإلكترون فولت (eV)، ويعرّف الإلكترون فولت بأنه طاقة إلكترون يتسارع عبر فرق جهد مقداره فولت واحد.

$$\begin{aligned} 1\,\text{eV} &= (1.60\times10^{-19}\,\text{C})(1\,\text{V}) \\ &= 1.60\times10^{-19}\,\text{C.V} \\ &= 1.60\times10^{-19}\,\text{J} \end{aligned}$$

ويمكن إعادة كتابة معادلة طاقة الفوتون في شكل مبسّط، كما هو موضح أدناه:

طاقة الفوتون $E = \dfrac{hc}{\lambda} = \dfrac{(1240\ \text{eV.nm})}{\lambda}$

تساوي طاقة الفوتون (eV) حاصل قسمة 1240 eV.nm على الطول الموجي للفوتون (nm).

توضح استراتيجيات حل المسألة في الصفحة التالية عملية اشتقاق هذه المعادلة وكيفية استخدامها.

استراتيجيات حل المسألة

وحدات hc وطاقة الفوتون

يُزوِّدنا تحويل الكمية hc إلى وحدة $eV.nm$ بمعادلة مبسطة يمكن أن تستخدم لحل المسائل التي تتضمن الطول الموجي للفوتون.

1. تعطى طاقة فوتون طوله الموجي λ بالمعادلة $E = hf$
2. لأن $f = c/\lambda$، فإنه يمكن كتابة هذه المعادلة على شكل $E = hc/\lambda$
3. عند استخدام المعادلة $E = hc/\lambda$، إذا كان مقدار hc بوحدة eV.nm مقسومًا على λ بوحدة nm فسوف تحصل على الطاقة بوحدة eV. لذا فإنه من المفيد أن تعلم مقدار hc بوحدة eV.nm.
4. يتم تحويل وحدة قياس hc إلى وحدة eV.nm كما يلي:

$$hc = (6.626\times10^{-34}\ \text{J/Hz})\ (2.998\times10^{8}\ \text{m/s})$$

$$\left(\frac{(1\ \text{eV})}{(1.602\times10^{-19}\ \text{J})}\right)\frac{10^{9}\ \text{nm}}{1\ \text{m}} = 1240\ \text{eV.nm}$$

5. بتعويض $hc = 1240\ \text{eV.nm}$ في معادلة طاقة الفوتون تحصل على المعادلة التالية؛ حيث λ بوحدة nm والطاقة E بوحدة eV:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(1240\ \text{eV.nm})}{\lambda}$$

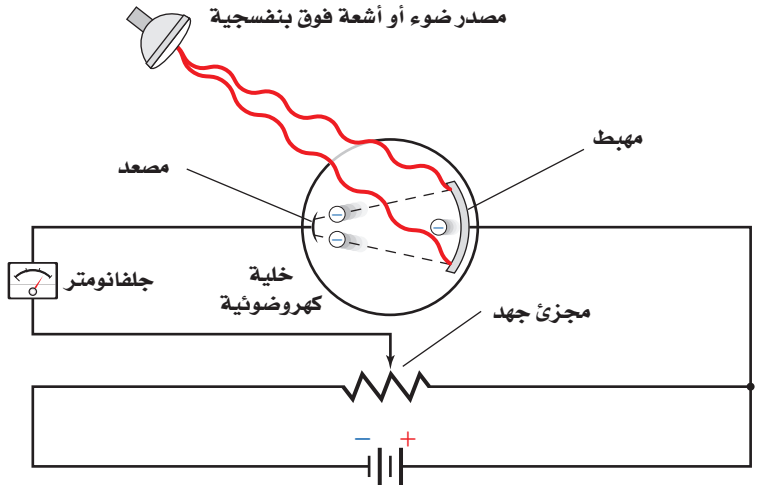
6. استخدم المعادلة أعلاه لحل مسائل طاقة الفوتون عندما تكون الطاقة مطلوبة بوحدة eV.

من المهم ملاحظة أن نظرية أينشتاين للفوتون أشمل وأعم من نظرية بلانك للإشعاع المنبعث من الأجسام الساخنة. فبينما توقع بلانك أن الذرات المهتزة تبعث إشعاعًا كهرومغناطيسيًّا بطاقة تساوي nhf، فإنه لم يتوقع أن الضوء والأشكال الأخرى للإشعاع الكهرومغناطيسي تسلك سلوك الجسيمات. أما نظرية أينشتاين للفوتون فتعيد تفسير نظرية بلانك للإشعاع المنبعث من الأجسام الساخنة وتوسعها.

ليتم تحرير الكترون من سطح الفلز؛ فإننا نحتاج إلى فوتون يكون تردده على الأقل مساويًا لتردد العتبة للفلز f_0، فإذا سقط فوتون تردده أكبر أو يساوي تردد العتبة للفلز، ستتحرر الكترونات من سطح الفلز بطاقة حركية تعطى من العلاقة التالية:

الطاقة الحركية لإلكترون كهروضوئي $KE = hf - hf_0$

الطاقة الحركية للإلكترون المتحرر تساوي الفرق بين طاقة الفوتون الساقط hf، والطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون من الفلز hf_0.



■ **الشكل 4–1** يمكن قياس الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة من المهبط باستخدام هذا الجهاز؛ حيث يقيس الجلفانومتر التيار المار في الدائرة. وبتعديل مجزئ الجهد، يمكن للشخص الذي يجري التجربة تحديد فرق الجهد الذي يصبح عنده التيار المار في الدائرة صفرًا. عندها يمكن حساب الطاقة الحركية العظمى الممكنة للإلكترونات المتحررة.

اختبار النظرية الكهروضوئية كيف يمكن اختبار نظرية أينشتاين؟ يمكن قياس الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة بطريقة غير مباشرة، بوساطة جهاز خاص بذلك، كالموضح في **الشكل 4–1**. يستخدم مجزئ الجهد لتعديل فرق الجهد السالب المطبق بين قطبي الخلية الكهروضوئية، وبالتالي فإن الإلكترونات المتحررة تخسر طاقة للوصول إلى المصعد، وسيصل إليه فقط الإلكترونات المتحررة من المهبط ذات الطاقة الحركية العالية.

وكما هو موضح في **الشكل 4–1**، عند سقوط ضوء بتردد معين (أكبر من تردد العتبة) على المهبط وبزيادة سالبية جهد المصعد تدريجيًا، فإن عدد الإلكترونات التي تصل إلى المصعد يقل. وعند جهد معين لا تتمكن الإلكترونات ذات الطاقة الحركية العظمى من الوصول إلى المصعد، وعندها يتوقف التيار ويسمى هذا **جهد الإيقاف أو القطع**.

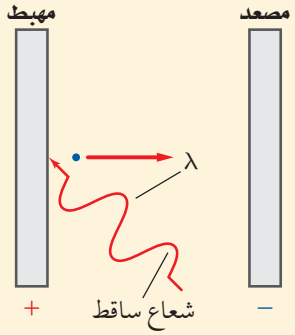
عند جهد الإيقاف تكون الطاقة الحركية للإلكترونات عند المهبط مساوية للشغل المبذول من المجال الكهربائي لإيقافها. ويعبر عن هذا بالمعادلة: $KE = -qV_0$، حيث تمثل V_0 مقدار جهد الإيقاف بوحدة الفولت J/C، و q شحنة الإلكترون، وتساوي -1.60×10^{-19} C، لاحظ أن الإشارة السالبة في المعادلة، والمقدار السالب للشحنة q ينتجان مقدارا موجبًا للطاقة الحركية KE.

تطبيقات يستخدم التأثير الكهروضوئي في التطبيقات اليومية المختلفة؛ فالخلايا الشمسية الموضحة في **الشكل 5–1** تستخدم التأثير الكهروضوئي، لتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية، كما تحتوي فاتحات باب الموقف (الكراج) على حزم من الأشعة تحت الحمراء، تنشئ تيارًا في المستقبِل من خلال التأثير الكهروضوئي. فإذا قُطعت حزمة الضوء هذه بجسم في أثناء إغلاق باب الموقف، فإن التيار يتوقف في المستقبِل، مما يؤدي إلى فتح الباب، ويستخدم التأثير الكهروضوئي أيضًا في التحكم في إضاءة مصابيح الشوارع وإطفائها آليًّا يطلق عليها المفاتيح الإلكترونية؛ وذلك اعتمادًا على ما إذا كان الوقت نهارًا أو ليلاً.

■ **الشكل 5–1** تستخدم الألواح الشمسية على هذا المبنى التأثير الكهروضوئي لتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية.

مثـــال 1

الطاقة الحركية لإلكترون كهروضوئي إذا كان جهد الإيقاف لخلية ضوئية معينة 4.0 V، فما مقدار الطاقة الحركية التي يُكسبها الضوء الساقط للإلكترونات المتحررة؟ عبّر عن إجابتك بوحدتي الجول والإلكترون فولت.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم المهبط والمصعد، والإشعاع الساقط، واتجاه حركة الإلكترون المتحرر.

لاحظ أن جهد الإيقاف، يحول دون تدفق الإلكترونات عبر الخلية الضوئية.

المعلوم	المجهول
$V_0 = 4.0\ \text{V}$	$KE\ (\text{J و eV بوحدة}) = ?$
$q = -1.60\times10^{-19}\ \text{C}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

يبذل المجال الكهربائي شغلاً على الإلكترونات عندما يكون الشغل المبذول W يساوي سالب الطاقة الحركية الابتدائية KE فإن الإلكترونات لا تمر عبر الخلية الضوئية.

$$\text{KE} + W = 0\ \text{J}$$

حل المعادلة لحساب الطاقة الحركية KE.

$$\text{KE} = -W$$

بالتعويض عن $W = qV_0$

$$= -qV_0$$

بالتعويض عن $V_0 = 4.0\ \text{V}$، $q = -1.60\times10^{-19}\ \text{C}$

$$= -(-1.60\times10^{-19}\ \text{C})(4.0\ \text{V})$$

$$= +6.4\times10^{-19}\ \text{J}$$

حوّل وحدة قياس الطاقة الحركية من جول إلى إلكترون فولت

$$\text{KE} = (+6.4\times10^{-19}\text{J})\left(\frac{1\ \text{eV}}{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}\right)$$

$$= 4.0\ \text{eV}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الجول والإلكترون فولت كلاهما وحدات قياس للطاقة.
- **هل للإشارات معنى؟** الطاقة الحركية دائمًا موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** الطاقة بوحدة الإلكترون فولت تساوي في المقدار فرق جهد الإيقاف بوحدة فولت.

مسائل تدريبية

1. ما طاقة إلكترون بوحدة الجول إذا كانت طاقته 2.3 eV؟
2. إذا كانت سرعة إلكترون $6.2\times10^{6}\ \text{m/s}$، فما طاقته بوحدة الإلكترون فولت؟
3. إذا كان جهد الإيقاف لخلية كهروضوئية 5.7 V، فاحسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة بوحدة eV.
4. يلزم جهد إيقاف مقداره 3.2 V لمنع سريان التيار الكهربائي في خلية كهروضوئية. احسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المتحررة بوحدة الجول.

مسألة تحدٍّ

افترض أن قطعة نقدية كتلتها 5.0 g معلقة بنابض تهتز إلى أعلى وإلى أسفل، وكانت السرعة القصوى لهذه القطعة في أثناء اهتزازها 1.0 cm /s، اعتبر أن قطعة النقد المهتزة تُنمذج الاهتزازات الكمية للإلكترونات في الذرة، حيث تعطى طاقة الاهتزازات بالمعادلة $E = nhf$

1. احسب الطاقة الحركية العظمى للجسم المهتز.
2. يبعث الجسم المهتز طاقة على شكل ضوء بتردد 5.0×10^{14} Hz إذا كانت هذه الطاقة تُبعث في مرحلة واحدة فاحسب الطاقة التي يفقدها الجسم.
3. حدد عدد المراحل التي ستقل فيها طاقة الجسم بمقادير متساوية من أجل أن يفقد طاقته كلها.

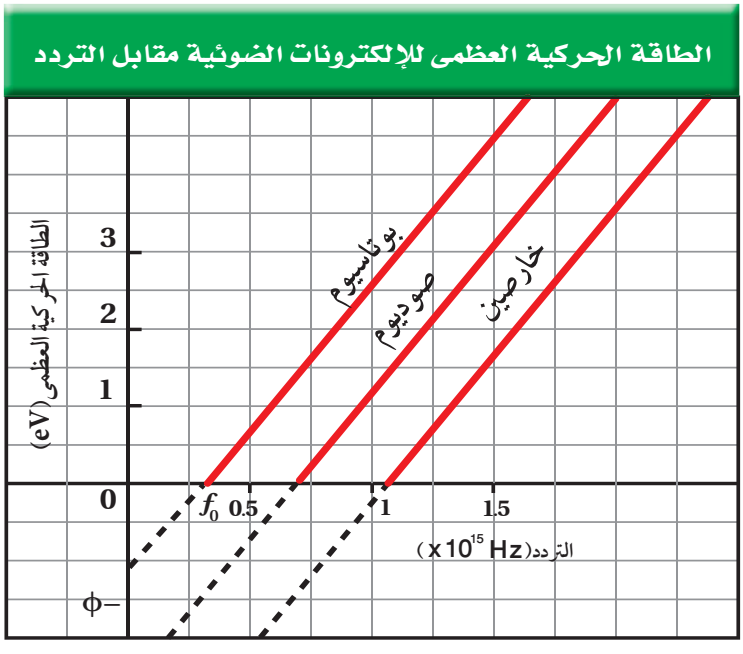
يمثل الرسم البياني طاقات حركة الإلكترونات التي تتحرر من فلز، مقابل ترددات الفوتونات الساقطة عبارة عن خط مستقيم، كما هو موضح في **الشكل 6–1**. للفلزات جميعها رسوم بيانية متشابهة لها الميل نفسه، وهذا الميل يساوي النسبة بين ارتفاع الخط المستقيم وامتداده الأفقي، والذي يساوي ثابت بلانك h.

$$\text{الميل} = \frac{\text{الرأسي}}{\text{الأفقي}} = \frac{\text{التغير في الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المحررة}}{\text{التغير في تردد الإشعاع الساقط}}$$

$$h = \frac{\Delta KE}{\Delta f}$$

تختلف الرسوم البيانية للفلزات المختلفة فقط في تردد العتبة اللازم لتحرير الإلكترونات. في **الشكل 6–1** تردد العتبة f_0 هو النقطة التي تكون عندها $KE = 0$. وفي هذه الحالة تقع f_0 على نقطة تقاطع الخط المستقيم مع المحور x، ويرتبط تردد العتبة مع اقتران (دالة) الشغل للفلز. **واقتران الشغل** لفلز هو الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون الأضعف ارتباطًا بالنواة أو بالفلز، ويرمز لها بالرمز ϕ ومقداره يساوي hf_0، وتقع ϕ على نقطة تقاطع الخط المستقيم مع المحور y، وعندما يسقط فوتون تردده f_0 على فلز تكون طاقته كافية لتحرير الإلكترون فقط، دون تزويده بأي طاقة حركية.

الشكل 6–1 يوضح الرسم البياني العلاقة بين تردد الضوء والطاقة الحركية العظمى لعدة فلزات.



أجرى العالم الأمريكي روبرت مليكان بين عامي 1905 و 1916م مجموعة من التجارب، حاول من خلالها أن يدحض النظرية الكهروضوئية لأينشتاين، ومع أن نتائج تجاربه أكدت صحة معادلة أينشتاين، إلا أنه لم يقبل فكرة أينشتاين عن الفوتون. وقد ساهمت تجارب مليكان في حصول أينشتاين على جائزة نوبل عام 1921م عن النظرية الكهروضوئية. وفي عام 1923م حصل مليكان أيضًا على جائزة نوبل عن تجربته لحساب شحنة الإلكترون، وعن أبحاثه في التأثير الكهروضوئي.

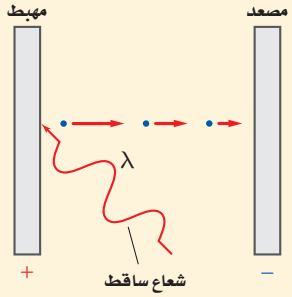
مثـــــال 2

اقتران الشغل والطاقة تستخدم خلية ضوئية مهبطًا من الصوديوم. فإذا كان طول موجة العتبة λ_0 لمهبط الصوديوم 536 nm

a. احسب اقتران الشغل للصوديوم بوحدة eV .

b. إذا سقط إشعاع فوق بنفسجي طوله الموجي 348 nm على الصوديوم فما طاقة الإلكترونات المتحررة بوحدة eV؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم المصعد والمهبط، والإشعاع الساقط، واتجاه الإلكترون المتحرر.

المعلوم	المجهول
$\lambda_0 = 536$ nm	$\phi = ?$
$hc = 1240$ eV.nm	KE = ?

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. مستخدمًا ثابت بلانك وطول موجة العتبة لإيجاد اقتران الشغل.

بالتعويض عن $\lambda_0 = 536$ nm, $hc = 1240$ eV.nm

$$\phi = hf_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$$
$$= \frac{1240 \text{ eV.nm}}{536 \text{ nm}}$$
$$= 2.31 \text{ eV}$$

b. استخدم معادلة التأثير الكهروضوئي لأينشتاين لحساب طاقة الإشعاع الساقط.

بالتعويض عن $\lambda = 348$ nm

$$E = \frac{1240 \text{ eV.nm}}{\lambda}$$
$$= \frac{1240 \text{ eV.nm}}{348 \text{ nm}}$$
$$= 3.56 \text{ eV}$$

لحساب طاقة الإلكترون المتحرر اطرح اقتران الشغل من طاقة الإشعاع الساقط.

بالتعويض عن $\phi = \frac{hc}{\lambda_0}$ ، $E = \frac{hc}{\lambda}$

بالتعويض عن $E = 3.56$ eV ، $\phi = 2.31$ eV

$$KE = hf - hf_0 = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_0}$$
$$= E - \phi$$
$$= 3.56 \text{ eV} - 2.31 \text{ eV}$$
$$= 1.25 \text{ eV}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** إجراء التحليل البعدي على الوحدات يؤكد أن وحدة eV هي الوحدة المناسبة للطاقة الحركية KE.
- **هل للإشارة معنى؟** الطاقة الحركية موجبة دائمًا.
- **هل الجواب منطقي؟** ينبغي أن تكون الطاقات مقادير قليلة من الإلكترون فولت.

مسائل تدريبية

5. احسب تردد العتبة للزنك بوحدة Hz، واقتران الشغل بوحدة eV، إذا كان طول موجة العتبة للزنك 310 nm

6. ما مقدار الطاقة الحركية بوحدة eV للإلكترونات المتحررة من السيزيوم، عندما يسقط عليه ضوء بنفسجي طوله الموجي 425 nm، إذا كان اقتران الشغل له 1.96 eV

7. إذا كان اقتران الشغل لفلز 4.50 eV، فما مقدار أكبر طول موجي للإشعاع الساقط عليه، بحيث يكون قادرًا على تحرير إلكترونات منه؟

تأثير كومبتون The Compton Effect

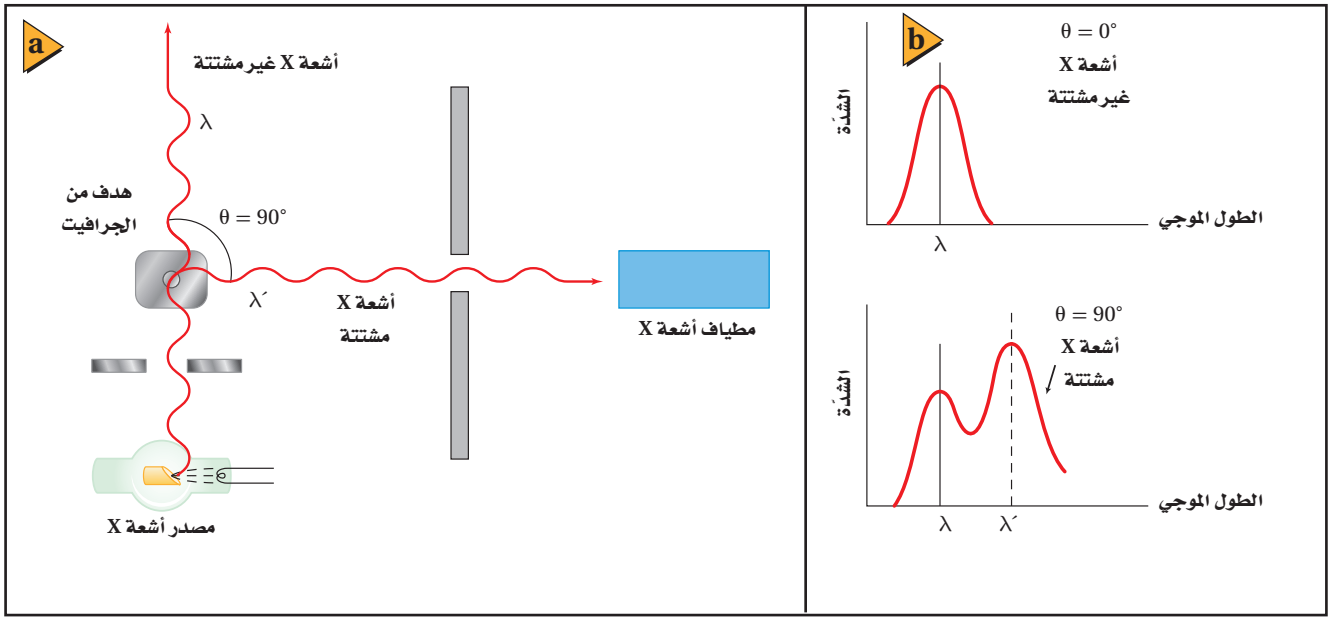
يُظهر التأثير الكهروضوئي أن للفوتون – رغم أنه ليس له كتلة – طاقة حركية تمامًا كما للجسيمات، وفي عام 1916م اقترح أينشتاين أن الفوتون يجب أن يكون له خاصية جسيمية أخرى، هي الزخم (كمية التحرك). وبيّن أن زخم الفوتون يجب أن يساوي E/c، ولأن $E = hf$ و $f/c = 1/\lambda$، فإن زخم الفوتون يعطى بالمعادلة.

زخم الفوتون $$p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

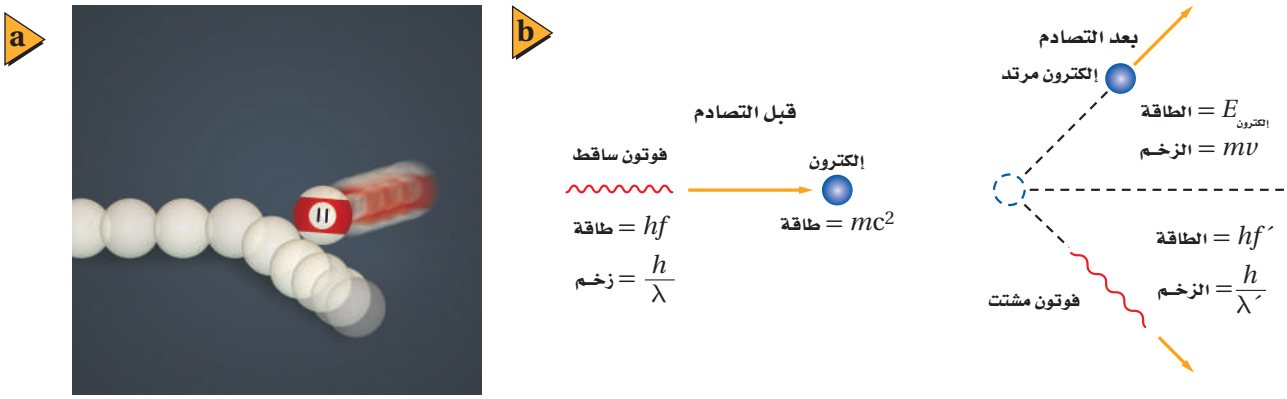
زخم الفوتون يساوي حاصل قسمة ثابت بلانك على الطول الموجي للفوتون.

اختبرت تجارب أجراها الفيزيائي الأمريكي أرثر هولي كومبتون عام 1922م نظرية أينشتاين. وقد دعمت نتائج تجارب كومبتون النموذج الجسيمي للضوء. حيث سلّط كومبتون أشعة X ذات طول موجي معلوم على هدف من الجرافيت، كما هو موضح في **الشكل 7a–1**، وقاس الأطوال الموجية لأشعة X التي شتتها الهدف. لاحظ كومبتون أن بعض أشعة X المُشَتَّتة لم يتغير طولها الموجي، في حين أصبح لبعضها الآخر طول موجي أكبر مما للإشعاع الساقط. و**الشكل 7b–1** يوضح هذه النتائج. ويلاحظ من الشكل أن الطول الموجي المقابل لأكبر شدة لأشعة X غير المشتتة يتطابق مع مثيله لأشعة X الساقطة، بينما الطول الموجي المقابل لأكبر شدة لأشعة X المشتتة، أكبر من مثيله لأشعة X الساقطة.

وبما أن معادلة طاقة الفوتون $E = hf$ فإنه يمكن كتابتها أيضًا على شكل $E = hc/\lambda$، وتبين هذه المعادلة أن طاقة الفوتون تتناسب عكسيًّا مع طوله الموجي. فالزيادة في الطول الموجي الذي لاحظه كومبتون، تعني أن فوتونات أشعة X قد فقدت طاقة وزخمًا. وتسمى الإزاحة في طاقة الفوتونات المشتتة **تأثير كومبتون**. وهذه الإزاحة في الطاقة صغيرة جدًّا، ولها تأثير قابل للقياس عند استخدام أشعة X بأطوال موجية في حدود 10^{-2} nm أو أقل.



الشكل 7–1 استخدم كومبتون أدوات مشابهة لهذه الأدوات في دراسة طبيعة الفوتونات (**a**). زيادة الطول الموجي للفوتونات المشتتة دليل على أن فوتونات أشعة X قد فقدت طاقة (**b**).



الشكل 8–1 تصادم كرتي بلياردو (a) يشبه تمامًا ما يحدث عند اصطدام فوتون بإلكترون؛ حيث إن الطاقة والزخم اللذين يكتسبهما الإلكترون يساويان الطاقة والزخم اللذين يفقدهما الفوتون (b).

في تجارب لاحقة، لاحظ كومبتون تحرر إلكترونات من حاجز الجرافيت خلال إجراء التجربة. فاقترح أن فوتونات أشعة X اصطدمت بالإلكترونات الموجودة في هدف الجرافيت، ونقلت الطاقة والزخم إليها. اعتقد كومبتون أن تصادمات الفوتون– إلكترون هذه مشابهة تمامًا للتصادمات المرنة في كرات البلياردو، كما هو موضح في **الشكل 8–1**. واختبر هذه الفكرة من خلال قياس طاقة الإلكترونات المتحررة، ووجد كومبتون، أن الطاقة والزخم اللذين تكتسبهما الإلكترونات يساويان الطاقة والزخم اللذين تفقدهما الفوتونات، لذا فإن الفوتونات تحقق قانوني حفظ الزخم والطاقة عندما تصطدم بجسيمات أخرى.

1–1 مراجعة

8. **التأثير الكهروضوئي** لماذا يكون الضوء ذو الشدة العالية والتردد المنخفض غير قادر على تحرير إلكترونات من فلز، في حين أن الضوء ذا الشدة المنخفضة والتردد العالي يستطيع ذلك؟ فسّر إجابتك.
9. **تردد إشعاع الجسم الساخن وطاقته** كيف يتغير تردد الإشعاع المقابل لأعلى شدة عندما ترتفع درجة حرارة الجسم؟ وكيف تتغير الكمية الكلية للطاقة المنبعثة؟
10. **التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون** سلّط عالمٌ أشعةَ X على هدف، فانطلق إلكترون من الهدف دون أن ينبعث أي إشعاع آخر. وضّح ما إذا كان هذا الحدث ناتجًا عن التأثير الكهروضوئي، أم عن تأثير كومبتون.
11. **التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون** ميّز بين التأثير الكهروضوئي، وتأثير كومبتون.
12. **التأثير الكهروضوئي** اصطدم ضوء أخضر λ=532 nm بفلز ما، فحرر إلكترونات منه. إذا تم إيقاف هذه الإلكترونات باستخدام فرق جهد 1.44 V، فما مقدار اقتران الشغل للفلز بوحدة eV؟
13. **طاقة فوتون** تنبعث فوتونات طولها الموجي 650 nm من مؤشر ليزر. ما مقدار طاقة هذه الفوتونات بوحدة eV؟
14. **التأثير الكهروضوئي** امتُصّت أشعة X في عظم، وحررت إلكترونًا. إذا كان الطول الموجي لأشعة X 0.02 nm تقريبًا، فاحسب طاقة الإلكترون بوحدة eV.
15. **تأثير كومبتون** أُسقطت أشعة X على عظم، فاصطدمت بإلكترون فيه وتشتت. كيف تقارن بين الطول الموجي لأشعة X المشتتة، والطول الموجي لأشعة X الساقطة؟
16. **التفكير الناقد** تخيل أن تصادم كرتَيْ بلياردو ينمذج التفاعل الذي يحدث بين فوتون وإلكترون خلال تأثير كومبتون. افترض أن بروتونًا– وكتلته أكبر كثيرًا من كتلة الإلكترون– وُضع بدلاً من الإلكترون، فهل تكون الطاقة التي يكتسبها البروتون نتيجة التصادم مساوية لتلك التي يكتسبها الإلكترون؟ وهل تكون الطاقة التي يفقدها الفوتون مساوية لتلك التي يفقدها عندما يتصادم بالإلكترون؟

لقد أظهر كل من التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون، أن للموجات الكهرومغناطيسية العديمة الكتلة زخمًا وطاقة كالجسيمات. وإذا كان للموجات الكهرومغناطيسية خصائص جسيمية، فهل يمكن للجسيمات أن تسلك سلوك الموجات، وذلك بأن تظهر التداخل والحيود؟ وبعبارة أخرى: هل للجسيمات خصائص موجية؟ توقع العالم دي برولي عام 1923م، أن للجسيمات المادية خصائص موجية. وكان هذا التوقع غير عادي، وقد قوبل بالرفض من علماء آخرين حينها، حتى قرأ أينشتاين أبحاث دي برولي العلمية وأيده في ذلك.

الأهداف

- **تصف** دليلًا على الطبيعة الموجية للمادة.
- **تطبق** معادلة دي برولي في حل مسائل عددية.
- **تصف** الطبيعة المزدوجة للموجات والجسيمات، وأهمية مبدأ عدم التحديد.

المفردات

طول موجة دي برولي
مبدأ عدم التحديد

موجات دي برولي De Broglie Waves

تذكر أن زخم الجسم الخطي يساوي كتلته مضروبة في سرعته $p = mv$، وقياسًا على زخم الفوتون $p = h/\lambda$ ، توقع دي برولي أن زخم الجسيم يعبر عنه بالمعادلة التالية:

$$p = mv = \frac{h}{\lambda}$$

يمثل الطول الموجي λ في العلاقة أعلاه الطول الموجي المصاحب للجسيم المتحرك، ويسمى **طول موجة دي برولي**. وتعطي المعادلة التالية طول موجة دي برولي مباشرة.

طول موجة دي برولي

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

طول موجة دي برولي المصاحبة لجسيم متحرك تساوي حاصل قسمة ثابت بلانك على زخم الجسيم.

اعتمادًا على نظرية دي برولي، ينبغي أن تُظهر جسيمات مثل الإلكترونات والبروتونات خصائص موجية، إلا أنه لم يسبق أن لوحظ لها تأثيرات موجية مثل التداخل والحيود. لذا كان إنجاز دي برولي عظيمًا، رغم وجود شك كبير في نظريته. وفي عام 1927م أجريت تجربتان مستقلتان أثبتت نتائجهما أن الإلكترونات تحيد تمامًا كالضوء. ففي إحدى التجربتين سلّط العالم الإنجليزي جورج تومسون حزمة من الإلكترونات على بلورة رقيقة جدًّا؛ وذلك لأن ذرات البلورات مرتبة بنمط منتظم يجعلها تعمل عمل محزوز حيود. وكوّنت الإلكترونات حيودًا بالأنماط نفسها، التي تكوّنها أشعة X التي لها الطول الموجي نفسه. ويوضح **الشكل 9–1** النمط الذي يكوّنه حيود الإلكترونات. وفي الولايات المتحدة الأمريكية أجرى كلينتون دافيسون، ولاستر جيرمر تجربة مشابهة، مستخدمين إلكترونات منعكسة عن بلورات سميكة. ولقد أثبتت التجربتان أن للجسيمات المادية خصائص موجية.

الشكل 9–1 تُظهر أنماط حيود الإلكترونات — كهذا النمط الخاص ببلورة زركونيوم مكعبة — الخصائص الموجية للجسيمات.

إن الطبيعة الموجية للأجسام التي تراها، وتتعامل معها يوميًّا، لا يمكن ملاحظتها، لأن أطوالها الموجية قصيرة جدًّا. فمثلاً، عند دراسة طول موجة دي برولي المصاحبة لكرة قدم كتلتها 0.145 kg، وسرعتها 38 m/s، نجد أن طولها الموجي:

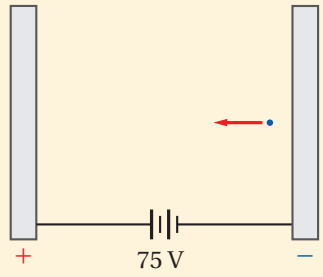
$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{J.s}}{(0.145\ \text{kg})(38\ \text{m/s})} = 1.2 \times 10^{-34}\ \text{m}$$

وكما يلاحظ، فإن هذا الطول الموجي أصغر كثيرًا من أن يكون له تأثيرات ملاحظة. لكن كما سترى في المثال التالي، للجسيمات الصغيرة جدًّا – كالإلكترون مثلاً – فإن الطول الموجي يمكن ملاحظته وقياسه.

مثـــــال 3

طول موجة دي برولي إذا تسارع إلكترون خلال فرق جهد 75 V، فما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة له؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ضمّن رسمك اللوحين الموجب والسالب.

المعلوم

$V = 75\ \text{V} \quad m = 9.11\times10^{-31}\ \text{kg}$

$h = 6.63\times10^{-34}\ \text{J.s}$

$q = -1.6\times10^{-19}\ \text{C}$

المجهول

$\lambda = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

اكتب علاقتين لطاقة حركة الإلكترون؛ الأولى بدلالة فرق الجهد، والأخرى بدلالة الحركة، واستخدمهما لحساب سرعة الإلكترون.

ساوِ بين علاقتي الطاقة الحركية KE.

$\text{KE} = \frac{1}{2}mv^2$ ، $\text{KE} = -qV$

$\frac{1}{2}mv^2 = -qV$

حل بالنسبة إلى المتغير v

$v = \sqrt{\frac{-2qV}{m}}$

بالتعويض عن $m = 9.11\times10^{-31}\ \text{kg}$

$q = -1.60\times10^{-19}\ \text{C}$ ، $V = 75\ \text{V}$

$= \sqrt{\frac{-2(-1.60\times10^{-19}\ \text{C})(75\ \text{V})}{(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})}}$

$= 5.1\times10^{6}\ \text{m/s}$

حل بالنسبة إلى الزخم

$p = mv$

بالتعويض عن $m = 9.11\times10^{-34}\ \text{kg}$

$v = 5.1\times10^{6}\ \text{m/s}$

$= (9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(5.1\times10^{6}\ \text{m/s})$

$= 4.6\times10^{-24}\ \text{kg.m/s}$

حل بالنسبة إلى طول موجة دي برولي

$\lambda = \frac{h}{p}$

بالتعويض عن $h = 6.63\times10^{-34}\ \text{J.s}$

$p = 4.6\times10^{-24}\ \text{kg. m/s}$

$= \frac{6.63\times10^{-34}\ \text{J.s}}{4.6\times10^{-24}\ \text{kg.m/s}}$

$= 1.4\times10^{-10}\ \text{m} = 0.14\ \text{nm}$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** التحليل البعدي للوحدات يثبت أن وحدة m/s للسرعة v، ووحدة nm للطول الموجي λ.
- **هل للإشارات معنى؟** القيم الموجبة متوقعة لكل من v و λ.
- **هل الجواب منطقي؟** الطول الموجي قريب من 0.1 nm، والذي يقع في منطقة الطول الموجي لأشعة X في الطيف الكهرومغناطيسي.

مسائل تدريبية

17. تتدحرج كرة بولنج كتلتها 7.0 kg بسرعة 8.5 m/s، أجب عما يلي:

a. ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للكرة؟ **b.** لماذا لا تُظهر كرة البولنج سلوك موجي ملاحظ؟

18. ما مقدار فرق الجهد اللازم لمسارعة إلكترون بحيث يكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 0.125 nm؟

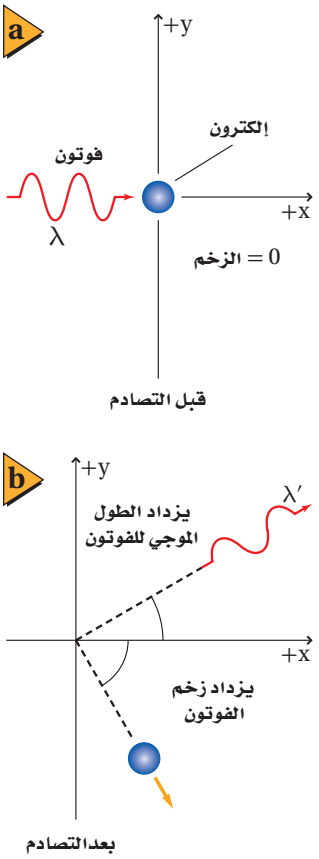
19. طول موجة دي برولي للإلكترون في المثال 3 يساوي 0.14 nm، ما مقدار الطاقة الحركية بوحدة eV لبروتون ($m = 1.67\times10^{-27}\ \text{kg}$) إذا كان له الطول الموجي نفسه؟

الجسيمات والموجات Particles and Waves

هل الضوء جسيم أم موجة؟ تشير الدلائل إلى أن كلًّا من النموذج الجسيمي، والنموذج الموجي يلزمان لتفسير سلوك الضوء. وقد قادت نظرية الكم والطبيعة المزدوجة للإشعاع الكهرومغناطيسي إلى مبادئ علمية وتطبيقات رائعة، ومنها المجهر النفقي الماسح (STM).

تحديد الموقع والزخم وفقًا للنموذج الجسيمي فإنه عند تحديد موقع جسيم وسرعته في لحظة زمنية معينة، فلابد من وجود أخطاء تجريبية، تُعزى إلى أدوات القياس أو الشخص الذي يقيس، ويمكن تقليل هذه الأخطاء إلى درجة تكون فيها هذه القياسات دقيقة. ولكن حسب نظرية الكم فإنه لتحديد موقع الجسيم فإننا نسلط ضوءًا عليه ثم تجمع الضوء المنعكس عنه، إلا أنه بسبب تأثيرات الحيود، فإن الضوء ينتشر؛ مما يجعل من المستحيل تحديد موقعه بدقة، ولكن استخدام ضوء ذي طول موجي أقصر، يقلل من تأثيرات الحيود ويسمح بتحديد موقع الجسيم بدقة أكبر، إلا أنه في الوقت نفسه يزداد الخطأ في تحديد زخم الجسيم.

مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج من نتائج تأثير كومبتون أنه عندما يصطدم إشعاع طوله الموجي قصير، وطاقته عالية بجسيم، فإن زخم الجسيم يتغير، كما في **الشكل 10–1**. وبناء على ذلك، يؤثر تحديد موقع الجسيم بدقة في تغير زخمه. وكلما زادت الدقة في تحديد موقع جسيم زاد عدم التحديد في قياس زخمه. وبالطريقة نفسها إذا تم قياس زخم الجسيم بدقة، فإن موقعه يتغير ويصبح أقل تحديدًا. لُخّصت هذه الحالة في **مبدأ عدم التحديد**، والذي ينص على أنه من غير الممكن قياس زخم جسيم وتحديد موقعه بدقة في الوقت نفسه. إن هذا المبدأ – والذي سمّي باسم الفيزيائي الألماني فيرنر هيزنبرج – هو نتيجة للطبيعة المزدوجة للضوء والمادة. ويخبرنا مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج أن هناك حدًّا للدقة في قياس الموقع والزخم.



الشكل 10–1 يمكن أن يرى الجسيم فقط عندما يتشتت الضوء عنه. لذا فإن الإلكترون يبقى غير محدد (a) حتى يصطدم به فوتون (b). يُشتت التصادم كلًا من الفوتون، والإلكترون ويغير من زخميهما.

2–1 مراجعة

20. **الخصائص الموجية** صف التجربة التي أثبتت أن للجسيمات خصائص موجية.
21. **الطبيعة الموجية** فسّر لماذا لا تظهر الطبيعة الموجية للمادة؟
22. **طول موجة دي برولي** ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون يتسارع خلال فرق جهد 125 V؟
23. **الأطوال الموجية للمادة والإشعاع** عندما يصطدم إلكترون بجسيم ثقيل، فإن سرعة الإلكترون، وطول موجته يتناقصان. بناء على ذلك، كيف يمكن زيادة الطول الموجي لفوتون؟
24. **مبدأ عدم التحديد** عندما يمر ضوء أو حزمة من ذرات خلال شق مزدوج، فإنه يتكون نمط تداخل. وتحدث كلتا النتيجتين حتى عندما تمر الذرات أو الفوتونات خلال الشقين في الوقت نفسه. كيف يفسر مبدأ عدم التحديد ذلك؟
25. **التفكير الناقد** ابتكر الفيزيائيون مؤخرًا محزوز حيود للموجات الضوئية الموقوفة (المستقرة). وتكوِّن الذرات التي تمر خلال المحزوز نمط تداخل. إذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقوق $\frac{1}{2}\lambda$ (250 nm تقريبًا)، فما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للذرات تقريبًا؟

مختبر الفيزياء

نمذجة التأثير الكهروضوئي Madeling the Photoelectric Effect

تعرف عملية انبعاث الإلكترونات من جسم عندما يسقط إشعاع كهرومغناطيسي عليه بالتأثير الكهروضوئي. وتتحرر الإلكترونات من الجسم فقط عندما يكون تردد الإشعاع أكبر من أو يساوي قيمة محددة تسمى تردد العتبة. ستنمذج في هذا الاستقصاء التأثير الكهروضوئي، باستعمال كرات فولاذية. وسوف تختبر لماذا تحرر أنواعٌ محددة فقط من الإشعاع الكهرومغناطيسي إلكترونات ضوئية.

سؤال التجربة

كيف يمكن استعمال كرات فولاذية لنمذجة التأثير الكهروضوئي؟

الأهداف

- **تصمم نموذجًا** لاستقصاء التأثير الكهروضوئي.
- **تصف** كيف ترتبط طاقة الفوتون مع تردده.
- **تستخدم التفسيرات العلمية** لتفسير لماذا لا تستطيع الظواهر الجاهرية (الماكروسكوبية) تفسير السلوك الكمي للذرة.

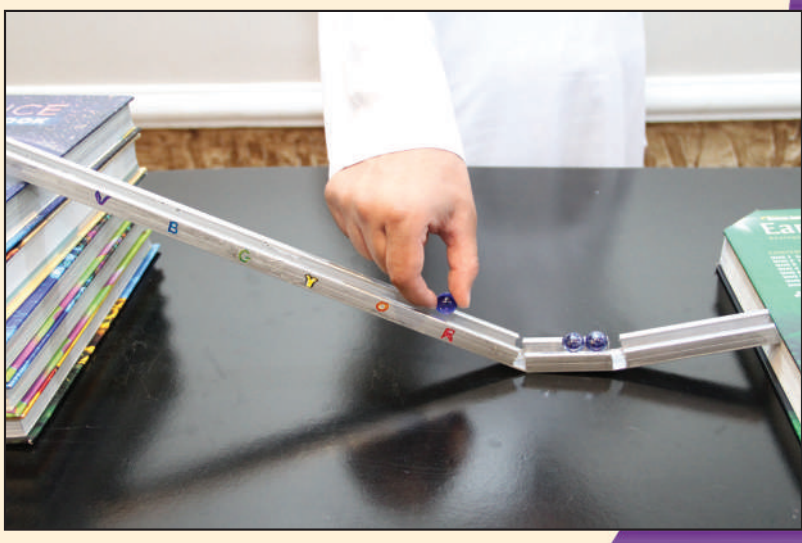
احتياطات السلامة

المواد والأدوات

ثلاث كرات فولاذية، ومجرى أو مسار فيه أخدود (قناة على شكل حرف U)، وكتب، وأقلام تخطيط حمراء، وبرتقالية، وصفراء، وخضراء، وزرقاء، وبنفسجية (أو لاصقات ملّونة)، ومسطرة مترية.

الخطوات

1. شكِّل المجرى أو القناة كما هو موضح في الصورة، واستعمل عدة كتب لدعمها كما هو موضح. تأكد أن الكتب لا تغلق نهايتي المجرى.
2. اكتب الحرف R باستعمال قلم التخطيط الأحمر على القناة على ارتفاع 4 cm، فوق الطاولة كما هو موضح. تمثل R الأحمر.
3. اكتب الحرف V باستعمال قلم التخطيط البنفسجي على القناة على ارتفاع 14 cm، فوق الطاولة كما هو موضح. يمثل V البنفسجي. استعمل أقلام التخطيط الملوّنة الأخرى لوضع علامات للأزرق B، وللأخضر G، وللأصفر Y، وللبرتقالي O على مسافات متساوية بين العلامتين R و V، كما هو موضح في الصورة
4. ضع كرتين فولاذيتين عند أخفض نقطة على القناة. تمثل هاتان الكرتان إلكتروني التكافؤ للذرة.
5. أمسك كرة فولاذية، وضعها عند الموقع R على القناة. تمثل هذه الكرة الفوتون الساقط للضوء الأحمر. لاحظ أن طاقة فوتون الضوء الأحمر أقل من طاقة ألوان الضوء الأخرى التي تم نمذجتها.



جدول البيانات	
لون أو طاقة الفوتون	ملاحظات
أحمر	
برتقالي	
أصفر	
أخضر	
أزرق	
بنفسجي	
أقل من الأحمر	
أكبر من البنفسجي	

6. أفلت الكرة الفولاذية (الفوتون)، ولاحظ ما إذا كان لها طاقة كافية لتحرير إلكترون تكافؤ من الذرة؛ أي راقب ما إذا أفلتت أيًّا من الكرتين من القناة. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.
7. أزل الكرة الفولاذية التي تمثل الفوتون الساقط من الجزء السفلي من القناة. وأعد الكرتين الفولاذيتين اللتين استعملتهما لتمثيل إلكترونات التكافؤ إلى مكانيهما (أخفض نقطة على القناة).
8. كرّر الخطوات 5–7 لكل لون من الألوان التي حددتها على القناة. تأكد دائمًا عندما تكرر الخطوات أن تكون الكرتان الفولاذيتان عند أخفض نقطة على القناة. لاحظ أن طاقة فوتون الضوء البنفسجي أكبر من طاقة ألوان الضوء الأخرى التي تم نمذجتها. سجّل مشاهدات في جدول البيانات.
9. كرّر الخطوات 5 إلى 7، ولكن أفلت الكرة الفولاذية التي تمثل الفوتون الساقط من نقطة أخفض قليلاً من الموقع R. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.
10. كرّر الخطوات 5 إلى 7، ولكن أفلت الكرة الفولاذية التي تمثل الفوتون الساقط من نقطة أعلى قليلاً من الموقع V. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.
11. أجب عن السؤال 1 في بند الاستنتاج والتطبيق، ثم اختبر توقعك.
12. عندما تنتهي من تنفيذ التجربة أعد جميع المواد إلى الأماكن التي حددها لك معلمك.

التحليل

1. **فسّر البيانات** أي ألوان فوتونات الضوء حرّرت إلكترونًا واحدًا على الأقل في نموذجك؟
2. **فسّر البيانات** هل لأيّ من الفوتونات طاقة كافية لتحرير أكثر من إلكترون واحد؟ إذا كان كذلك فحدّد لون الفوتون.
3. **استخدم النماذج** في الخطوة 9، ما نوع الفوتون الذي تمثله الكرة الفولاذية؟
4. **استخدم النماذج** في الخطوة 10، ما نوع الفوتون الذي تمثله الكرة الفولاذية؟
5. **فسّر** هل فوتونات الضوء المرئي فقط هي التي تؤخذ بعين الاعتبار عند دراسة التأثير الكهروضوئي؟ لماذا؟
6. **لخّص** نص مشاهداتك بدلالة طاقة الفوتونات.

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** ماذا يحدث إذا اصطدم فوتونَا ضوء أحمر بإلكترونَيْ تكافؤ في اللحظة نفسها؟ اختبر توقعك.
2. **التفكير الناقد** تكون قوة ارتباط إلكترونات التكافؤ في ذرات بعض المواد أكبر من قوة ارتباطها في ذرات مواد أخرى. كيف يمكنك أن تُعدّل النموذج لبيان ذلك؟
3. **استخلص النتائج** في هذا النموذج، ماذا يحدث لطاقة الفوتون، عندما يصطدم بإلكترون، ولا يستطيع تحريره من الذرة؟

التوسع في البحث

استخدم الصيغة $E = hf$، حيث تمثل h ثابت بلانك، و f تردد الإشعاع الكهرومغناطيسي، لحساب طاقة فوتون الضوء الأحمر، قارنها بطاقة فوتون الضوء الأزرق.

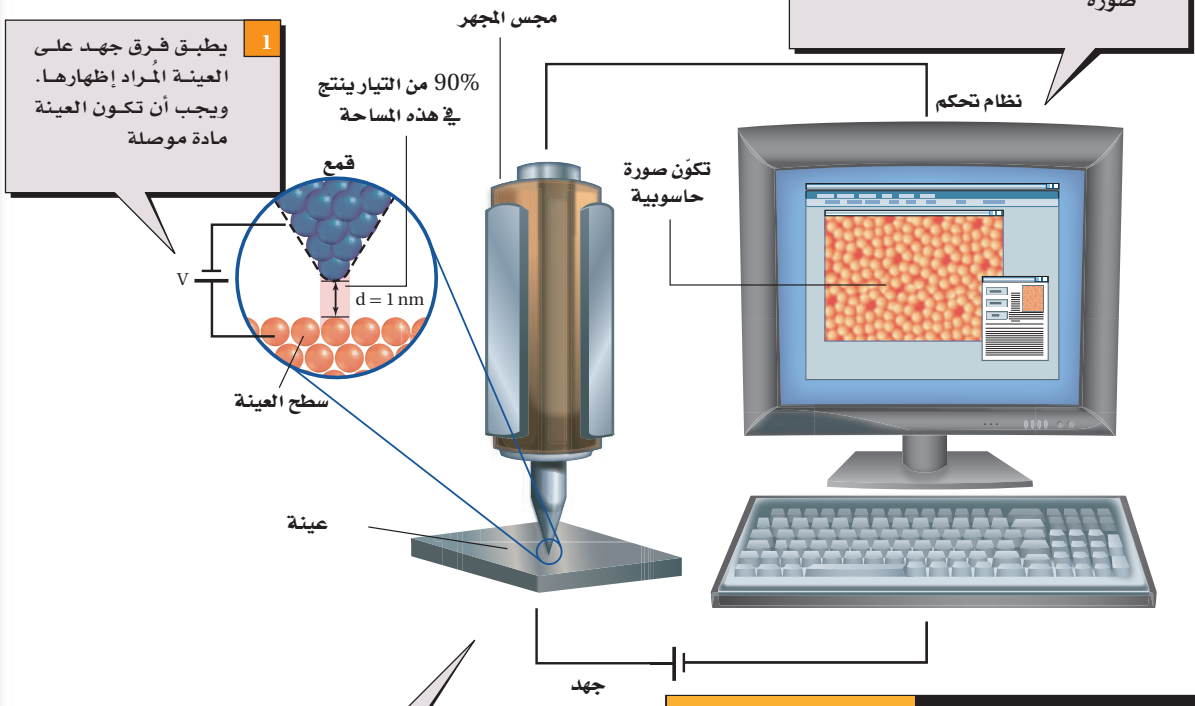
الفيزياء في الحياة

يستخدم مصورو الفوتوجرافيا عادةً إضاءة حمراء في غرفهم المظلمة، فلماذا لا يستخدمون الضوء الأزرق؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
لمزيد من المعلومات عن نظرية الكم ارجع إلى الموقع الإلكتروني
www.obeikaneducation.com

المجهر النفقي الماسح؟ Scanning Tunneling Microscope?

اخترع العالمان جيرد بينج وهنرش روهرير عام 1981م المجهر النفقي الماسح (STM)، وحصلا بعد خمس سنوات على جائزة نوبل في الفيزياء. والمجهر النفقي الماسح قادر على تصوير سطوح المواد بقوة تمييز تصل إلى المستوى الذري. وقد مكّن هذا العلماء من تكوين صور للذرات، كصورة ذرات السيليكون الظاهرة على الشاشة أدناه. كيف يعمل STM؟



التفكير الناقد

1. **احسب** إذا كان التيار الكهربائي المتولد بين رأس المجس وسطح العينة 1.0×10^{-9} A، فما عدد الإلكترونات المتدفقة إلى رأس المجس خلال ثانية واحدة؟
2. **قوّم** تُعطى العلاقة بين التيار I والمسافة d بين رأس المجس والعينة في مجهر STM بالمعادلة $I = I_o e^{-kd}$، حيث I_o و k ثوابت. استخدم عينة قيم لتتحقق من أن التيار يتناقص عندما تزداد المسافة.
3. **صمم تجربة** ماذا تفعل إذا أردت استعمال مجهر STM لتدرس عينة غير موصلة؟

الفصل 1
دليل الدراسة

1–1 النموذج الجسيمي للموجات Aparticle Model of Waves

المفردات

- طيف انبعاث
- مكمّاة
- التأثير الكهروضوئي
- تردد العتبة
- جهد الإيقاف
- الفوتون
- اقتران الشغل
- تأثير كومبتون

الأفكار الرئيسة

- تبعث الأجسام التي تسخن لدرجة التوهج ضوءًا بسبب اهتزازات الجسيمات المشحونة الموجودة في ذراتها.
- يُغطي طيف الأجسام المتوهجة، مدًى واسعًا من الأطوال الموجية. ويعتمد الطيف على درجة حرارة الأجسام المتوهجة.
- فسّر العالم بلانك طيف الجسم المتوهج، مفترضًا أن للجسيمات مقادير محددة من الطاقة فقط، وهي تساوي مضاعفات ثابت بلانك.

$$E = nhf$$

- فسّر أينشتاين التأثير الكهروضوئي، مفترضًا أن الضوء موجود على شكل حزم من الطاقة تسمى الفوتونات.

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(1240\,\text{eV.nm})}{\lambda(\text{nm})}$$

- التأثير الكهروضوئي هو انبعاث إلكترونات من فلزات معينة، عندما تتعرض لإشعاع كهرومغناطيسي.

$$KE = hf - hf_0$$

- تمكن العلماء من حساب قيمة ثابت بلانك h اعتمادًا على التأثير الكهروضوئي.
- يقاس اقتران الشغل – والذي يكافئ طاقة ربط الإلكترون – باستخدام تردد العتبة في التأثير الكهروضوئي.
- يبيّن تأثير كومبتون أن للفوتون زخمًا كما توقع أينشتاين.

$$p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

- تتحرك الفوتونات بسرعة الضوء. ورغم أنه ليس لها كتلة إلا أن لها طاقة وزخمًا.

1–2 موجات المادة Matter Waves

المفردات

- طول موجة دي برولي
- مبدأ عدم التحديد

الأفكار الرئيسة

- اقترح العالم دي برولي الطبيعة الموجية للجسيمات المادية، وتم التحقق منها عمليًّا عن طريق حيود الإلكترونات خلال البلورات. ولكل الجسيمات المتحركة طول موجي، يعرف بطول موجة دي برولي.

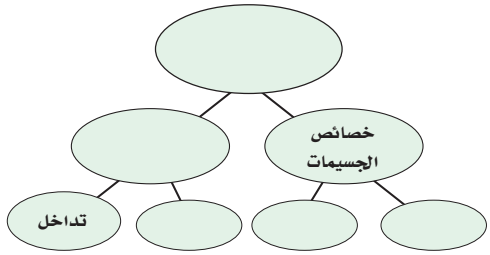
$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

- تتكامل الطبيعتان الجسيمية والموجية معًا لوصف الطبيعة الكاملة لكل من المادة والطاقة.
- ينص مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج على أنه من غير الممكن تحديد موقع وزخم أي جسيم ضوئي أو مادي بدقة عالية في آن واحد.

الفصل 1
التقويم

خريطة المفاهيم

26. أكمل خريطة المفاهيم أدناه، باستخدام المصطلحات التالية: *الطبيعة المزدوجة*، *الكتلة*، *الخصائص الموجية*، *الزخم*، *الحيود*.



إتقان المفاهيم

27. **الضوء المتوهج** يضبط مصباح كهربائي متوهج باستخدام مفتاح تحكم. ماذا يحدث للون الضوء الصادر عن المصباح عند إدارة مفتاح التحكم إلى أقل قراءة؟

28. وضّح مفهوم تكمية الطاقة.

29. ما الذي تم تكميته في تفسير ماكس بلانك لإشعاع الأجسام المتوهجة؟

30. ماذا تسمى كمّات الضوء؟

31. سُلِّط ضوء على مهبط خلية ضوئية، وكان تردد الضوء أكبر من تردد العتبة لفلز المهبط. كيف تفسر نظرية أينشتاين للتأثير الكهروضوئي حقيقة زيادة تيار الإلكترونات الضوئية كلما زادت شدة الضوء؟

32. وضح كيف فسّرت نظرية أينشتاين حقيقة أن الضوء الذي تردده أقل من تردد العتبة لفلز لا يحرر إلكترونات ضوئية منه، بغض النظر عن شدة الضوء؟

33. **الفيلم الفوتوجرافي** لأن أنواعًا معينة من أفلام الأبيض والأسود ليست حساسة للضوء الأحمر، فإنه يمكن تحميضها في غرفة مظلمة مضاءة بضوء أحمر. فسّر ذلك بناءً على نظرية الفوتون للضوء.

34. كيف أظهر تأثير كومبتون أن للفوتونات زخمًا، كما أن لها طاقة؟

35. الزخم p لجسيم مادي يعطى بالمعادلة $p = mv$ هل تستطيع حساب زخم فوتون مستخدمًا المعادلة نفسها؟ وضح إجابتك.

36. وضح كيف يمكن قياس الخصائص التالية للإلكترون:
a. الشحنة **b.** الكتلة **c.** الطول الموجي

37. وضح كيف يمكن قياس الخصائص التالية للفوتون:
a. الطاقة **b.** الزخم **c.** الطول الموجي .

تطبيق المفاهيم

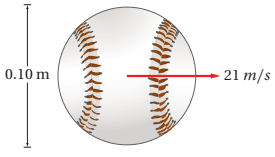
38. استخدم طيف الانبعاث لجسم متوهج عند ثلاث درجات حرارة مختلفة كما في **الشكل 1–1** وأجب عن الأسئلة الآتية:
a. عند أي طول موجي تكون شدة الانبعاث أكبر ما يكون لكل من درجات الحرارة؟
b. ماذا تستنتج عن العلاقة بين التردد الذي تكون عنده شدة الإشعاع المنبعث أكبر ما يمكن، وبين درجة حرارة الجسم المتوهج؟

39. وضع قضيبان من الحديد في النار، فتوهج أحدهما باللون الأحمر الداكن، بينما توهج الآخر باللون البرتقالي الساطع. أي القضيبين:
a. أكثر سخونة؟ **b.** يشع طاقة أكبر؟

40. هل يحرر ضوء تردده كبير عددًا أكبر من الإلكترونات من سطح حساس للضوء مقارنة بضوء تردده أقل، مع افتراض أن كلا الترددين أكبر من تردد العتبة؟

41. تنبعث إلكترونات ضوئية من البوتاسيوم عندما يسقط عليه ضوء أزرق، في حين تنبعث إلكترونات ضوئية من التنجستن عندما يسقط عليه أشعة فوق بنفسجية. أي الفلزين:
a. له تردد عتبة أكبر؟ **b.** له اقتران شغل أكبر؟

42. قارن طول موجة دي برولي المصاحبة لكرة البيسبول، الموضحة في **الشكل 11–1** بقطر الكرة.



الشكل 11–1

تقويم الفصل 1

إتقان حل المسائل

1–1 النموذج الجسيمي للموجات

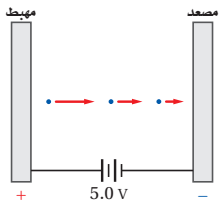
43. اعتمادًا على نظرية بلانك، كيف يتغير تردد اهتزاز ذرة إذا بعثت طاقة مقدارها 5.44×10^{-19} J عندما تغيّرت قيمة n بمقدار 1؟

44. ما مقدار فرق الجهد اللازم لإيقاف إلكترونات طاقتها الحركية العظمى 4.8×10^{-19} J؟

45. ما زخم فوتون الضوء البنفسجي الذي طوله الموجي 4.0×10^{2} nm؟

46. جهد الإيقاف لإلكترونات فلز معين موضح في **الشكل 12–1**. ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية؟ بدلالة الوحدات التالية:

a. الإلكترون فولت. **b.** الجول.



الشكل 12–1

47. تردد العتبة لفلز معين 3.00×10^{14} Hz، ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة إذا أضيء الفلز بضوء طوله الموجي 6.50×10^{2} nm؟

48. ما مقدار الشغل اللازم لتحرير إلكترون من سطح الصوديوم إذا كان تردد العتبة له 4.4×10^{14} Hz؟

49. إذا سقط ضوء تردده 1.00×10^{15} Hz على الصوديوم في المسألة السابقة، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية؟

50. **مقياس الضوء** يستعمل مقياس الضوء الفوتوجرافي خلية كهروضوئية، لقياس الضوء الساقط على الجسم المراد تصويره. كم يجب أن يكون اقتران الشغل لمادة المهبط حتى تكون الخلية الكهروضوئية حساسة للضوء الأحمر (λ= 680 nm) كما للألوان الأخرى للضوء؟

2–1 موجات المادة

51. ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون يتحرك بسرعة 3.0×10^{6} m/s؟

52. ما مقدار السرعة التي يجب أن يتحرك بها إلكترون لتكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 3.0×10^{-10} m؟

53. يتسارع إلكترون في أنبوب أشعة مهبطية من السكون، خلال فرق جهد 5.0×10^{3} V، أوجد ما يأتي:

a. سرعة الإلكترون.

b. الطول الموجي المصاحب للإلكترون.

54. احتُجز نيوترون طاقته الحركية 0.025 eV، أوجد ما يأتي:

a. سرعة النيوترون.

b. طول موجة دي برولي المصاحبة للنيوترون.

55. إذا كانت الطاقة الحركية لإلكترون ذرة الهيدروجين 13.65 eV، فاحسب:

a. مقدار سرعة الإلكترون.

b. مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للإلكترون.

c. محيط ذرة الهيدروجين ثم قارنه بطول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون الذرة. علمًا بأن نصف قطر ذرة الهيدروجين 0.519 nm

56. إذا كان طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون 0.18 nm، فأجب عما يأتي:

a. ما مقدار فرق الجهد الذي تحرك خلاله إذا بدأ الحركة من السكون؟

b. إذا كان طول موجة دي برولي المصاحبة لبروتون 0.18 nm، فما مقدار فرق الجهد الذي تحرك خلاله إذا بدأ الحركة من السكون؟

مراجعة عامة

57. إذا كان تردد العتبة لفلز ما 8.0×10^{14} Hz، فما اقتران الشغل له؟

58. إذا سقط ضوء تردده 1.6×10^{15} Hz على الفلز في المسألة السابقة، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية؟

تقويم الفصل 1

59. احسب طول موجة دي برولي المصاحبة لديوترون (نواة نظير الهيدروجين $^{2}_{1}H$) كتلته $3.3\times10^{-27}\ kg$ ويتحرك بسرعة $2.5\times10^{4}\ m/s$

60. إذا كان اقتران الشغل للحديد 4.7 eV، فأجب عما يأتي:

a. ما مقدار طول موجة العتبة له؟

b. إذا أُسقط إشعاع طوله الموجي 150 nm على الحديد، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة بوحدة eV؟

61. إذا كان اقتران الشغل للباريوم 2.48 eV، فما أكبر طول موجي للضوء يستطيع تحرير إلكترونات منه؟

62. طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون 400.0 nm، وهي تساوي أقصر طول موجي للضوء المرئي. احسب مقدار:

a. سرعة الإلكترون. **b.** طاقة الإلكترون بوحدة eV.

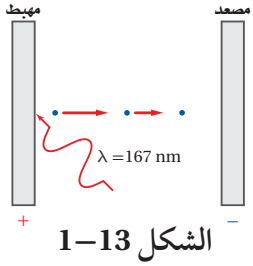
63. **المجهر الإلكتروني** يعدّ المجهر الإلكتروني مفيدًا؛ لأنه يمكن جعل الأطوال الموجية لموجات دي برولي المصاحبة للإلكترونات أقصر من الطول الموجي للضوء المرئي. ما مقدار الطاقة (بوحدة eV) اللازم تزويدها لإلكترون حتى يكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 20.0 nm؟

64. يسقط إشعاع على قصدير، كما في **الشكل 13–1**. إذا كان تردد العتبة للقصدير $1.2\times10^{15}\ Hz$، فما مقدار:

a. طول موجة العتبة للقصدير؟

b. اقتران الشغل للقصدير؟

c. الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة بوحدة eV، إذا كان الطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط 167 nm؟



الشكل 13–1

التفكير الناقد

65. **تطبيق المفاهيم** يبعث مصدر ليزر هيليوم– نيون فوتونات طولها الموجي 632.8 nm، أجب عما يأتي:

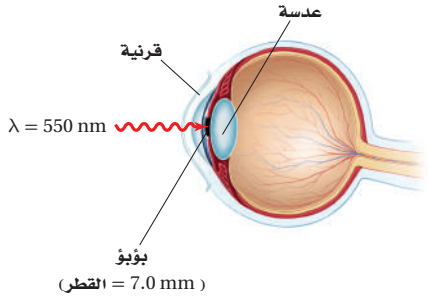
a. احسب مقدار الطاقة بوحدة الجول لكل فوتون يُبعث من الليزر.

b. إذا كانت قدرة مصدر ليزر صغير تقليدي 0.5 mW ($5\times10^{-4}\ J/s$ تكافئ)، فما عدد الفوتونات المنبعثة من مصدر الليزر في كل ثانية؟

66. **تطبيق المفاهيم** يدخل الضوء المرئي الذي شدته $1.5\times10^{-11}\ W/m^2$ بصعوبة إلى عين إنسان، كما في **الشكل 14–1**.

a. إذا سلط هذا الضوء على عين الإنسان، ومر خلال بؤبؤ عينه، فما مقدار القدرة التي تدخل عينه بوحدة الواط؟

b. استخدم الطول الموجي المُعطى للضوء المرئي والمعلومات المُعطاة في الشكل 14–1، لحساب عدد الفوتونات التي تدخل العين في كل ثانية.



الشكل 14–1

الكتابة في الفيزياء

67. ابحث عن أثقل جسيم يمكن ملاحظة تأثيرات التداخل له. صف التجربة وكيف يحدث التداخل؟

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. يتغير مستوى الطاقة لذرة عندما تمتص، أو تبعث طاقة. أي الخيارات الآتية لا يمكن أن يمثل مستوى طاقة لذرة؟

(A) $\frac{3}{4}hf$ (C) $3\,hf$

(B) hf (D) $4\,hf$

2. كيف يرتبط تردد العتبة مع التأثير الكهروضوئي؟

(A) أنه أقل تردد للإشعاع الساقط اللازم لتحرير الذرات من مصعد الخلية الضوئية.

(B) أنه أكبر تردد للإشعاع الساقط اللازم لتحرير الذرات من مصعد الخلية الضوئية.

(C) أنه تردد الإشعاع الساقط، الذي يحرر إلكترونات من الذرة عند ترددات أقل منه.

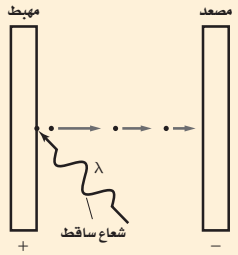
(D) أنه أقل تردد للإشعاع الساقط اللازم، لتحرير إلكترونات من الذرة.

3. ما طاقة فوتون تردده 1.14×10^{15} Hz؟

(A) 5.82×10^{-49} J (C) 8.77×10^{-16} J

(B) 7.55×10^{-19} J (D) 1.09×10^{-12} J

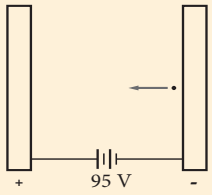
4. يسقط إشعاع طاقته 5.17 eV على خلية ضوئية، كما هو موضح في الشكل أدناه. إذا كان اقتران الشغل لمادة المهبط 2.31 eV، فما مقدار طاقة الإلكترون المتحرر؟



(A) 0.00 eV (C) 2.86 eV

(B) 2.23 eV (D) 7.48 eV

5. يتسارع إلكترون خلال فرق جهد 95.0 V، كما هو موضح في الشكل أدناه. ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للإلكترون؟



(A) 5.02×10^{-22} m (C) 2.52×10^{-10} m

(B) 1.26×10^{-10} m (D) 5.10×10^{6} m

6. ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون، يتحرك بسرعة 391 km/s؟ (كتلة الإلكترون 9.11×10^{-31}kg)

(A) 3.5×10^{-25} m (C) 4.8×10^{-15} m

(B) 4.79×10^{-15} m (D) 1.86×10^{-9} m

7. ما اقتران الشغل لفلز؟

(A) مقياس لمقدار الشغل الذي يستطيع أن يبذله إلكترون متحرر من الفلز.

(B) يساوي تردد العتبة.

(C) مقدار الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون الداخلي لذرة الفلز.

(D) مقدار الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون الأضعف ارتباطًا في الذرة.

الأسئلة الممتدة

8. تحرك جسم بسرعة 45 m/s، فكان طول موجة دي برولي المصاحبة له 2.3×10^{-34} m، ما كتلة الجسم بوحدة kg؟

إرشاد

ارتد ساعة

إذا كنت تخضع لاختبار ذي وقت محدد فنظّم وقتك. لا تقض وقتًا كبيرًا جدًّا في مسألة واحدة. اترك المسائل الصعبة، ثم عد إليها بعد أن تجيب عن المسائل السهلة.

الفصل 2

الذرة
The Atom

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- تعلُّم كيفية اكتشاف مكوّنات الذرة.
- تحديد طاقات ذرة الهيدروجين.
- تعلُّم كيف قادت نظرية الكم إلى النموذج الذري الحديث.
- تعلُّم كيف يعمل الليزر. وما تطبيقاته.

الأهمية

يفسر النموذج الكمي للذرة وانتقال الإلكترونات بين مستويات الطاقة، كثيرًا من سلوك ومشاهدات المواد.

طيف الانبعاث هذه الأنابيب مملوءة بأنواع مختلفة من الغازات، وكل منها يبعث طيفًا واحدًا مميزًا فقط من الألوان. وينبعث الضوء المتوهج عندما تنتقل إلكترونات الغاز إلى مستويات طاقة أدنى.

فكِّر ◄

ما الذي يسبب اختلاف ألوان الإضاءة. وكيف تستطيع تحديد نوع الغاز المستخدم في كل أنبوب؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

الأهداف

- **تصف** تركيب نواة الذرة.
- **تقارن** بين طيف الانبعاث المستمر، وطيف الانبعاث الخطي.
- **تحل** مسائل باستخدام نصف قطر المستوى. ومعادلات مستويات الطاقة.

المفردات

جسيمات ألفا
نيوكليون
طيف الامتصاص
مستوى الطاقة
حالة الإستقرار
حالة الإثارة
عدد الكم الرئيس

بنهاية القرن التاسع عشر، اتفق معظم العلماء على وجود الذرات، وقد أعطى اكتشاف تومسون للإلكترون دليلاً مقنعًا على أن الذرة تتكون من جسيمات دون ذرية. وقد وجد أن كل ذرة اختبرها تومسون تحتوي على إلكترونات سالبة الشحنة، وأن لهذه الإلكترونات كتلة صغيرة جدًّا. وعند مقارنة كتل الذرات بكتل مكوناتها من الإلكترونات وجد أن هناك كتلة مفقودة، لذا بدأ العلماء بالبحث عن الكتلة المفقودة التي يجب أن تكون جزءًا من كتلة الذرة الكلية. ما طبيعة الكتلة التي سيتم اكتشافها لاحقًا بوصفها جزءًا من الذرة؟ وكيف تتوزع هذه الكتلة داخل الذرة؟

إضافة إلى ذلك، فمعلوم أن الذرة متعادلة كهربائيًّا، وحتى تلك الفترة تم تحديد إلكترونات سالبة الشحنة داخل الذرة، فكيف تتوزع الإلكترونات سالبة الشحنة في الذرة؟ وما مصدر تعادل الذرة؟ وهل هناك جسيمات موجبة الشحنة أيضًا في الذرة؟ كان فهم العلماء الكامل عن الذرة لا يزال بعيدًا قبل الإجابة على تلك التساؤلات. من هنا بدأ العلماء في البحث عن إجابة على العديد من الأسئلة التي وضعتهم في تحدٍّ.

تجربة استهلالية

كيف يمكن اختيار نوع قطعة نقدية فلزية تدور لتكون نموذجًا لتعرّف نوع الذرات؟

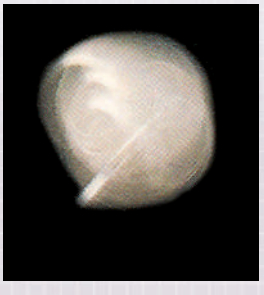
سؤال التجربة أثناء دوران أي من القطع النقدية من فئات 5 فلسات أو10 فلسات أو25 فلسًا أو 50 فلسًا، أو 100 فلس، على سطح الطاولة، ما الخصائص التي تمكنك من تعرّف نوع القطعة النقدية التي تدور؟

الخطوات

1. ضع قطعة نقدية فلزية من فئة 100 فلس رأسيًّا على سطح طاولة. ولتثبيتها المسها بطرف إصبعك ثم انقر طرفها بسبابتك لتجعلها تدور بسرعة. ولاحظ مظهر القطعة الدوّارة وصوتها إلى أن تقترب من التوقف عن الدوران على سطح الطاولة.
2. كرر الخطوة 1 ثلاثة مرات مستخدمًا قطعًا من فئات (5 و10 و25 و50) فلسًا على التوالي.
3. اطلب إلى زميلك تدوير القطع النقدية، قطعة واحدة في كل مرة وبترتيب عشوائي. شاهد كل قطعة في أثناء دورانها فقط، ثم حاول تحديد نوع تلك القطعة.
4. كرر الخطوة 3، وحاول تحديد نوع كل من القطع النقدية الدوّارة على أن تكون عيناك مغمضتين.

التحليل

ما مدى نجاحك في تحديد نوع القطع النقدية من خلال الاستماع إلى الأصوات التي تصدرها هذه القطع؟ ما خصائص القطعة الدوّارة التي يمكن أن تستخدم لتحديد نوعها؟ ما الأدوات التي يمكن أن تجعل عملية تحديد نوع القطعة النقدية أكثر سهولة؟



التفكير الناقد تبعث الذرات المثارة لعنصر ما في أنبوب غاز التفريغ طاقةً عن طريق انبعاث الضوء. كيف يمكن للضوء المنبعث أن يساعدك على تحديد نوع الذرة في أنبوب التفريغ؟ وما الأدوات التي يمكن أن تساعدك على ذلك؟

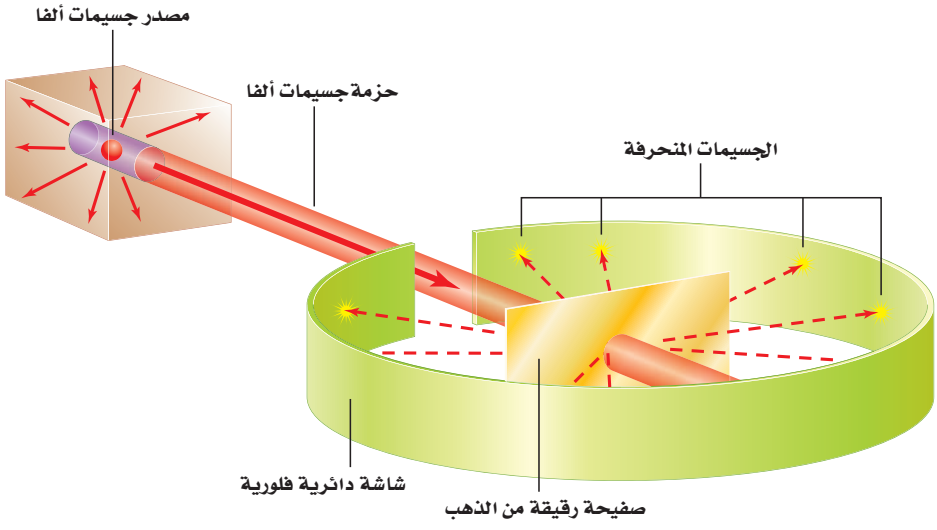
النموذج النووي The Nuclear Model

كثير من التساؤلات واجهت الباحثين حول طبيعة الذرة. ما الذي يسبب انبعاث ضوء من الذرات؟ كيف تتوزع الإلكترونات في الذرة؟ بحث فيزيائيون وكيميائيون من دول مختلفة عن إجابات لهذه الأسئلة. لم تزودنا النتائج التي توصلوا إليها بالمعرفة عن تركيب الذرة فقط، ولكنها زودتنا بنهج جديد لفهم كل من الفيزياء والكيمياء. وأصبح تاريخ البحث في طبيعة الذرة من أكثر القصص إثارةً في القرن العشرين.

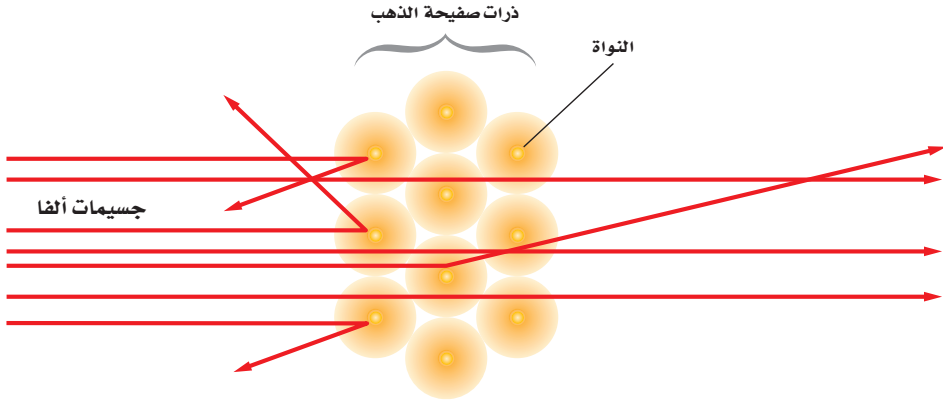
اعتقد توسون أن المادة الثقيلة الموجبة الشحنة تملأ الذرة. وقد صوّر الإلكترونات السالبة الشحنة على أنها تتوزع خلال هذه المادة الموجبة الشحنة، تمامًا مثل حبات الزبيب في الفطيرة المسطحة. شارك العالم إرنست رذرفورد كلًّا من هانز جايجر وإرنست ماردسن، في إجراء سلسلة من التجارب، أظهرت نتائجها أن للذرة تركيبًا مختلفًا تمامًا.

أجريت تجربة رذرفورد باستخدام عناصر مشعة تصدر أشعة نافذة، وقد وجد أن بعض هذه الانبعاثات جسيمات موجبة الشحنة وثقيلة، وتتحرك بسرعات عالية. هذه الجسيمات سميت فيما بعد جسيمات ألفا، ورُمز لها بالرمز α. ويمكن الكشف عن هذه الجسيمات في تجربة رذرفورد، بوساطة ومضات ضوئية تنبعث عندما تصطدم الجسيمات مع شاشة مطلية بطبقة من كبريتات الزنك. كما يتضح من **الشكل 1–2**، فقد قذف رذرفورد حزمة من جسيمات ألفا على صفيحة رقيقة جدًّا من الذهب، وكان رذرفورد مهتمًّا بنموذج توسون للذرة، وتوقع حدوث انحرافات بسيطة جدًّا فقط لجسيمات ألفا عندما تعبر خلال صفيحة الذهب الرقيقة، واعتقد أن مسار جسيمات ألفا الثقيلة ذات السرعة العالية سوف يتغير بمقدار ضئيل، عندما يعبر خلال الشحنة الموجبة الموزعة بانتظام والتي تكوّن كل ذرة الذهب.

وكانت نتائج التجربة مدهشة؛ فقد عبَر معظم جسيمات ألفا خلال صفيحة الذهب دون انحراف، أو مع انحراف قليل عن مسارها، إلا أن بعضها ارتدّ بزوايا كبيرة جدًّا (تزيد عن $90°$). والرسم التوضيحي لهذه النتائج موضح في **الشكل 2–2**. وقد شبه رذرفورد نتائج هذه التجربة بإرتداد قذيفة مدفع عند اصطدامها بمنديل ورقي.



الشكل 1–2 بعد قذف رقيقة الذهب بجسيمات ألفا، استنتج فريق رذرفورد أن معظم كتلة الذرة كانت متمركزة في النواة.

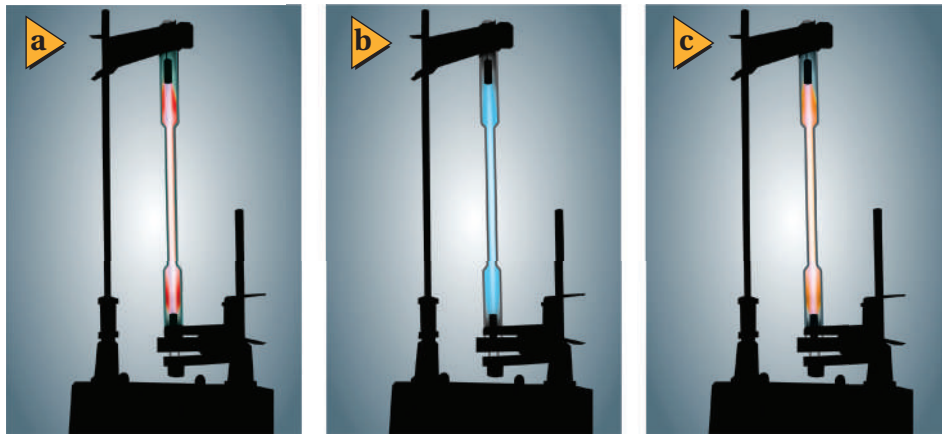


الشكل 2–2 معظم جسيمات ألفا الموجهة إلى صفيحة رقيقة من الذهب عبرت خلالها دون انحراف. وجسيم واحد من كل 20,000 يرتد بزاوية كبيرة.

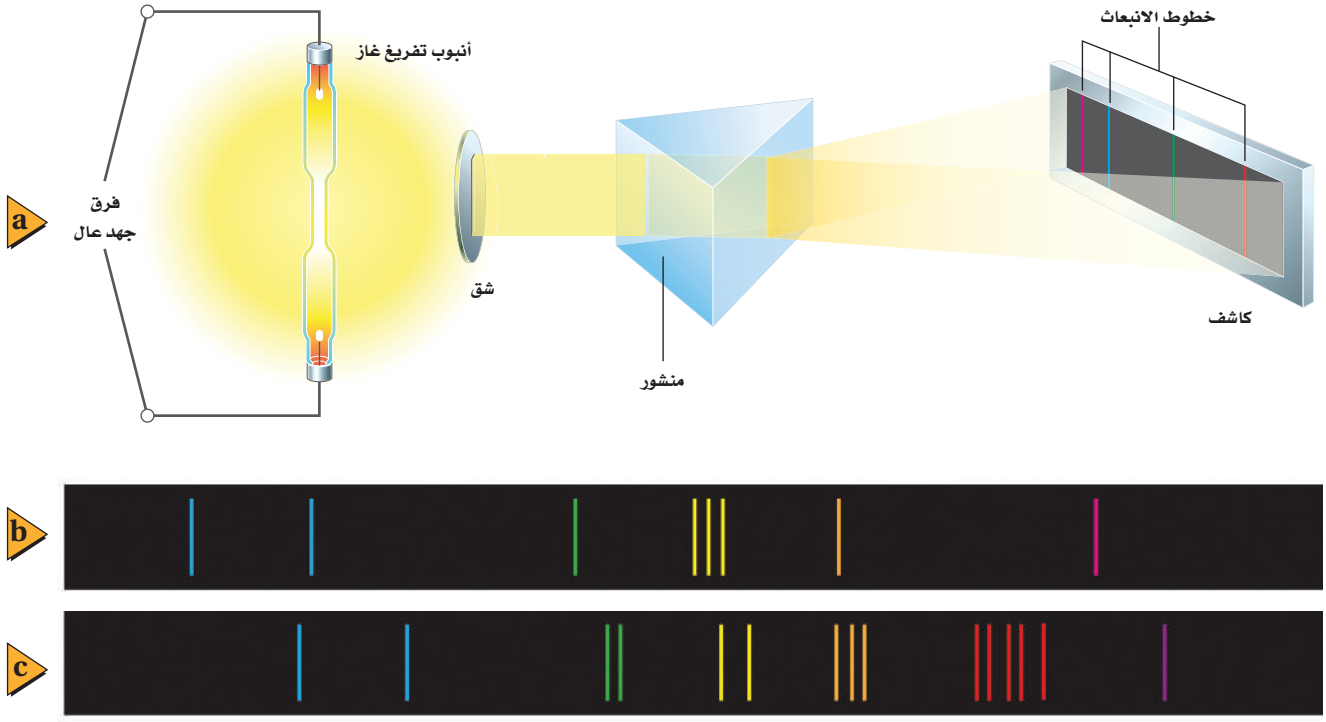
مستخدمًا قانون القوة لكولوم، وقوانين نيوتن في الحركة، استنتج رذرفورد أن النتائج يمكن تفسيرها فقط، إذا كانت شحنة الذرة الموجبة متمركزة في حيز صغير وثقيل، يسمى الآن النواة. لذلك سمي نموذج رذرفورد للذرة النموذج النووي. وقد حدّد مجموعة من العلماء أن الشحنة الموجبة للذرة وأكثر من 99.9% من كتلة الذرة موجودة في النواة. أما الإلكترونات التي لا تساهم بكمية كبيرة من كتلة الذرة فتكون موزعة خارجًا وبعيدًا عن النواة. لذلك فإن الفراغ الذي تشغله الإلكترونات يحدد الحجم الكلي أو قطر الذرة. ولأن قطر الذرة أكبر 10,000 مرة تقريبًا من قطر النواة، فإن معظم حجم الذرة يكون فراغًا.

طيف الانبعاث كيف تتوزع الإلكترونات حول نواة الذرة؟ تم التوصل إلى أحد مفاتيح الإجابة عن هذا السؤال، من خلال دراسة الضوء المنبعث من الذرات. تذكّر – من الفصل السابق – أن مجموعة الأطوال الموجية الكهرومغناطيسية التي تنبعث من الذرة تسمى طيف الانبعاث الذري.

يوضح **الشكل 3–2**، التوهج المميز المنبعث عن بعض الغازات، فعند استخدام ذرات غازٍ ما وتطبيق فرق جهد عال عبر أنبوب تفريغ الغاز، نلاحظ أن الغاز بدأ بالتوهج، كما نلاحظ أن كل غاز يتوهج بضوء مختلف، وتُعد إشارات النيون الملونة التي تستخدم في بعض اللوحات الإعلانية تطبيقًا للمبادئ التي تعمل عليها أنابيب تفريغ الغاز.



الشكل 3–2 عند تطبيق فرق جهد عال على عينة غاز يبعث الغاز ضوءًا ذا توهج خاص به. يتوهج غاز الهيدروجين بضوء أحمر مزرق (a)، ويتوهج غاز الزئبق بضوء أزرق (b)، ويتوهج غاز النيتروجين بضوء برتقالي– وردي اللون(c).



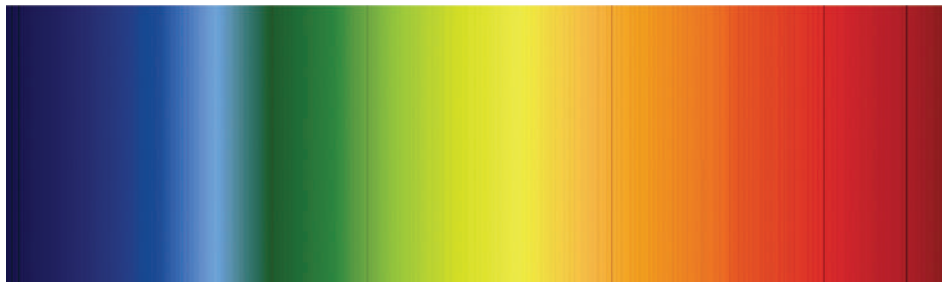
الشكل 4–2 يمكن استخدام منشور المطياف لمشاهدة طيف الانبعاث (a). طيفا الانبعاث الخطي للزئبق (b) وللباريوم (c) يظهران بخطوط مميزة.

نحصل على طيف الانبعاث للذرة عندما يمر الضوء المنبعث من الغاز خلال منشور أو محزوز حيود. ويمكن دراسة طيف الانبعاث بتفصيل أكبر باستخدام جهاز يسمى المطياف. وكما هو موضح في **الشكل 4a–2**، فإن الضوء في منشور المطياف يعبر خلال الشق، ثم يتشتت عندما يعبر خلال المنشور، ثم تعمل عدسة النظام – غير موضحة في الرسم – على تجميع الضوء المتشتت، لكي نتمكن من مشاهدته أو تسجيله على شاشة فوتوجرافية، أو على كاشف إلكتروني، فيكوّن المطياف صورة الشق عند مواقع مختلفة لكل طول موجي.

إن الطيف المنبعث عن جسم ساخن، أوعن مادة صلبة متوهجة، مثل فتيلة المصباح الكهربائي؛ هو حزمة متصلة من ألوان الطيف من الأحمر إلى البنفسجي ويسمى بطيف الانبعاث المستمر. لكن طيف الغاز يكون سلسلة من الخطوط المنفصلة ذات ألوان مختلفة. وخطوط طيفّي الانبعاث لغازي الزئبق والباريوم موضحان في **الشكل 4b–2** و**الشكل 4c–2** على التوالي. وكل خط ملوّن يرتبط مع الطول الموجي المحدد للضوء المنبعث من ذرات ذلك الغاز ويسمى بطيف الانبعاث الخطي.

يعدّ طيف الانبعاث الخطي وسيلة تحليلية مفيدة، فيمكن استخدامه لتحديد نوع عينة غاز مجهولة. حيث يوضع الغاز المجهول في أنبوب تفريغ الغاز ليبعث ضوءًا. والضوء المنبعث يحتوي على أطوال موجية مميّزة لذرات ذلك الغاز. لذا يمكن تحديد الغاز المجهول بمقارنة أطواله الموجية مع الأطوال الموجية الموجودة في خرائط خاصة لأطياف العناصر المعلومة.

ويمكن كذلك استخدام طيف الانبعاث؛ لتحليل خليط من الغازات. فعندما يتم تصوير طيف الانبعاث لخليط من العناصر، فإن تحليل الخطوط في الصورة يمكن أن يشير إلى نوع العناصر الموجودة والتراكيز النسبية لها. وإذا كانت العينة قيد الاختبار تحتوي على كمية أكبر من عنصر معين، فإن خطوط ذلك العنصر تكون أكثر كثافة في الصورة من العناصر الأخرى. ومن خلال إجراء المقارنة بين كثافات الخطوط، يمكن تحديد التركيب النسبي للمادة.



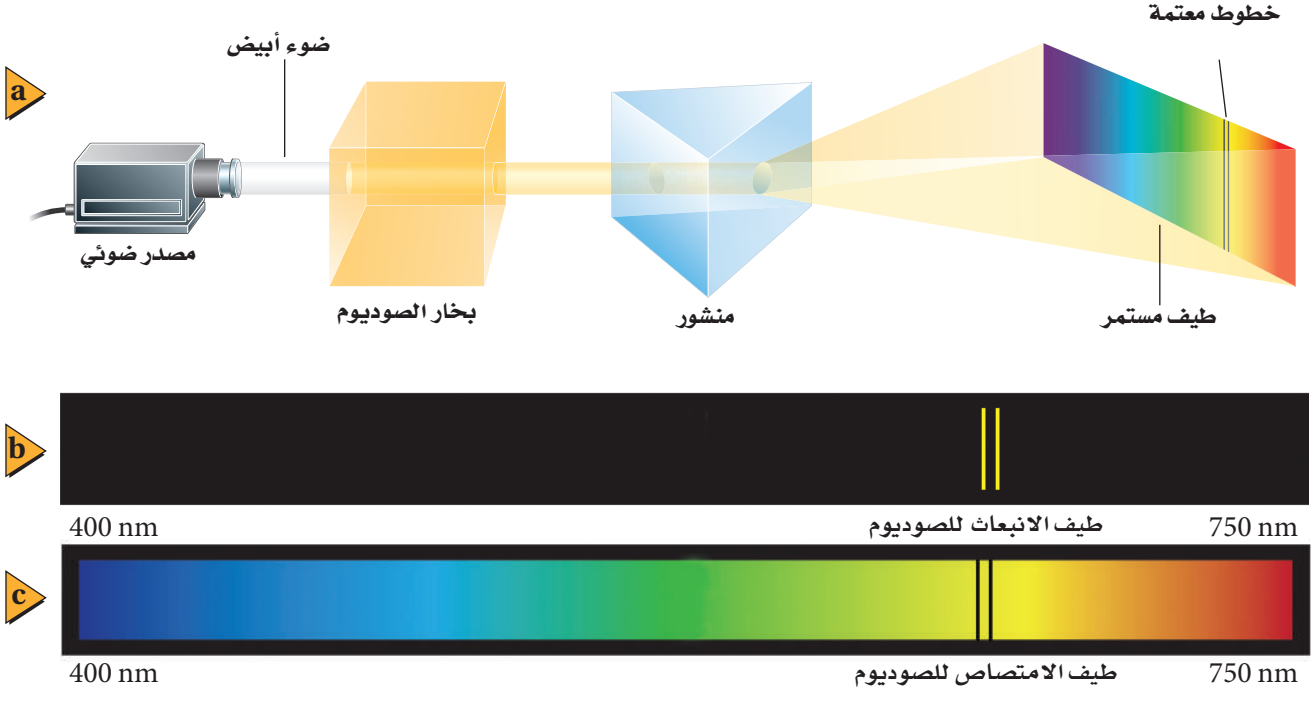
الشكل 5–2 تظهر خطوط فرونهوفر في طيف الامتصاص للشمس. توجد خطوط كثيرة، إلا أن بعض هذه الخطوط خافت وبعضها قاتم جدًا؛ اعتمادًا على تراكيز العناصر في الشمس.

الربط مع الفلك

طيف الامتصاص في عام 1814م لاحظ جوزيف فون فرونهوفر، ظهور بعض الخطوط المعتمة في طيف ضوء الشمس. تعرف هذه الخطوط المعتمة بخطوط فرونهوفر، وهي موضحة في **الشكل 5–2**. ويفسر ظهورها بأن ضوء الشمس يعبر خلال الغلاف الغازي المحيط بالشمس، وتمتص هذه الغازات أطوالاً موجية مميِّزة محددة، مما يُنتج هذه الخطوط المعتمة في الطيف المرئي. ومجموعة الأطوال الموجية الممتصة بوساطة الغاز تسمى **طيف الامتصاص** للغاز. وقد أمكن تحديد مكونات الغلاف الشمسي بمقارنة الخطوط المفقودة في الطيف المرئي بطيف الانبعاث المعلوم للعناصر المختلفة. وكذلك فقد تم تحديد مكونات العديد من النجوم باستخدام هذه التقنية.

يمكن مشاهدة طيف الامتصاص، بتمرير ضوء أبيض خلال عينة غاز ومطياف، كما هو موضح في **الشكل 6a–2**. ولأن الغاز يمتص أطوالاً موجية محددة، فإن الطيف المستمر المرئي للضوء الأبيض سيحتوي على خطوط معتمة محددة بعد مروره في غاز ما. وتحدث الخطوط المضيئة لطيف الانبعاث، والخطوط المعتمة لطيف الامتصاص لأي غاز غالبًا عند الأطوال الموجية نفسها، كما هو موضح في **الشكل 6b–2** و**الشكل 6c–2**، على التوالي، لذلك فإن العناصر الغازية الباردة تمتص الأطوال الموجية نفسها التي تبعثها عندما تثار. وكما يمكن أن تتوقع، فإنه يمكن تحديد مكونات غاز ما من الأطوال الموجية للخطوط المعتمة في طيف الامتصاص لهذا الغاز.

الشكل 6–2 يستخدم هذا الجهاز لإنتاج طيف الامتصاص لغاز الصوديوم (a). يتكون طيف الانبعاث للصوديوم من العديد من الخطوط المميزة (b) بينما يكون طيف الامتصاص للصوديوم مستمرًا تقريبًا (c).



التحليل الطيفي يعدّ كل من طيفي الانبعاث والامتصاص وسائل علمية مفيدة؛ فنتيجة للأطياف المميِّزة للعنصر استطاع العلماء تحليل، وتحديد وحساب كمية المواد المجهولة، عن طريق ملاحظة الأطياف التي تبعثها أو تمتصها. ولأطياف الانبعاث والامتصاص أهمية بالغة في الصناعة، كما في البحوث العلمية. فمثلاً، تقوم مصانع الحديد بإعادة معالجة كميات كبيرة من حديد الخردة الذي يحوي على تراكيب مختلفة، فيتم التحديد الدقيق لهذه التراكيب خلال دقائق بوساطة التحليل الطيفي. كما ويمكن تعديل تركيب الحديد ليتناسب مع المواصفات التجارية؛ وتقوم محطات معالجة الفلزات – ومنها الألومنيوم والزنك ومعادن أخرى – بتطبيق الطريقة نفسها.

إن دراسة الأطياف تعدّ فرعًا من العلم المعروف باسم التحليل الطيفي. ويعمل الباحثون في هذا العلم في مؤسسات الأبحاث والمؤسسات الصناعية. وقد تم إثبات أن علم التحليل الطيفي أداة فعّالة لتحليل الفلزات الموجودة على الأرض، وهو الأداة المتوافرة الوحيدة حاليًّا لدراسة مكونات النجوم على مدى الفضاء المتسع.

سلبيات نموذج رذرفورد (النووي) في القرن التاسع عشر، حاول بعض العلماء استخدام الأطياف الذرية؛ لتحديد مكونات الذرة. وتمت دراسة ذرة الهيدروجين بدقة؛ لأنه العنصر الأخف، وله أبسط طيف؛ حيث يتكون الطيف المرئي للهيدروجين من أربعة أطياف خطية: الأحمر، والأخضر، والأزرق، والبنفسجي، كما هو موضح في **الشكل 7–2**. وأي نظرية علمية تفسر مكونات الذرة، يجب أن تأخذ في الحسبان هذه الأطوال الموجية، وتدعم النموذج النووي. ومع ذلك فإن النموذج النووي الذي اقترحه رذرفورد لم يخل من السلبيات؛ حيث افترض رذرفورد أن الإلكترونات تدور حول النواة تمامًا كما تدور الكواكب حول الشمس، وهذه ثغرة خطيرة في نموذجه هذا.

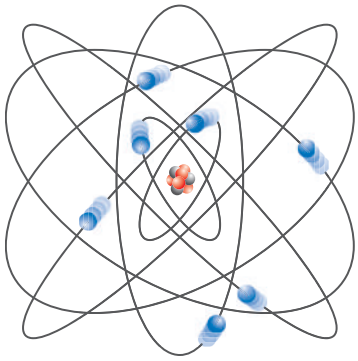
يتسارع الإلكترون في مستواه مع استمرار دورانه حول النواة، وكما درست سابقًا، فإن الإلكترونات المتسارعة تشع طاقة عن طريق انبعاث موجات كهرومغناطيسية. ومعدل فَقد الإلكترون لطاقته في أثناء دورانه حول النواة يجعل مساره لولبيًّا حتى يحط أخيراً في النواة خلال 10^{-9} s، لذلك فإن نموذج رذرفورد لا يتفق مع قوانين الكهرومغناطيسية. إضافة إلى ذلك، يتوقع هذا النموذج أن الإلكترونات المتسارعة سوف تشع طاقتها عند كل الأطوال الموجية، لكن كما درست، فإن الضوء المنبعث من الذرات يُشَع عند أطوال موجية محددة فقط.

نموذج بور للذرة The Bohr Model of the Atom

انتقل الفيزيائي الدنماركي نيلز بور إلى بريطانيا عام 1911م، وانضم إلى مجموعة رذرفورد، ليعمل في تحديد تركيب الذرة. وحاول توحيد النموذج النووي مع مستويات الطاقة المكماة لبلانك، ونظرية أينشتاين في الضوء. فكانت هذه فكرة جريئة؛ لأنه منذ عام 1911م لم تكن أي من هذه الأفكار الجريئة مفهومة على نطاق واسع، أو مقبولة.

الشكل 7–2 هناك أربعة خطوط في طيف الانبعاث لذرة الهيدروجين.

تكمية الطاقة بدأ بور بالنموذج النووي للإلكترونات، كما هو موضح في **الشكل 8–2**. لكنه قدم نظرية جريئة تنص على أن قوانين الكهرومغناطيسية لا تطبق على ما في داخل الذرة. فافترض أن الإلكترونات في المدار المستقر لا تشع طاقة، رغم أنها تتسارع، واعتبر أن هذا هو شرط استقرار الذرة. وذهب إلى افتراض أن حالة الاستقرار للذرات تكون فقط عندما تكون كميات الطاقة فيها محددة. وبتعبير آخر اعتبر بور أن مستويات الطاقة في الذرة مكماة.

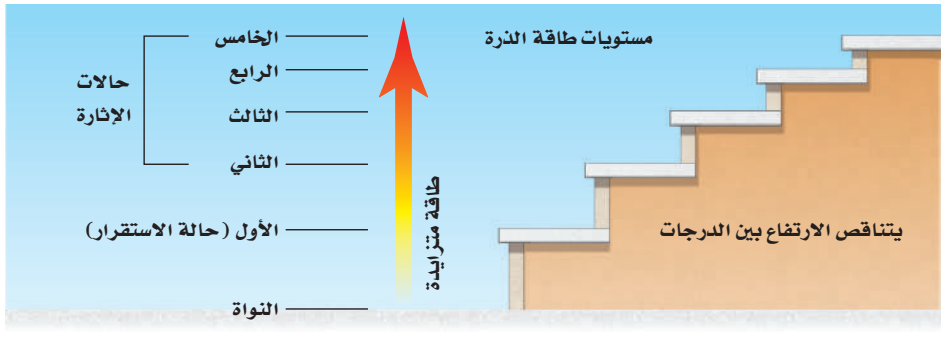


الشكل 8–2، اعتمد بور على فرضية أن الإلكترونات تدور في مدارات ثابتة حول النواة.

وكما هو موضح في **الشكل 9–2**، فإن تكمية الطاقة في الذرات يمكن تشبيهها بدرجات سلّم؛ بحيث يتناقص البعد بين كل درجتين كلما صعدنا إلى أعلى. وحتى تصعد إلى درجات أعلى للسلم، يجب أن تنتقل من درجة أدنى إلى درجة أعلى، ومن المستحيل الوقوف عند نقطة تقع بين درجتين. والذرات لها كميات مكماة من الطاقة كل منها يسمى **مستوى طاقة**، فكما أنه لا يمكنك أن تشغل مكانًا بين درجتي سلم، فإن طاقة الذرة لا يمكن أن يكون لها قيمة بين طاقتي مستويين من مستويات الطاقة المسموح بها. وعندما تكون طاقة الذرة عند أقل مقدار مسموح به، يقال إنها في **حالة استقرار**. وعندما تمتص الذرة كمية محددة من الطاقة، فإنها تنتقل إلى مستوى طاقة أعلى، أي مستوى طاقة أعلى من مستوى الاستقرار. وهذه الحالة تسمى **حالة الإثارة**.

طاقة الذرة ما الذي يحدد طاقة الذرة؟ طاقة الذرة تساوي مجموع طاقة حركة الإلكترونات، وطاقة الوضع الناتجة عن قوة التجاذب بين الإلكترونات والنواة. وطاقة الإلكترون في المستويات القريبة من النواة أقل من طاقة الإلكترون في المستويات البعيدة عنها؛ لأنه يجب أن يبذل شغل لنقل الإلكترونات بعيدًا عن النواة. وهكذا تكون الذرات في حالة إثارة عندما تكون إلكتروناتها عند مستويات طاقة أعلى، أي في مستويات أبعد عن النواة. ولأن الطاقة مكماة وترتبط برقم المستوى، فإن طاقة المستوى مكماة أيضًا. يعرف نموذج الذرة الذي تم وصفه آنفًا، والذي يبين وجود نواة مركزية وإلكترونات لها مستويات طاقة مكماة تدور حولها بنموذج بور للذرة.

إذا كان بور مصيبًا في افتراضه، فإن الذرات المستقرة لا تبعث طاقة، فمن المسؤول إذًا عن طيف الانبعاث المميِّز للذرة؟ للإجابة عن هذا السؤال، اقترح بور أن طاقة كهرومغناطيسية تنبعث عندما تتغير حالة الذرة من حالة استقرار إلى حالة استقرار أخرى. ومن نظرية التأثير الكهروضوئي لأينشتاين، أدرك بور أن طاقة كل فوتون تعطى بالمعادلة $E_{\text{فوتون}} = hf$، ثم افتَرَض أنه عندما تمتص الذرة فوتونًا، فإنها تصبح مثارة، وتزداد طاقتها بمقدار يساوي طاقة ذلك الفوتون، ثم تنتقل هذه الذرة المثارة إلى مستوى طاقة أقل عندما تشع فوتون.



الشكل 9–2 هذه الدرجات التي يتناقص البعد بينها تماثل مستويات الطاقة المتاحة في الذرة. لاحظ كيف أن فرق الطاقة بين مستويات الطاقة المتجاورة يتناقص كلما زاد بعد مستوى الطاقة عن النواة.

عندما يحدث انتقال في الذرة من مستوى طاقة ابتدائي E_i، إلى مستوى طاقة نهائي E_f فإن التغير في طاقة الذرة ΔE يعطى بالمعادلة:

$$\Delta E_{\text{ذرة}} = E_f - E_i$$

كما هو موضح في **الشكل 10–2**، فإن التغير في طاقة الذرة يساوي طاقة الفوتون المنبعث.

$$E_{\text{فوتون}} = |\Delta E|_{\text{ذرة}} \quad \text{أو}$$
$$E_{\text{فوتون}} = |E_f - E_i|$$

تلخّص المعادلات أدناه العلاقات بين التغير في حالات الطاقة للذرة، وطاقة الفوتون المنبعث.

طاقة الفوتون المنبعث $E_{\text{فوتون}} = \Delta E_{\text{ذرة}}$ أو $E_{\text{فوتون}} = hf$

طاقة الفوتون المنبعث، تساوي حاصل ضرب ثابت بلانك في تردد الفوتون المنبعث.
طاقة الفوتون المنبعث تساوي النقص في طاقة الذرة.

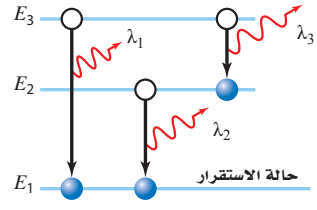
$E_{1\,\text{فوتون}} = |E_1 - E_3|$

$E_{2\,\text{فوتون}} = |E_1 - E_2|$

$E_{3\,\text{فوتون}} = |E_2 - E_3|$

$E_{1\,\text{فوتون}} > E_{2\,\text{فوتون}} > E_{3\,\text{فوتون}}$

$\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$



الشكل 10–2 طاقة الفوتون المنبعث تساوي الفرق في الطاقة بين مستويات الطاقة الابتدائية، والنهائية للذرة.

تنبؤات نموذج بور Predictions of the Bohr Model

استخدم بور نظريته لحساب الأطوال الموجية للضوء المنبعث من ذرة الهيدروجين، فكانت الحسابات متوافقة تمامًا مع قيم مقيسة حددها علماء آخرون. ونتيجة ذلك تم قبول نموذج بور على نطاقٍ واسع. لكن لسوء الحظ فقد انطبق هذا النموذج على ذرة الهيدروجين فقط، ولم يكن باستطاعته توقع طيف الهيليوم الذي يمثل العنصر البسيط التالي بعد الهيدروجين. إضافة إلى ذلك، لم يقدم النموذج تفسيرًا جيدًا لبعض المسائل، مثل لماذا يمكن تطبيق قوانين الكهرومغناطيسية في كل مكان، إلا داخل الذرة. لذلك لم يكن بور نفسه يعتقد أن نموذجه يمثل نظرية متكاملة عن تركيب الذرة. وعلى الرغم من عيوب نموذج بور، فإنه يصف مستويات الطاقة والأطوال الموجية للضوء المنبعث، والممتص من ذرات الهيدروجين بصورة جيدة.

تطوّر نموذج بور طوّر بور نموذجه بتطبيق قانون نيوتن الثاني في الحركة $F_{\text{محصلة}} = ma$ على الإلكترون، والقوة المحصلة المحسوبة، بوساطة قانون كولوم للتفاعل بين الإلكترون ذي الشحنة $-q$ والبروتون ذي الشحنة $+q$ على بعد r احدهما من الآخر؛ حيث تحسب القوة بالمعادلة: $F = Kq^2/r^2$. إن تسارع الإلكترون في مدار دائري حول البروتون الذي كتلته أكبر كثيرًا من كتلة الإلكترون يعطى بالمعادلة: $a = v^2/r$. وهكذا حصل بور على العلاقة:

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

في المعادلة أعلاه K، تمثل ثابت كولوم، وقيمته $9.0 \times 10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2$

أخذ بور بعد ذلك في الحسبان الزخم الزاوي للإلكترون الذي يدور حول النواة، والذي يساوي حاصل ضرب الزخم الخطي للإلكترون mv في نصف قطر مساره الدائريّ r، فتوصل إلى أن الزخم الزاوي للإلكترون يعطى بالعلاقة mvr. ثم افترض أن الزخم الزاوي للإلكترون له قيم محددة، وأن تلك القيم المسموح بها تكون مضروبة في المقدار $h/2\pi$؛ حيث h ثابت بلانك. وباستخدام n لتمثل عددًا صحيحًا، اقترح بور أن $mvr = nh/2\pi$. وباستخدام العلاقة $\frac{Kq^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ وإعادة ترتيب معادلة الزخم الزاوي، وجد بور أن أنصاف أقطار مستوَيات الإلكترونات في ذرة الهيدروجين تعطى بالمعادلة:

نصف قطر مستوى إلكترون ذرة الهيدروجين $r_n = \frac{h^2 n^2}{4\pi^2 K m q^2}$

إن نصف قطر مستوى n للإلكترون يساوي حاصل ضرب مربع ثابت بلانك في مربع العدد الصحيح n مقسومًا على الكمية المتكوّنة من حاصل ضرب 4 ومربع π، مضروبة في الثابت K، مضروبة بكتلة الإلكترون ومربع شحنته.

تستطيع حساب نصف قطر المستوى الأقرب إلى النواة في ذرة الهيدروجين – الذي يعرف أيضًا بنصف قطر بور – وذلك بتعويض القيم المعلومة وقيمة $n = 1$ في المعادلة أعلاه.

$$r_1 = \frac{(6.626\times10^{-34}\ \text{J.s})^2(1)^2}{4\pi^2(9.0\times10^{9}\ \text{N.m}^2/\text{C}^2)(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(1.60\times10^{-19}\text{C})^2}$$

$$= 5.3\times10^{-11}\ \text{J}^2.\ \text{s}^2/\text{N}.\ \text{m}^2.\ \text{kg}$$

$$= 5.3\times10^{-11}\ \text{m} \quad \text{أو} \quad 0.053\ \text{nm}$$

وبصورة عامة فإن نصف قطر أي مدار مسموح به في ذرة الهيدروجين يعطي من العلاقة:

$$r_n = 5.3\times10^{-11}\ n^2\ \text{m}$$

بتطبيق قوانين الجبر البسيطة، تستطيع التوصل إلى أن الطاقة الكلية للذرة يعبر عنها بحاصل جمع طاقة حركة الإلكترون، وطاقة وضعه، وتعطى بالمعادلة: $-Kq^2/2r$ وتمثل بالمعادلة:

$$E_n = -\frac{2\pi^2 K^2 m q^4}{h^2}\times\frac{1}{n^2}$$

وبتعويض القيم العددية للثوابت وبالتحويل لوحدات الإلكترون فولت يمكن حساب طاقة ذرة الهيدروجين بالعلاقة:

طاقة ذرة الهيدروجين $E_n = -\frac{13.6}{n^2}\text{eV}$

الطاقة الكلية بوحدة الإلكترون فولت لذرة عدد الكم الرئيسي لها n، تساوي حاصل قسمة 13.6– على n^2.

إن كلًّا من نصف قطر المستوى للإلكترون وطاقة الذرة مكماة. ويسمى العدد الصحيح n الذي يظهر في المعادلات **عدد الكم الرئيس**، ويمكن من خلاله حساب القيم المكماة لكل من r و E.

تجربة

طيف الضوء اللامع (الساطع)

شغل مصدر القدرة المتصل مع أنبوب تفريغ الغاز بحيث يضيء الأنبوب.

تحذير: احمل أنبوب الغاز بحذر شديد لتتجنب تحطمه، ولا تلمس أي فلز معرضًا للإضاءة في أثناء تشغيل مصدر القدرة؛ لأن فرق الجهد المستخدم خطر. وقم دائمًا بفصل مصدر القدرة قبل تغيير أنابيب الغاز.

أطفئ أنوار الغرفة

1. **صف** اللون الذي تلاحظه.
2. **لاحظ** أنبوب غاز التفريغ من خلال محزوز الحيود.
3. **اختبر** نتائج مشاهدة أنبوب غاز التفريغ من خلال محزوز الحيود.
4. **توقع** ما إذا كان الطيف الملاحظ سيتغير عندما تتم مشاهدة أنبوب غاز التفريغ من خلال محزوز الحيود.
5. **اختبر** توقعاتك.

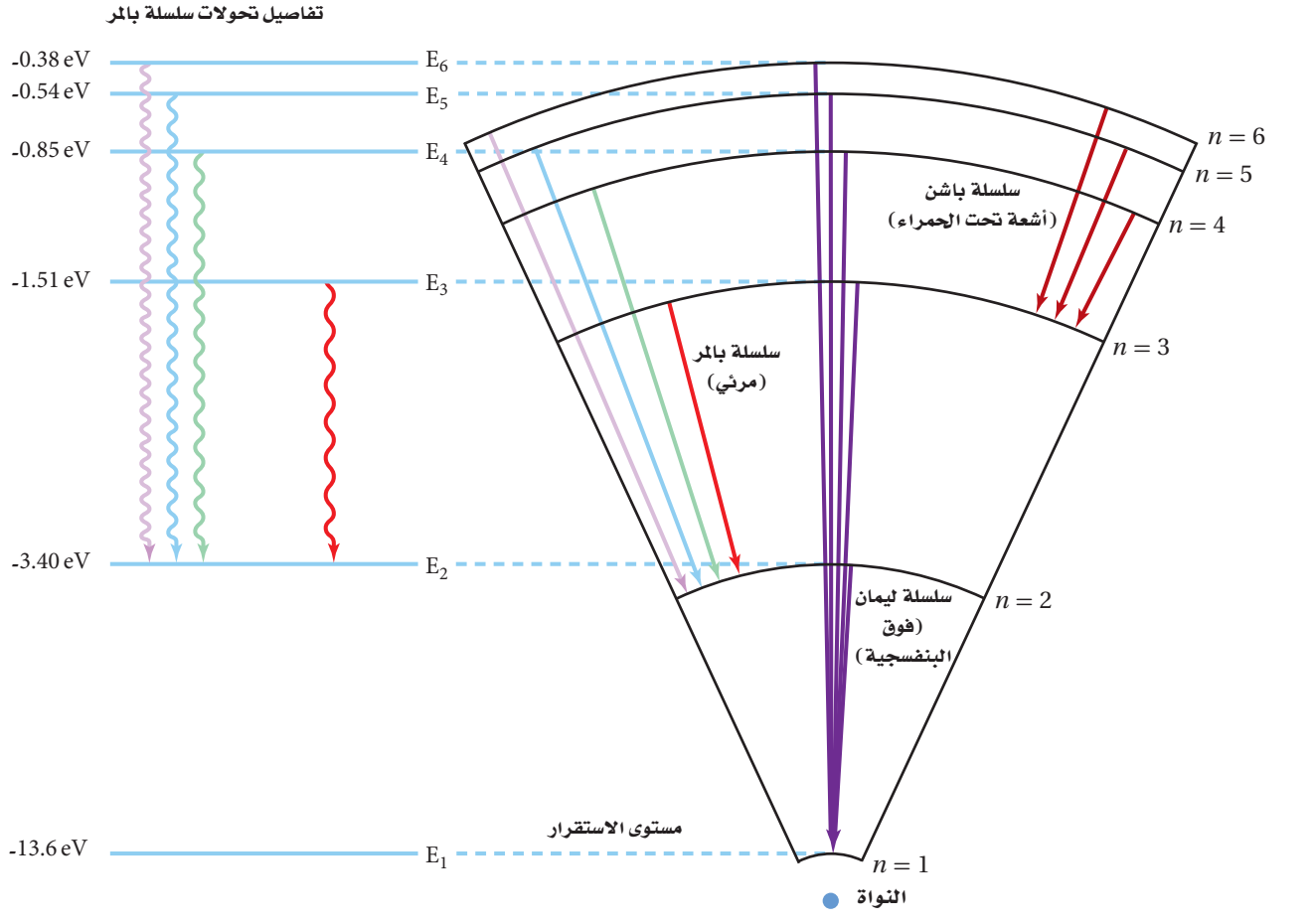
التحليل والاستنتاج

6. **اختبر** نتائج مشاهدة أنبوب غاز التفريغ من خلال محزوز الحيود.
7. **فسر** سبب وجود اختلاف بين الطيفين.

الطاقـة وانتقـال الإلكترون ربما تتسـاءل، لماذا تكون طاقة الذرة في نمـوذج بور ذات قيمة سـالبة؟ تذكر مما درسـت أن فروق الطاقة فقط تكون ذات معنى. وطاقة مستوى اللانهاية يمكـن اعتبارهـا صفرًا، وتسـمى الطاقة الصفريـة، وتعرّف بأنها طاقة الـذرة عندما يكون الإلكـترون بعيـدًا جدًّا عن الذرة، وليس له طاقة حركـة. وتحدث هذه الحالة عندما تصبح الـذرة متأينـة، أي عندما يُنزع الكترون من الذرة. ولأنه يجب بذل شـغل لتأيين الذرة، فإن طاقـة الذرة مع الإلكـترون الدائر فيها يجب أن يكون أقل من صفر، لذلك فإن طاقة الذرة ذات قيمة سـالبة. وعندما يحدث انتقال في الذرة من مسـتوى طاقة أقل إلى مسـتوى طاقة أعلى، فإن الطاقة الكلية تصبح أقل سالبية، ولكن مجموع التغير الكلي في الطاقة يبقى موجبًا.

بعض مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين، ومستويات الطاقة التي قد يتم الانتقال إليها وفقاً لسلاسلها والموضّحة في **الشكل 11–2**. لاحظ أن ذرة الهيدروجين المثارة يمكنها أن تبعث مدى واسعًا من الطاقة الكهرومغناطيسية، كالأشعة تحت الحمراء، والضوء المرئي، أو الأشعة البنفسجية بحسب حالات الانتقال التي تحدث؛ حيث تنبعث الأشعة فوق البنفسجية عندما ينتقل إلكترون من مستوى حالة الإثارة إلى مستوى الطاقة الأول. وتنتج الخطوط الأربعة المرئيـة في طيـف الهيدروجين، عندما يحـدث الانتقال في الذرة من مسـتوى الطاقة $n = 3$ أو مستوى أعلى، إلى مستوى الطاقة $n = 2$.

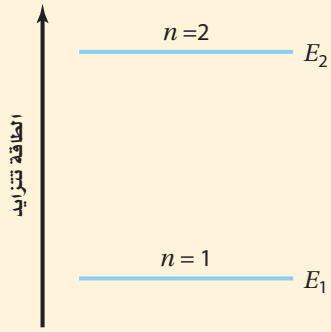
الشـكل 11–2 تعـرف مجموعـة الخطوط الملونة التي تكوّن طيـف ذرة الهيدروجين المرئي بسلسلة بالمر. إن هذا الضوء المرئي ناتج عن الفوتونات المنبعثة عندما تعود الإلكترونات إلى مستوى الطاقة الثاني $n = 2$. وتنبعث الأشعة فوق البنفسجية (سلسلة ليمان) عندما تعود الإلكترونات إلى مستوى الطاقة الأول، وتنبعث الأشعة تحت الحمراء (سلسلة باشن) عندما تعود الإلكترونات إلى مستوى الطاقة الثالث $n=3$.



مثـــــال 1

مستويات الطاقة عندما تمتص ذرة الهيدروجين كمية محددة من الطاقة، فإنها تسبب انتقال إلكترونها من مستوى الطاقة الأدنى إلى مستوى طاقة أعلى، احسب طاقة كل من مستوى الطاقة الأول ومستوى الطاقة الثاني، ثم احسب الطاقة الممتصة بوساطة الذرة.

1 تحليل المسألة ورسمها



- مثّل بالرسم مستويات الطاقة E_1 و E_2.
- وضح اتجاه تزايد الطاقة في الرسم التوضيحي.

المعلوم	المجهول
عدد الكم لمستوى الطاقة الأول $n = 1$	$E_1 = ?$
عدد الكم لمستوى الطاقة الثاني $n = 2$	$E_2 = ?$
	$\Delta E = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة طاقة الإلكترون في مستواه، لحساب طاقة كل مستوى.

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2}\ \text{eV}$$

بالتعويض عن $n = 1$

$$E_1 = -\frac{13.6}{(1)^2}\ \text{eV}$$

$$E_1 = -13.6\ \text{eV}$$

$$E_2 = -\frac{13.6}{(2)^2}\ \text{eV}$$

$$E_2 = -3.40\ \text{eV}$$

إن الطاقة الممتصة بوساطة الذرة ΔE، تساوي فرق الطاقة بين مستوى الطاقة النهائي للذرة E_f ومستوى الطاقة الأوليّ للذرة E_i.

بالتعويض عن $E_f = E_2$ ، $E_i = E_1$

بالتعويض عن $E_2 = -3.40\ \text{eV}$ ، $E_1 = -13.6\ \text{eV}$

$$\Delta E = E_f - E_i$$

$$= E_2 - E_1$$

$$= -3.40\ \text{eV} - (-13.6\ \text{eV})$$

$$= 10.2\ \text{eV}$$

الطاقة الممتصة

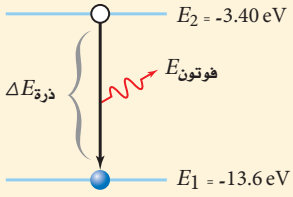
3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** إن قيم طاقة المستويات يجب أن تقاس بوحدة الإلكترون فولت.
- **هل الإشارة صحيحة؟** إن فرق الطاقة موجب عندما تتحرك الإلكترونات من مستويات طاقة منخفضة إلى مستويات طاقة أعلى.
- **هل الجواب منطقي؟** إن الطاقة اللازمة لتحريك إلكترون من مستوى الطاقة الأول إلى مستوى الطاقة الثاني يجب أن يساوي 10 eV تقريبًا، وهذا يساوي الطاقة المطلوبة.

مثـــــال 2

تردد وطول موجة الفوتونات المنبعثة ينتقل إلكترون ذرة هيدروجين مثارة من مستوى الطاقة الثاني $n = 2$، إلى مستوى الطاقة الأول $n = 1$؛ احسب الطاقة والطول الموجي للفوتون المنبعث. استخدم قيم E_1 و E_2 من المثال 1.

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم رسمًا توضيحيًّا مستويات الطاقة E_1 و E_2 .
- وضّح اتجاه تزايد الطاقة، ووضح انبعاث الفوتون في الرسم.

المعلوم	المجهول
$E_1 = -13.6\ \text{eV}$	$f = ?$
$E_2 = -3.40\ \text{eV}$	$\lambda = ?$
	$\Delta E = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

طاقة الفوتون المنبعث تساوي ΔE، فرق الطاقة بين مستوى الطاقة الثاني للذرة E_f، ومستوى الطاقة الأول لها E_i.

$$\Delta E = E_f - E_i$$

بالتعويض عن $E_i = E_2$ ، $E_f = E_1$

$$= E_1 - E_2$$

بالتعويض عن $E_2 = -3.40\ \text{eV}$ ، $E_1 = -13.6\ \text{eV}$

$$= -13.6\ \text{eV} - (-3.40\ \text{eV})$$

$$= -10.2\ \text{eV}$$ الطاقة المنبعثة

لحساب الطول الموجي للفوتون، استخدم المعادلات الآتية:

حل معادلة الفوتون بالنسبة للتردد

$|\Delta E| = hf$، لذا فإن $f = \frac{|\Delta E|}{h}$

حل معادلة الطول الموجي - التردد بالنسبة للطول الموجي

$c = \lambda f$، لذا فإن $\lambda = \frac{c}{f}$

بالتعويض عن $f = \frac{|\Delta E|}{h}$

$$\lambda = \frac{c}{(|\Delta E|/h)}$$

بالتعويض عن $hc = 1240\ \text{eV.nm}$ ، $|\Delta E| = 10.2\ \text{eV}$

$$= \frac{1240\ \text{eV. nm}}{10.2\ \text{eV}}$$

$$= 122\ \text{nm}$$

3 تقويم الجواب

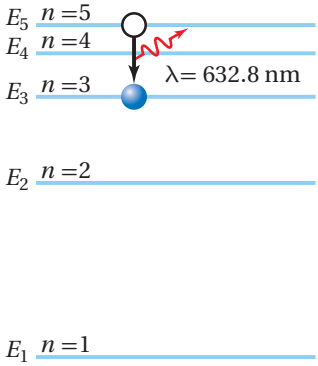
- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الطاقة بوحدة الإلكترون فولت. البادئة نانو تعدّل إلى وحدة متر، وهي وحدة القياس الأساسية في النظام الدولي للوحدات SI. والتي تمثل الوحدة الصحيحة للطول الموجي.
- **هل الإشارة صحيحة؟** تنتج الطاقة عندما تبعث الذرة فوتونًا خلال عملية الانتقال من مستوى الطاقة الثاني إلى مستوى الطاقة الأول، ولذلك فإن فرق الطاقة سالب.
- **هل الجواب منطقي؟** الطاقة الناتجة عن عملية الانتقال تنتج ضوءًا في مدى الأشعة فوق البنفسجية، وهو أقل من 400 nm

مسائل تدريبية

1. احسب فرق الطاقة بين مستوى الطاقة E_3 ومستوى الطاقة E_2 في ذرة الهيدروجين.
2. قطر نواة ذرة الهيدروجين $2.5 \times 10^{-15}\ \text{m}$، والمسافة بين النواة والإلكترون الأول $5 \times 10^{-11}\ \text{m}$ تقريبًا. إذا استخدمت كرة قطرها 7.5 cm لتمثل النواة فكم يكون بُعد الإلكترون؟
3. في عملية انتقال محدد، تسقط طاقة ذرة الزئبق من مستوى طاقة 8.82 eV إلى مستوى طاقة 6.67 eV احسب:
   a. طاقة الفوتون المنبعث من ذرة الزئبق.
   b. الطول الموجي للفوتون المنبعث من ذرة الزئبق.

مسألة تحدٍّ

على الرغم من تفسير نموذج بور للذرة، وبدقة لسلوك ذرة الهيدروجين، إلا أنه لم يكن قادرًا على تفسير سلوك أي ذرة أخرى. تحقق من جوانب القصور في نموذج بور؛ وذلك بتحليل انتقال إلكترون في ذرة النيون. فخلافًا لذرة الهيدروجين، فإن لذرة النيون عشرة إلكترونات، وأحد هذه الإلكترونات ينتقل بين مستوى الطاقة $n = 5$، ومستوى الطاقة $n = 3$، باعثًا فوتونًا في هذه العملية.



1. اعتبر أنه يمكن معاملة إلكترون ذرة النيون، كإلكترون في ذرة الهيدروجين، فما طاقة الفوتون التي يتوقعها نموذج بور؟
2. اعتبر أنه يمكن معاملة إلكترون ذرة النيون، كإلكترون في ذرة الهيدروجين، فما الطول الموجي الذي يتنبأ به نموذج بور؟
3. الطول الموجي الحقيقي للفوتون المنبعث خلال عملية الانتقال 632.8 nm، ما نسبة الخطأ المئوي لتنبؤ نموذج بور للطول الموجي للفوتون؟

يعدّ نموذج بور الأساس الذي مكّن العلماء من فهم تركيب الذرة، بالإضافة إلى حساب طيف الانبعاث، كان بور وطلبته قادرين على حساب طاقة التأين لذرة الهيدروجين. وطاقة تأين الذرة هي الطاقة اللازمة لتحرير إلكترون بصورة كاملة من الذرة وقد اتفقت طاقة التأين المحسوبة بصورة كبيرة مع النتائج العملية. وقدم نموذج بور أيضًا توضيحًا لبعض الخصائص الكيميائية للعناصر. إن الفكرة التي تبيّن أن للذرات ترتيبات إلكترونية خاصة بكل عنصر، تعدّ الأساس لمعظم معرفتنا بالتفاعلات والروابط الكيميائية.

حاز العالم نيلز بور على جائزة نوبل عام 1922م وتم تخليد إنجازاته في إصدار بعض الطوابع البريدية الموضحة في **الشكل 12–2** .

الشكل 12–2 التكريم في هذه الطوابع البريدية من الدنمارك، والسويد؛ فقد ساهمت إنجازات نيلز بور العظيمة على فهمنا للذرة، وقد حصل بها على اعتراف عالمي وعلى جائزة نوبل.

1–2 مراجعة

4. **نموذج رذرفورد النووي** لخص تركيب الذرة بناء على نموذج رذرفورد النووي.
5. **الأطياف** فيم تختلف أطياف الانبعاث الذرية للمواد الصلبة المتوهجة والغازات، وفيم تتشابه؟
6. **نموذج بور** فسّر كيف تحفظ الطاقة عندما تمتص ذرة فوتون ضوء؟
7. **نصف قطر المستوى** يسلك أيون الهيليوم سلوك ذرة الهيدروجين، ونصف قطر مستوى طاقة الأيون الأدنى يساوي 0.0265 nm، اعتمادًا على نموذج بور، ما مقدار نصف قطر مستوى الطاقة الثاني؟
8. **طيف الامتصاص** وضح كيفية الحصول على طيف الامتصاص لغاز ما. وضح أسباب ظهور الطيف.
9. **نموذج بور** تم الكشف عن تحوّل ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة 101، إلى مستوى الطاقة 100، ما مقدار الطول الموجي للإشعاع؟ أين يقع هذا الانبعاث في الطيف الكهرومغناطيسي؟
10. **التفكير الناقد** نصف قطر نواة ذرة الهيدروجين 1.5×10^{-15} m تقريبًا. إذا كنت راغبًا في بناء نموذج لذرة الهيدروجين، باستخدام كرة بلاستيك $(r = 5\ \text{cm})$ تمثل النواة، فأين تضع إلكترونًا في مستوى $n = 1$؟ هل يكون موقعه في غرفة صفك؟

لم يكن بالإمكان تفسير الفرضيات التي قدمها بور على أساس المبادئ الفيزيائية المقبولة في تلك الفترة؛ فالنظرية الكهرومغناطيسية مثلاً، تتطلب أن تبعث الجسيمات المتسارعة طاقة، مما يؤدي إلى إنهيار سريع للذرة. كما أن الفكرة التي تقول إن الإلكترون الذي يدور له مستوى طاقة محدد، بنصف قطر معين، تتعارض مع مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج. فكيف يمكن وضع نموذج بور على أساس متين؟

الأهداف

- **تصف** أوجه القصور في نموذج بور الذري.
- **تصف** النموذج الكمي للذرة.
- **توضح** كيف يعمل الليزر.
- **تصف** خصائص ضوء الليزر.

المفردات

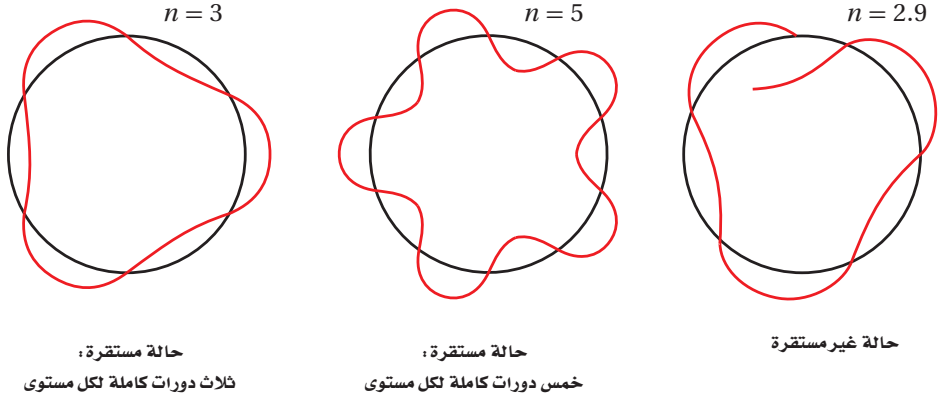
النموذج الكمي
السحابة الإلكترونية
ميكانيكا الكم
الضوء المترابط
الضوء غير المترابط
الانبعاث المحفز
الليزر

من مستويات الطاقة إلى السحابة الإلكترونية

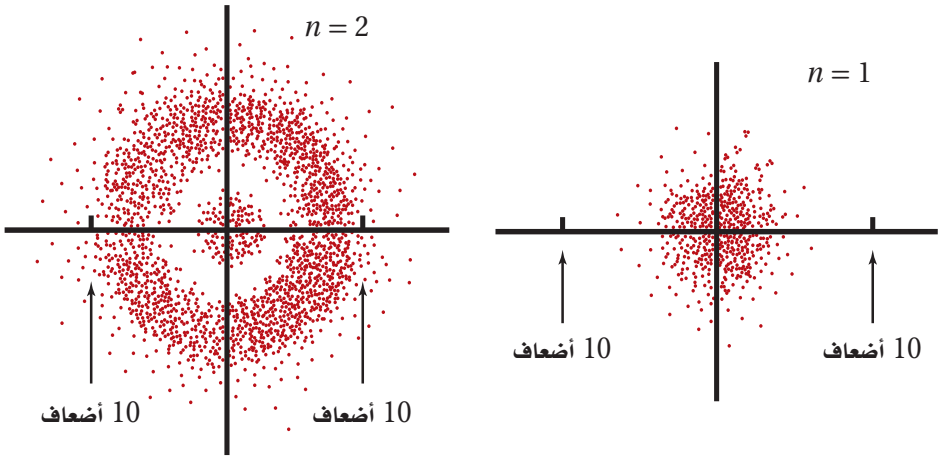
From Orbits to an Electron Cloud

تذكر من الفصل السابق أن دي برولي اقترح أن للجسيمات خصائص موجية، تمامًا كما للضوء خصائص جسيمية. يمكن حساب طول موجة دي برولي لجسيم زخمه الخطي mv باستخدام المعادلة: $\lambda = \frac{h}{mv}$ وبضرب طرفي المعادلة بنصف قطر المستوى r نحصل على الزخم الزاوي من المعادلة: $mvr = \frac{hr}{\lambda}$ ، وبحسب نموذج بور، فإن للزخم الزاوي قيمًا محددة تعطى من المعادلة: $mvr = \frac{nh}{2\pi}$، وبمساواة المعادلتين نحصل على: $n\lambda = 2\pi r$

أي أن محيط مستوى الطاقة في نموذج بور $2\pi r$ يساوي العدد الصحيح n مضروبًا في طول موجة دي برولي λ، و**الشكل 13–2** يوضح هذه العلاقة. استخدم العالم النمساوي إيرن شرودنجر عام 1926م نموذج موجة دي برولي للوصول إلى نظرية الكم للذرة. هذه النظرية لم تعتمد على نموذج رذرفورد البسيط للذرة، كما فعل نموذج بور، وخاصة أن نصف قطر مسار الإلكترون لم يكن يشبه نصف قطر مدار الكوكب حول الشمس. كما أن مبدأ عدم التحديد يشير إلى أنه من المستحيل معرفة كل من موقع وزخم إلكترون في اللحظة نفسها، لذا فإن **النموذج الكمي** يتوقع احتمالية وجود الإلكترون في منطقة محددة فقط. ومن المثير للاهتمام أن النموذج الكمي للذرة تنبأ بأن المسافة الأكثر احتمالية بين الإلكترون والنواة لذرة الهيدروجين، هي نصف القطر نفسه الذي تم توقعه من خلال نموذج بور.



الشكل 13–2 للإلكترون الذي له مستوى مستقر حول النواة محيط يساوي حاصل ضرب العدد الصحيح n في طول موجة دي برولي. لاحظ أن العدد الصحيح $n = 3$ و $n = 5$ مستقران، بينما $n = 2.9$ غير مستقر.



الشكل 14–2 هذه الرسومات تظهر احتمالية وجود الإلكترون في ذرة الهيدروجين عند مسافة تساوي عشرة أضعاف نصف قطر بور من النواة لكل من مستويي الطاقة الأول والثاني. كثافة توزيع النقاط ترتبط مع احتمالية وجود الإلكترون.

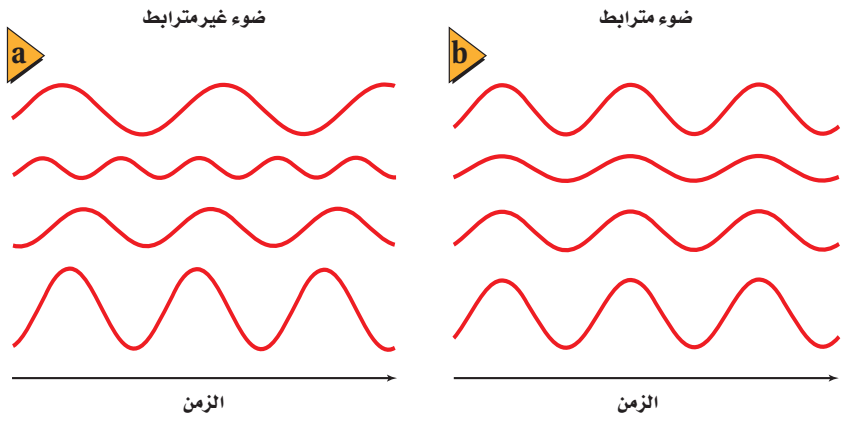
إن احتمالية وجود الإلكترون عند نصف قطر محدد يمكن حسابه ، وكذلك يمكن تكوين تمثيل ثلاثي الأبعاد لتوضيح مناطق الاحتمالات المتساوية. والمنطقة ذات الاحتمالية العالية لوجود الإلكترون فيها تسمى **سحابة إلكترونية**. و**الشكل 14–2** يوضح مقطعًا لسحابة إلكترونية تمثل حالتي الطاقة الأقل في ذرة الهيدروجين.

وعلى الرغم من صعوبة تصور النموذج الكمي للذرة، فإن **ميكانيكا الكم** – وهي دراسة خصائص المادة باستخدام خصائصها الموجية– قد حققت نجاحًا هائلاً في توقع الكثير من المعلومات التفصيلية لتركيب الذرة؛ فقد كان من الصعب جدًّا حساب تلك التفاصيل بدقة إلا للذرات البسيطة؛ وكانت الحسابات التقريبية العالية الدقة للذرات الثقيلة تتم من خلال الحواسيب المتطورة فقط. لكن ميكانيكا الكم تمكنت من جعل تراكيب بعض الجزيئات قابلة للحساب، مما أتاح للكيميائيين القدرة على تحديد ترتيب الذرات في الجزيئات.

واسترشادًا بميكانيكا الكم، استطاع الكيميائيون تحضير جزيئات جديدة ومفيدة لم تكن موجودة أصلاً في الطبيعة. وتستخدم ميكانيكا الكم أيضًا؛ لتحليل تفاصيل امتصاص وانبعاث الضوء من الذرات. ونتيجة لنظرية ميكانيكا الكم، تم تطوير مصدر جديد للضوء.

الليزر Light amplification by stimulated emission of radiaion

كما تعلم، فإن الضوء المنبعث عن مصدر متوهج يتكون من سلسلة متتالية من الأطوال الموجية، في حين أن الضوء الناتج عن الغاز الذري يتكون من بعض الأطوال الموجية المميزة للغاز. إن الضوء المنبعث من كلا المصدرين ينتقل في جميع الاتجاهات. وبالإضافة إلى ذلك فإنه ليس من الضرورة أن تنتقل الموجات الضوئية المنبعثة من الذرات عند إحدى نهايتي أنبوب غاز التفريغ بالطور نفسه، أو أن تتزامن الموجات مع موجات الطرف الآخر للأنبوب. لذلك فليس من الضرورة تواجد جميع الموجات عند النقطة نفسها في اللحظة نفسها خلال دورتها. وتذكّر مما درسته سابقًا، أن الموجات التي تنتقل بالطور نفسه وتتوافق عند الحدود الدنيا، والحدود القصوى تكون مترابطة.



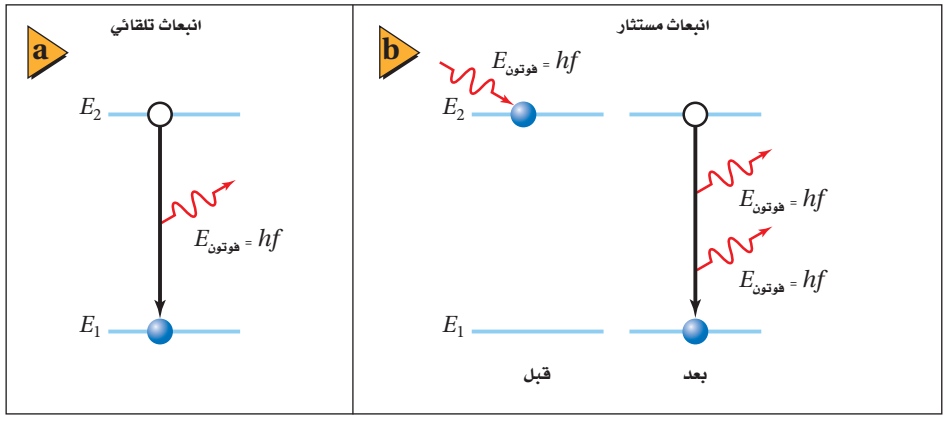
■ **الشكل 15–2** يوضح موجات الضوء غير المترابطة (a) وموجات الضوء المترابطة (b).

ويشار إلى أن موجات الضوء المترابطة تكون **ضوءًا مترابطا**، بينما تنتج موجات الضوء المختلفة في الطور **ضوءًا غير مترابط**. ويوضح **الشكل 15–2** نوعي هذه الموجات.

ينبعث الضوء من الذرات المثارة. وقد درست حتى الآن طريقتين يمكن أن تثار بهما الذرات، وهما الإثارة الحرارية، وتصادم الإلكترون. لكن يمكن للذرات أن تثار أيضًا نتيجة تصادمها مع فوتونات ذات طاقة محددة.

الانبعاث التلقائي ماذا يحدث بعد أن تصبح الذرة في حالة إثارة؟ تعود الذرة بعد وقت قصير عادة إلى حالتها المستقرة، باعثة فوتونًا له الطاقة نفسها التي كان قد امتصها، كما هو موضح في **الشكل 16a–2**، وهذه العملية تسمى الانبعاث التلقائي.

الانبعاث المستثار فكّر أينشتاين عام 1917م فيما يحدث لذرة مثارة أصلاً، اصطدم بها بفوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين حالة الإثارة وحالة مستقرة، فبيّن حينها أن هذه الحالة للذرة تسمى **الانبعاث المستثار**؛ حيث تعود الذرة إلى الحالة المستقرة، وتبعث بفوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين الحالتين. بينما لا يتأثر الفوتون الذي سبّب أو استثار الانبعاث. ثم يغادران الذرة معًا ليس بالتردد نفسه فقط، بل يكون لهما الطور نفسه، ويكونان مترابطان كذلك كما هو موضح في **الشكل 16b–2**، وقد يصطدم أي من هذين الفوتونين بذرات أخرى مثارة، ومن ثم ينتج فوتونات أخرى؛ بحيث يكون لها الطور نفسه مع الفوتونات الأصلية. وقد تستمر هذه العملية، منتجة سيلاً من الفوتونات التي لها الطول الموجي نفسه حيث يكون لها جميعا حدود قصوى، وحدود دنيا في اللحظة نفسها.



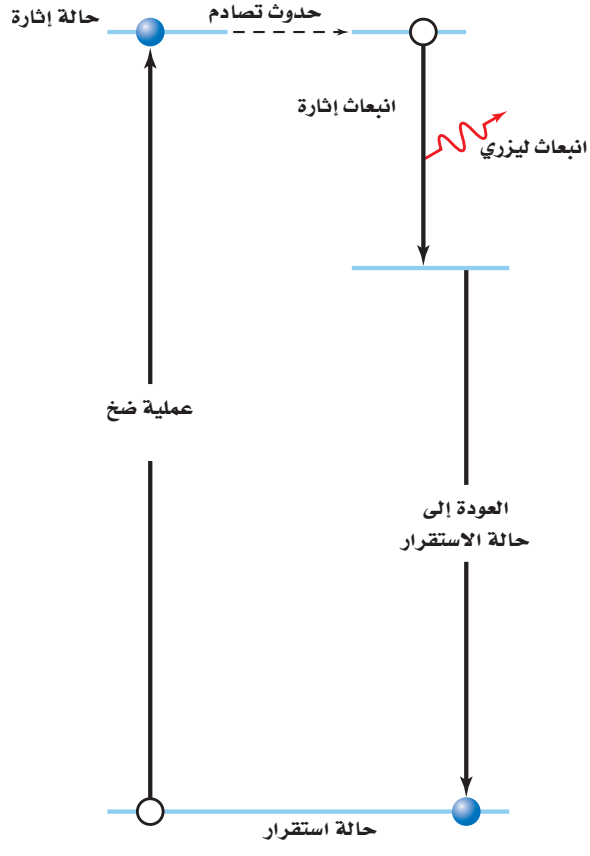
■ **الشكل 16–2** خلال الانبعاث التلقائي، ينتقل إلكترون من حالة الإثارة E_2 إلى حالة الاستقرار E_1. فينبعث تلقائيًا فوتون طاقته $(a)\ hf$. وخلال الانبعاث المستثار يصطدم فوتون ساقط طاقته $|E_2 - E_1|$ بذرة فتنتقل إلى حالة الاستقرار، وتبعث فوتونًا ويغادر كل من الفوتون الساقط والفوتون المنبعث ويكون لهما الطاقة نفسها (b).

ولكي يحدث الانبعاث المستثار فإنه ينبغي أن تتحقق الشروط التالية: أولاً: يجب أن تكون هناك ذرات أخرى مثارة. ثانيًا: يجب أن تبقى الذرات مثارة لفترة زمنية كافية حتى يحدث التصادم. ثالثًا: يجب السيطرة على الفوتونات وتوجيهها لتكون قادرة على إحداث تصادم مع الذرات المثارة.

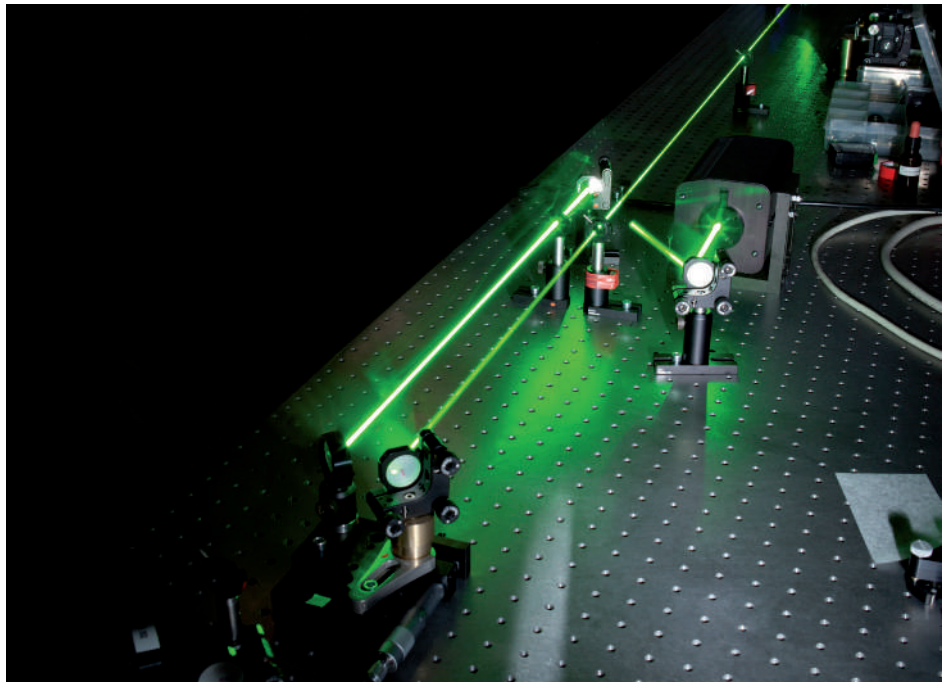
في عام 1959م، تم ابتكار أداة تسمى **ليزر**، وقد حققت جميع الشروط اللازمة لإنتاج ضوء مترابط. وكلمة ليزر هي اختصار للعبارة "تضخيم الضوء بوساطة الانبعاث المستثار للإشعاع". والذرة التي تبعث الضوء عندما تكون مثارة في الليزر تسمى ذرة ليزرية.

إثارة الذرة الذرات في الليزر يمكن أن تثار أو تضخ كما هو موضح في **الشكل 17–2**. حيث يمكن لومضة كثيفة من الضوء، ذات طول موجي أقصر من الليزر أن تستخدم لضخ الذرات. وتُنتج الفوتونات ذات الطول الموجي الأقصر، والطاقة الأكبر بوساطة الومضة التي تصطدم بذرات الليزر، لتصبح مثارة. وعندما تنتقل إحدى الذرات المثارة إلى مستوى الطاقة الأدنى بانبعاث فوتون يبدأ انبعاث سيل من الفوتونات. وهذه نتيجة عملية لانبعاث ومضة صغيرة أو نبضة من ضوء الليزر. كما يمكن للذرات الليزرية أن تثار نتيجة التصادم مع ذرات أخرى. ففي أجهزة ليزر هيليوم- نيون التي نشاهدها غالبًا في مختبرات العلوم، فإن التفريغ الكهربائي هو الذي يثير ذرات الهيليوم، حيث تصطدم ذرات الهيليوم المثارة مع ذرات النيون لتصبح مثارة، وتتحول إلى ذرات ليزرية. وضوء الليزر الناتج عن هذه العملية يكون مستمرًّا، وليس على شكل نبضات.

الشكل 17–2 عندما يصطدم فوتون، مع ذرة مثارة، فإنه يحفز الذرة لتبعث فوتونًا مترابطًا ثانيًا، لتعود الذرة إلى حالتها الأولى.



إنتاج الليزر الفوتونات المنبعثة من الذرات الليزرية تبقى محتواة عن طريق حصر تلك الذرات في أنبوب زجاجي على طرفيه المتقابلين مرايا مستوية متوازية، وسطوحها العاكسة متقابلة. إحدى هذه المرايا عاكسة بمقدار يزيد على 99.9%، وتعكس كل الضوء الساقط عليها تقريبًا، بينما المرآة الأخرى عاكسة جزئيًّا، وتسمح لـ 1% من الضوء الساقط عليها بالمرور من خلالها. حيث تنعكس الفوتونات التي تنبعث في اتجاه نهايتي الأنبوب مرتدة إلى الغاز بوساطة المرايا، وتصطدم الفوتونات المنعكسة بذرات أكثر، محرِّرة فوتونات أكثر عند كل عبور بين المرايا. وباستمرار العملية تتكوّن كثافة أكبر من الفوتونات، ثم تخرج الفوتونات من الأنبوب خلال مرآة جزئية الانعكاس، منتجة شعاع ليزر. **الشكل 18–2** يوضح الليزر المستخدم في المختبر.



■ **الشكل 18–2** ينتـج مصدر الأرجون هذا شعاعًا من ضوء مترابط.

ولأن جميع فوتونات الإثارة، تنبعث في الطور نفسه مع الفوتونات التي تصطدم بالذرات، فإن ضوء الليزر يكون مترابطًا. وكذلك فإن ضوء الليزر له الطول الموجي نفسه (أحادي اللون) بسبب انتقال الإلكترونات بين زوج واحد فقط من مستويات الطاقة، وفي نوع واحد من الذرات. المرايا المتوازية المستخدمة في الليزر والتي ينتج عنها انبعاث ضوء الليزر، تكون موجهة بدقة عالية جدًّا. ومن جهة أخرى، فإن ضوء الليزر لا ينحرف مهما ابتعد عن مصدره. ولأن شعاع الليزر التقليدي صغير جدًّا، لا يتجاوز قطر شعاعه 2 mm، فإن الضوء يكون عالي الكثافة. ويمكن تصنيع بعض المواد الصلبة والسائلة والغازية لتصبح ليزرية، من ناحية أخرى، فإن معظم المواد تنتج ضوء ليزر بطول موجي واحد. ويمكن إعادة ضبط الضوء الصادر من بعض مصادر الليزر على مدى معين من الأطوال الموجية.

تطبيقات الليزر Laser Applications

عندما تشغل جهاز تشغيل القرص المدمج CD أو DVD، فإنك بذلك تستخدم الليزر. وأجهزة الليزر هذه، تشبه تلك المستخدمة في مؤشرات الليزر، وهي مصنوعة من مواد صلبة شبه موصلة. فمصدر الليزر في مشغل القرص المدمج مصنوع من طبقات من زرنيخات الجاليوم (GaAs)، ومن الزرنيخ والجاليوم والألومونيوم GaAlAs، ويبلغ سمك الطبقة الليزرية 200 nm فقط، وطول كل جانب من البلورة (1–2 mm) فقط. وتضخ ذرات المادة شبه الموصلة الصلبة بوساطة تيار كهربائي، وتضخم الفوتونات الناتجة كلما ارتدت بين نهايات البلورة المصقولة. يوضح **الجدول 1–2** بعض مصادر الليزر الشائعة والطول الموجي، ونوع الليزر لكل منها.

جراحة العين بالليزر

يستخدم الليزر المثار في جراحة العين، لأن طاقة الفوتونات التي تبعثها قادرة على تدمير النسيج غير الطبيعي دون إحداث أذى بالأنسجة السليمة المحيطة. لذلك، فإن الجرّاح الماهر يستطيع باستخدام الليزر، إزالة طبقات رقيقة جدًا من الأنسجة لإعادة شكل الشبكية.

الجدول 1–2

مصادر الليزر الشائعة

المصدر	الطول الموجي (nm)	النوع
غاز فلوريد الكربتون (krF)	248 (فوق بنفسجي)	نبض
غاز نيتروجين (N_2)	337 (فوق بنفسجي)	نبض
بلورة نيتريد الجاليوم والإنديوم (InGaN)	420	مستمر
أيون الأرجون (Ar^+)	476.5، 488.0، 514.5	مستمر
غاز النيون (Ne)	632.8	مستمر
بلورة الزرنيخ والجاليوم والألومنيوم (GaAlAs)	635، 680	مستمر
بلورة زرنيخات الجاليوم (GaAs)	840–1350 (تحت حمراء)	مستمر
بلورة النيوديميوم (Nd)	1064 (تحت حمراء)	نبض
غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2)	10600 (تحت حمراء)	مستمر

على الرغم من قلة فاعلية معظم مواد الليزر إلا أن خصائصه المميزة كعدم تشتته عند قطع المسافات الطويلة، وكون حزمة الليزر ضيقة وموجهة بدقة كبيرة جعلته يدخل في بعض التطبيقات كاختبار استقامة الأنفاق والأنابيب.

عندما هبط رواد الفضاء على سطح القمر، قاموا بتثبيت مرايا على سطحه، وهذه المرايا استخدمت لتعكس حزم الليزر التي ترسل من الأرض، وبذلك أمكن حساب المسافة بين القمر والأرض بدقة عالية، وكذلك تتبع مواقع القمر من مناطق مختلفة على الأرض، وقياس حركة الصفائح التكتونية الأرضية.

يستخدم ضوء الليزر بصورة شائعة في اتصالات الألياف البصرية؛ حيث يعمل سلك الليف البصري على الانعكاسات الداخلية الكلية، لنقل الضوء لمسافات طويلة بخسارة بسيطة لطاقة الإشارة. وقد حلت الألياف البصرية على مستوى العالم محل الأسلاك النحاسية لنقل المكالمات التليفونية، وبيانات الحاسوب، أو حتى الصور التليفزيونية.

الشكل 19–2 فوتونات الأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من جهاز الليزر هذا قادرة على نزع إلكترونات من ذرات أنسجة الهدف. فتحطم الفوتونات الروابط الكيميائية وتبخر الأنسجة.

وكذلك، فإن الطول الموجي الأحادي للضوء الصادر عن أجهزة الليزر، يجعلها تستخدم في أجهزة المطياف لتحليل عينة ما. حيث يستخدم ضوء الليزر لإثارة ذرات أخرى، ثم تعود الذرات بعد ذلك إلى حالة الاستقرار، وتبعث طيفًا مميّزًا يمكن من خلاله التعرف على العينة ومكوناتها.

■ **الشكل 20–2** يتشكل الهولوجرام عندما يسجّل نمط التداخل بين الموجة المرجعية والموجة المنعكسة عن الجسم.

تستخدم الطاقة المركّزة لضوء الليزر بطرائق متعددة وفي مجالات مختلفة. ففي الطب مثلاً يستخدم الليزر في إعادة تحدب قرنية العين إلى وضعها الطبيعي. ويمكن إستخدامه في الجراحة بدون دم أيضًا، كما هو موضح في **الشكل 19–2**. ويستخدم الليزر في الصناعة أيضًا لقطع المعادن مثل الفولاذ وتلحيم المواد معًا. ومن المحتمل في المستقبل أن يستخدم الليزر لإنتاج اندماج نووي لإيجاد مصدر للطاقة لا ينضب تقريبًا.

جهاز الهولوجرام الموضح في **الشكل 20–2**، عبارة عن مسجّل فوتوجرافي لكل من شدة وطور الضوء. وقد أصبح إنتاج أجهزة الهولوجرام ممكنًا بفضل الطبيعة المترابطة لضوء الليزر. وباستطاعة أجهزة الهولوجرام هذه تكوين صور ثلاثية الأبعاد. وهناك تطبيقات أخرى تستخدم في صناعة أجهزة أشباه الموصلات مثل الدوائر المتكاملة، كما تستخدم لدراسة اهتزازات المعدات الحساسة.

2–2 مراجعة

11. **أجهزة الليزر** أي أجهزة الليزر في الجدول 1–2 تبعث ضوءًا أكثر احمرارًا (ضوءًا مرئيًّا ذا طول موجي كبير). وأيها يبعث ضوءًا أزرق؟ وأيها يبعث حزمًا ضوئية لا يمكن رؤيتها بالعين؟
12. **ضخ الذرات** وضح ما إذا كان يمكن استخدام الضوء الأخضر لضخ ضوء ليزر أحمر. لماذا لا يستخدم الضوء الأحمر لضخ الضوء الأخضر؟
13. **محددات نموذج بور** ما أوجه القصور في نموذج بور، على الرغم من توقعه سلوك ذرة الهيدروجين بدقة؟
14. **النموذج الكمي** وضح لماذا تعارض نموذج بور للذرة مع مبدأ عدم التحديد، بينما لم يتعارض النموذج الكمي معه؟
15. **أجهزة الليزر** وضح كيف يعمل ليزر الانبعاث المستثار على إنتاج ضوء مترابط؟
16. **ضوء الليزر** ما الخصائص الأربعة لضوء الليزر التي تجعله مفيدًا؟
17. **التفكير الناقد** افترض أنه تم الحصول على سحابة صغيرة جدًّا من الإلكترونات، بحيث تكون الذرة بحجم النواة تقريبًا. استخدم مبدأ عدم التحديد؛ لتوضيح لماذا تستهلك كمية هائلة من الطاقة في هذه الحالة؟

مختبر الفيزياء

إيجاد حجم الذرة Finding the Size of an Atom

استخدم العالم إرنست رذرفورد التحليل الإحصائي والاحتمالات للمساعدة على تحليل نتائج تجربة صفيحة الذهب الرقيقة. في هذه التجربة سوف تشكل نموذجًا لصفيحة رقيقة من الذهب مستخدمًا كرات صغيرة وكؤوسًا. ثم تحلل نتائجك عن طريق الاحتمالات لتقدير حجم جسم لا يمكن رؤيته.

سؤال التجربة

كيف يمكن استخدام الاحتمالات لتحديد حجم جسم لا يمكن رؤيته؟

الأهداف

- **تفسير البيانات** لتحديد احتمالية تصادم الكرات الصغيرة مع الجسم غير المرئي.
- **حساب** حجم الجسم غير المرئي اعتمادًا على الاحتمالات.

احتياطات السلامة

- **تأكد من التقاط الكرات الصغيرة فور سقوطها على الأرض.**

المواد والأدوات

صندوق كرتون.

ثلاث كؤوس ورقية صغيرة متماثلة.

200 كرة صغيرة.

مسطرة.

منشفة أو قطعة قماش كبيرة.

الخطوات

1. استخدم المسطرة لقياس طول وعرض الصندوق من الداخل. دوّن القياسات في جدول النتائج.
2. استخدم المسطرة؛ لقياس قطر فوهة إحدى الكؤوس. دوّن القياس في جدول النتائج.
3. ضع الصندوق عند وسط المنشفة المطوية، بحيث تمتد المنشفة على الأقل 30 cm حول جوانب الصندوق.
4. ضع الكؤوس الورقية الثلاث عشوائيًّا على قاعدة الصندوق.
5. يقوم أحد زملائك بإسقاط 200 كرة صغيرة عشوائيًّا في الصندوق. تأكد أن يوزع زميلك الكرات الصغيرة بانتظام على مساحة الصندوق. لاحظ أن بعض الكرات الصغيرة قد تسقط خارج الصندوق على المنشفة.
6. احسب عدد الكرات الصغيرة التي سقطت في الكؤوس، ودوّن القيمة في جدول النتائج.

التحليل

1. احسب مساحة صندوق الكرتون. مساحة الشكل المستطيل تعطى بالمعادلة: المساحة = الطول × العرض.
2. احسب مساحة فوهة الكأس، باستخدام القطر الذي قسته. مساحة الدائرة تعطى بالمعادلة:

$$\text{المساحة} = \pi r^2$$

3. احسب المساحة الكلية للكؤوس؛ وذلك بضرب مساحة إحدى الكؤوس في العدد الكلي للكؤوس.
4. احسب النسبة المئوية المشغولة من الصندوق بالكؤوس الثلاث، وذلك بقسمة المساحة الكلية للكؤوس على مساحة الصندوق، ثم اضرب الناتج في العدد 100 .

جدول البيانات						
	بياناتك	بيانات المجموعة 2	بيانات المجموعة 3	بيانات المجموعة 4	بيانات المجموعة 5	متوسط الصف
طول الصندوق (cm)						
عرض الصندوق (cm)						
مساحة الصندوق (cm^2)						
القطر المقيس للكأس الورقي (cm)						
المساحة المحسوبة لفوهة الكأس (cm^2)						
العدد الكلي للكؤوس	3	3	3	3	3	3
المساحة الكلية المحسوبة لفوهات الكؤوس (cm^2)						
النسبة المئوية المحتلة للصندوق والمشغولة بالكؤوس (cm^2 %)						
عدد الكرات الصغيرة الساقطة.	200	200	200	200	200	200
عدد الكرات الصغيرة في الكؤوس.						
النسبة المئوية للكرات الصغيرة في الكؤوس.						
النسبة المئوية للصندوق والمشغولة بالكؤوس اعتمادًا على الاحتمالات.						
المساحة الكلية للكؤوس اعتماداً على الاحتمالات (cm^2)						
عدد الكؤوس	3	3	3	3	3	3
مساحة كأس واحد اعتمادًا على الاحتمالات (cm^2)						

5. احسب النسبة المئوية للكرات الصغيرة التي سقطت في الكؤوس بقسمة عدد الكرات الصغيرة في الكؤوس على عدد الكرات الصغيرة الساقطة، ثم اضرب الناتج في العدد 100
6. حدد النسبة المئوية للصندوق والمشغولة بالكؤوس، اعتمادًا على الاحتمالات لاحظ أن هذه النسبة المئوية (تشبيهًا) تمثل النسبة المئوية للكرات التي سقطت في الكؤوس.
7. احسب المساحة الكلية للكؤوس، اعتمادًا على الاحتمالات. لحساب هذه القيمة أوجد حاصل ضرب النسبة المئوية للصندوق المشغولة بالكؤوس في مساحة الصندوق.
8. احسب مساحة كل كأس اعتمادًا على الاحتمالات. وذلك بإيجاد حاصل قسمة المساحة الكلية للكؤوس على ثلاثة.
9. دوّن نتائجك التجريبية ونتائج المجموعات الأخرى في جدول النتائج، ثم احسب معدلات الصف لجميع النتائج.
10. **تحليل الخطأ.** قارن حساباتك لمساحة الكأس، اعتمادًا على الاحتمالات (قيمة تجريبية) مع مساحة الكأس المحسوبة من القطر المقيس (قيمة مقبولة). ما الخطأ النسبي في قيمتك اعتمادًا على الاحتمالات؟ احسب الخطأ النسبي مستخدمًا المعادلة التالية:

$$\text{الخطأ النسبي} = \frac{|\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة التجريبية}|}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\%$$

الاستنتاج والتطبيق

1. هل كنت قادرًا على تحديد دقيق للحيز الذي تشغله الكؤوس بناء على الاحتمالات؟ فسر ذلك من حيث الخطأ النسبي.
2. اكتب قائمة بمصادر محتملة للخطأ في هذه التجربة، واصفًا تأثيرها في نتائجك.

التوسع في البحث

إذا استخدمت كؤوسًا ذات أحجام أكبر من الكؤوس التي استخدمتها في تجربتك، فهل تتوقع أن تحتاج إلى عددٍ أكبر من الكؤوس، أم عدد مساوٍ، أم عدد أكبر من عدد الكؤوس التي استخدمتها لتحصل على نتائج أكثر دقة.

الفيزياء في الحياة

أجرى معلمك استطلاعًا في الصف من أجل تأجيل موعد امتحان. هل تعتمد دقة الاستطلاع على عدد الطلبة الذين تم استطلاعهم؟ وضح ذلك.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات عن الذرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني

www.obeikaneducation.com

ليزر الذرة Atom Laser

التطور الحديث تقنية الليزر الذري التي طُوّرت مؤخرًا لها مستقبل واعد. فبخلاف أجهزة الليزر التقليدية التي تصدر حزمًا أو نبضات من الفوتونات المترابطة، فإن الليزرات الذرية تصدر حزمًا أو نبضات من الذرات المترابطة. وكما سيتضح لاحقًا، فإن الذرات المترابطة تختلف عن الذرات غير المترابطة التي تكوّن المادة الطبيعية.

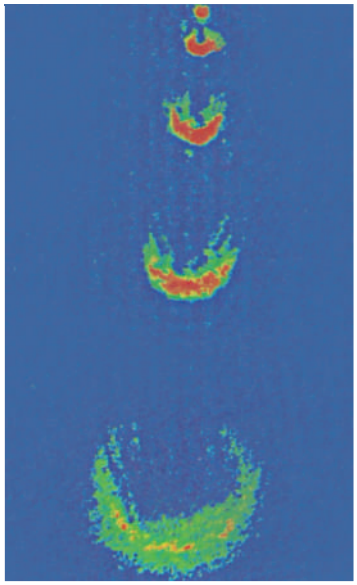
تاريخ توقع العالم برولي عام 1923م أن لجميع الجسيمات خصائص موجية، وطولها الموجي يتناسب عكسيًّا مع كتلة وسرعة الجسيم، وهو قصير جدًّا بحيث يصعب ملاحظته عند درجة حرارة الغرفة، لكن عند تبريد الذرة تقل سرعتها ويزداد طولها الموجي.

بحث العالمان أينشتاين وبوز في عام 1920م في جسيمات تسمى بوزونات. وقد توقعا أنه إذا كان بالإمكان تبريد البوزونات إلى أدنى مستوى طاقة ممكن، فإن كل تلك الجسيمات سيكون لها الطور والطول الموجي نفساهما. أي أن هذه الجسيمات سيكون لها خصائص مترابطة. والطور غير الطبيعي هذا يسمى تكاثف بوز-أينشتاين.

إن أول تكاثفات بوز- أينشتاين أُنتجت عام 1995م، حيث قام بإنتاجها العالمان إيرك كورنل، وكارل ويمان، وقام بإنتاجها كذلك بشكل منفصل العالم فولجانج كيترل، الذي قام بإجراء بحث آخر، حيث وضع عينتين منفصلتين لتكاثف بوز-أينشتاين إحداهما بجانب الأخرى، ولاحظ أنماط التداخل من الذرات في هذه التكاثفات. فذهب إلى تأكيد أن جميع الذرات في حالة التكاثف لها الطول الموجي والطور نفساهما. وكانت الذرات في التكاثف مترابطة تمامًا كما توقع ذلك كل من بوز وأينشتاين.

الليزر الذري الأول أعلن العالم كيترل ومساعدوه عام 1997م الخطوات الأولى في تطوير الليزر الذري؛ فقد طوّروا طريقة لقذف نبضات صغيرة (بين 100,000 و 1000,000 ذرة) من ذرات مترابطة من تكاثف بوز- أينشتاين في حزمة.

في هذا الليزر الذري الأول، يمكن لنبضات الذرات المترابطة الانتقال في اتجاه واحد فقط، بينما تسلك الذرات المنبعثة سلوك الجسيمات تمامًا، بحيث تتبع المسار القوسي إلى أسفل؛ نتيجة تأثير الجاذبية. وكما هو موضح في الصورة فإن الذرات المترابطة في كل نبضة تميل إلى الانتشار بعيدًا عندما تنتشر الحزمة.



يبعث الليزر الذري نبضات من ذرات الصوديوم المترابطة. تحتوي كل نبضة على 10^5 إلى 10^6 من الذرات، وتتسارع النبضات إلى أسفل نتيجة تأثير الجاذبية. وتنتشر النبضات بسبب تأثير قوى التنافر

وفي عام 1999م وجد وليم فيلبس طريقةً لإرسال نبضات من الذرات المترابطة في أي اتجاه، وكيفية منع الذرات من الانتشار بعيدًا عندما تنتشر الحزمة. وبتكوين سلسلة من الحزم القصيرة جدًّا، استطاع فيلبس تكوين حزمة مستمرة من الذرات المترابطة.

المستقبل سيتم استخدام تكاثف بوز- أينشتاين، والليزرات الذرية في دراسة الخصائص الأساسية لميكانيكا الكم والموجات المادية. ويتوقع العلماء أن تكون الليزرات الذرية مفيدة في صناعة الساعات الذرية العالية الدقة، وفي صناعة دوائر إلكترونية صغيرة. ويمكن أن تستخدم الليزرات الذرية أيضًا في علم القياس بالتداخل الضوئي الذري لقياس قوى التجاذب بدقة عالية، ولاختبار النسبية.

التوسع

1. **بحث** ابحث في ماهية الفيرميونات. وهل باستطاعتها تكوين تكاثف بوز- أينشتاين.
(توضيح: انظر كيف يطبق مبدأ باول في الاستبعاد على الفيرميونات).
2. **التفكير الناقد** تعمل الليزرات الذرية في منطقة تفريغ عالية جدًّا. ترى، ما سبب صحة ذلك؟

الفصل 2
دليل الدراسة

2–1 نموذج بور الذري The Bohr Model of the Atom

المفردات

- جسيمات ألفا
- نيوكليونات
- طيف الامتصاص
- مستوى الطاقة
- حالة الاستقرار
- حالة الإثارة
- عدد الكم الرئيس

الأفكار الرئيسة

- قذف العالم إرنست رذرفورد جسيمات ألفا الموجبة الشحنة، ذات السرعات العالية على صفيحة رقيقة من الذهب. ومن دراسته لمسارات الجسيمات المنحرفة استنتج أن معظم حجم الذرة فراغ، كذلك توقع وجود نواة ثقيلة وصغيرة جدًّا، وذات شحنة موجبة في مركز الذرة.
- يمكن استخدام الطيف الناتج عن ذرات العنصر لتحديد عينة مجهولة من ذلك العنصر.
- إذا عبر ضوء أبيض خلال غاز فإن الغاز يمتص الأطوال الموجية نفسها التي سوف يبعثها عندما يثار. وإذا عبر الضوء بعد ذلك خلال منشور فإن طيف الامتصاص للغاز يكون مرئيًّا.
- أظهر نموذج نيلز بور للذرة بصورة صحيحة أن طاقة الذرة لها قيم محددة فقط، لذلك فإنها مكمّاة. وأن طاقة ذرة الهيدروجين في مستوى طاقة n تساوي:

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2}\ \text{eV}$$

- اعتمادًا على نموذج بور، ينتقل الإلكترون بين مستويات الطاقة المسموح بها، وهذه الطاقة تمتص أو تبعث على شكل فوتونات (موجات كهرومغناطيسية). طاقة الفوتون تساوي الفرق بين الحالتين الابتدائية والنهائية للذرة.

$$E_{\text{فوتون}} = |E_f - E_i|$$

- اعتمادًا على نموذج بور، فإن نصف قطر مدار الإلكترون يكون له قيم محددة مكماة. نصف قطر مدار الإلكترون في مستوى الطاقة n لذرة الهيدروجين يعطى بالمعادلة:

$$r_n = 5.3 \times 10^{-11} n^2\ \text{m}$$

2–2 نموذج الذرة الكمي The Quantum Model of the Atom

المفردات

- النموذج الكمي
- السحابة الإلكترونية
- ميكانيكا الكم
- الضوء المترابط
- الضوء غير المترابط
- الانبعاث المستثار
- الليزر

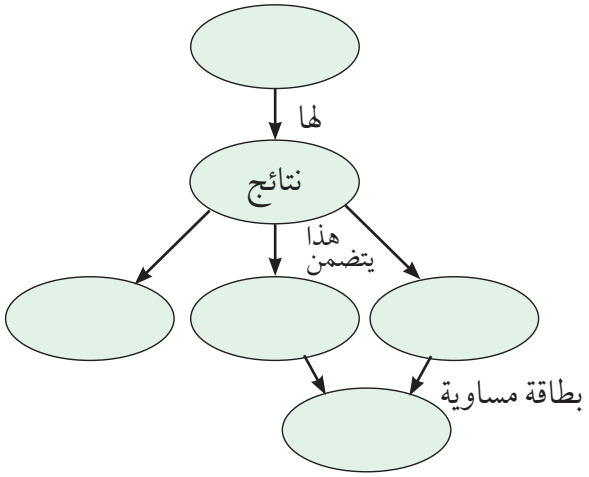
الأفكار الرئيسة

- في النموذج الكمي – الميكانيكي للذرة، تملك الذرة قيمًا محددة للطاقة، وهذه القيم مكماة.
- في النموذج الكمي – الميكانيكي للذرة، يمكن تحديد احتمالية إيجاد الإلكترون في منطقة محددة فقط في ذرة الهيدروجين، فالمسافة الأكثر احتمالية للإلكترون عن النواة تساوي نصف قطر مستوى الإلكترون في نموذج بور.
- نجحت ميكانيكا الكم إلى حدٍّ كبير في تحديد خصائص الذرات والجزيئات والمواد الصلبة.
- تنتج أجهزة الليزر ضوءًا أحادي اللون، ومترابطًا، وموجهًا، وذا طاقة عالية. وكل خاصية تمنح الليزر تطبيقات مفيدة.

الفصل 2
التقويم

خريطة المفاهيم

18. أكمل خريطة المفاهيم التالية مستخدمًا ما يلي: مستويات الطاقة، أقطار مستويات الإلكترون الثابتة، نموذج بور، انبعاث وامتصاص الفوتون، فرق مستوى الطاقة.



إتقان المفاهيم

19. وضح كيف حدد رذرفورد أن الشحنة الموجبة في الذرة متمركزة في منطقة صغيرة جدًّا، وليست منتشرة في الذرة.

20. كيف فسر نموذج بور تضمين طيف الامتصاص للهيدروجين ترددات طيف الانبعاث نفسها للهيدروجين؟

21. قم بمراجعة نموذج رذرفورد للذرة. ما المشكلات المتعلقة بهذا النموذج؟

22. حلل وانتقد نموذج بور للذرة. ما الافتراضات الثلاثة التي قدمها بور لتطوير نموذجه؟

23. **أنابيب الغاز المفرغة** وضح كيف تنتج الأطياف الخطية في أنابيب الغاز المفرغة؟

24. كيف قدّم نموذج بور تفسيرًا للطيف المنبعث من الذرات؟

25. فسّر لماذا تختلف الأطياف الخطية الناتجة عن أنابيب التفريغ لغاز الهيدروجين عن تلك الأطياف الناتجة عن أنابيب التفريغ لغاز الهيليوم.

26. **الليزرات** إن مصدر الطاقة لجهاز الليزر المختبري $8 \times 10^{-4}\ W$ فقط لماذا يبدو أنه أكثر قدرة من ضوء مصباح كهربائي 100 W؟

27. ما خصائص ضوء الليزر التي أدت إلى استخدامه في العروض الضوئية؟

تطبيق المفاهيم

28. يختلف مستوى التعقيد لمستويات الطاقة من ذرة إلى أخرى. كيف تتوقع أن يؤثر ذلك في الأطياف التي تنتجها؟

29. **الأضواء الشمالية** تحدث الأضواء الشمالية بوساطة جسيمات ذات طاقة عالية قادمة من الشمس عندما تصطدم بذرات في الغلاف الغازي للأرض، إذا نظرت إلى هذه الأضواء خلال منظار طيفي فهل تشاهد طيفًا متصلاً، أم طيفًا خطيًّا؟ فسّر.

30. إذا انبعث ضوء أبيض من سطح الأرض، وشاهده شخص من الفضاء، فهل يظهر الطيف بحيث يكون متصلاً؟ فسّر.

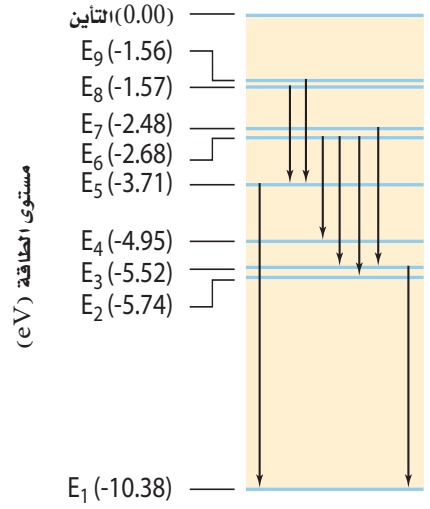
31. هل تعدّ قطع النقود مثالاً جيدًا للتكمية؟ هل يعدّ الماء في الكوكب الأرضي كذلك؟ فسّر.

32. ذرة لها أربعة مستويات للطاقة، E_4 مستوى الطاقة الأعلى، و E_1 مستوى الطاقة الأدنى. إذا حدثت انتقالات بين أي مستويين للطاقة، فما عدد الخطوط الطيفية التي تستطيع الذرة أن تبعث بها؟ ما الانتقال الذي يبعث فوتونًا بأعلى طاقة؟

تقويم الفصل 2

33. يبين **الشكل 21–2**، دخول فوتون طاقته 6.2 eV ذرة زئبق في حالة استقرار. هل تمتصه الذرة ؟ فسّر.

شكل مستوى الطاقة لذرة الزئبق



الشكل 21–2

34. ينبعث فوتون عندما ينتقل إلكترون ذرة الهيدروجين المثارة خلال مستويات الطاقة. ما مقدار الطاقة العظمى التي يمكن أن تكون للفوتون؟ إذا مُنحت كمية الطاقة هذه إلى ذرة في حالة الاستقرار، فما الذي يحدث؟

35. قارن بين نظرية الكم الميكانيكية للذرة ونموذج بور.

36. أي الليزرات الأحمر، والأخضر، والأزرق ينتج فوتونات بطاقة أكبر؟

إتقان حل المسائل

2–1 نموذج بور الذري

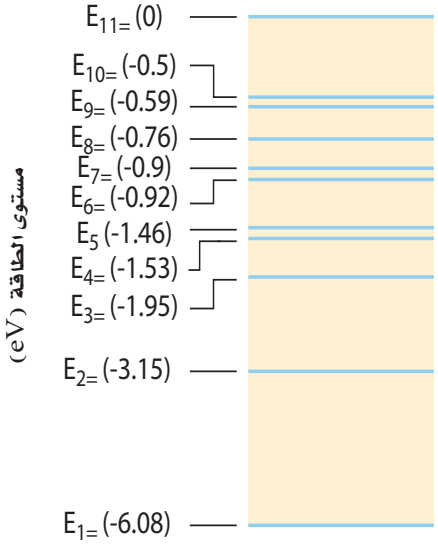
37. ينتقل إلكترون ذرة كالسيوم من مستوى الطاقة السادس، إلى مستوى الطاقة الثاني. ما الطول الموجي للفوتون المنبعث؟

38. إذا دخل فوتون ضوء برتقالي طوله الموجي 6.00×10^{2} nm في ذرة كالسيوم مثارة عند مستوى الطاقة E_6 فتأينت الذرة، فما مقدار طاقة حركة الإلكترون المنبعث من الذرة؟

39. ذرة كالسيوم مثارة إلى مستوى طاقة E_2. اصطدم بها فوتون طاقته 1.20 eV، فامتصته. إلى أي مستوى طاقة تنتقل ذرة الكالسيوم؟ انظر إلى **الشكل 22–2**.

40. ذرة كالسيوم مثارة عند مستوى طاقة E_6. ما مقدار الطاقة المتحررة عندما تهبط الذرة إلى مستوى الطاقة E_2؟ ارجع إلى **الشكل 22–2**.

شكل مستوى الطاقة لذرة الكالسيوم



الشكل 22–2

41. احسب الطاقة المرتبطة بمستويات الطاقة E_7 و E_2 لذرة الهيدروجين.

42. احسب الفرق في مستويات الطاقة في المسألة السابقة.

ارجع إلى **الشكل 21–2** لحل المسألة 43.

43. ذرة زئبق مثارة عند مستوى طاقة E_6، ما مقدار الطاقة:

a. اللازمة لتأيين الذرة؟

b. المتحررة عندما تهبط الذرة إلى مستوى الطاقة E_2؟

تقويم الفصل 2

44. ذرة هيدروجين مثارة إلى $n = 3$. وفق نموذج بور، أوجد كلًّا مما يلي:
a. نصف قطر المستوى.
b. القوة الكهربائية بين البروتون والإلكترون.
c. التسارع المركزي للإلكترون.
d. سرعة الإلكترون في مداره (قارن بين هذه السرعة وسرعة الضوء).

2–2 نموذج الذرة الكمي

45. **مشغل القرص المدمج** CD تستخدم ليزرات زرنيخات الجاليوم بصورة شائعة في مشغلات القرص المدمج. إذا بعث مثل هذا الليزر عند طول موجي 840 nm، فما مقدار الفرق بوحدة eV بين مستويات الطاقة ؟

46. أُدخل ليزر GaInNi بين مستويات طاقة مفصولة بطاقة مقدارها 2.90 eV، أجب عما يأتي:
a. ما الطول الموجي للضوء المنبعث من الليزر؟
b. في أي جزء من الطيف يقع هذا الضوء؟

47. ينبعث ليزر ثاني أكسيد الكربون بفوتون أشعة تحت حمراء طاقته عالية جدًّا. ما مقدار فرق الطاقة بوحدة eV بين مستويات الطاقة الليزرية؟ ارجع إلى الجدول 1–2.

48. **ليزرات HeNe** يمكن صنع الليزرات HeNe المستخدمة بوصفها مؤشرات يستخدمها المحاضرون، بحيث تنتج ليزرًا عند الأطوال الموجية الثلاثة: 1152.3 nm، 543.4 nm، 632.8 nm.
a. أوجد فرق الطاقة بين كل وضعين متضمنين في حزمة كل طول موجي.
b. حدد لون كل طول موجي.

مراجعة عامة

49. يدخل فوتون طاقته 14.0 eV ذرة هيدروجين في حالة الاستقرار فيؤينها. ما مقدار الطاقة الحركية للإلكترون المتحرر من الذرة؟

50. احسب نصف قطر المستوى لكل من مستويي الطاقة E_5 و E_6 لذرة الهيدروجين.

التفكير الناقد

51. **تطبيق المفاهيم** يوضح **الشكل 23–2** نتيجة إسقاط طيف مصباح غاز الزئبق ذي الضغط العالي على حائط في غرفة مظلمة. ما فروق الطاقة لكل من الخطوط المرئية الثلاثة؟

الشكل 23–2

52. **تفسير الرسوم التوضيحية** بعد انبعاث الفوتونات المرئية التي تم وصفها في المسألة 51، تستمر ذرة الزئبق في بعث فوتونات حتى تصل إلى حالة الاستقرار. من خلال اختبار **الشكل 21–2** حدد ما إذا كانت هذه الفوتونات مرئية أم لا. فسر ذلك.

الكتابة في الفيزياء

53. اكتب بحثًا عن تاريخ تطور نماذج الذرة. واصفًا كل نموذج باختصار، ومحددًا أوجه القوة والضعف لكل نموذج.

54. يبعث مؤشر ليزر أخضر ضوءًا طوله الموجي 532 nm اكتب بحثًا في نوع الليزر الذي يستخدم في هذا النوع من المؤشرات، وصف طريقة عمله. وحدّد ما إذا كان الليزر على شكل نبضات أم مستمر.

مراجعة تراكمية

55. جهد الإيقاف اللازم لاستعادة جميع الإلكترونات المنبعثة من فلز 7.5 V، ما مقدار الطاقة الحركية القصوى للإلكترونات بوحدة الجول؟

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. أي نماذج الذرة الآتية تعتمد على تجربة صفيحة الذهب الرقيقة لرذرفورد؟

(A) نموذج بور (B) النموذج النووي

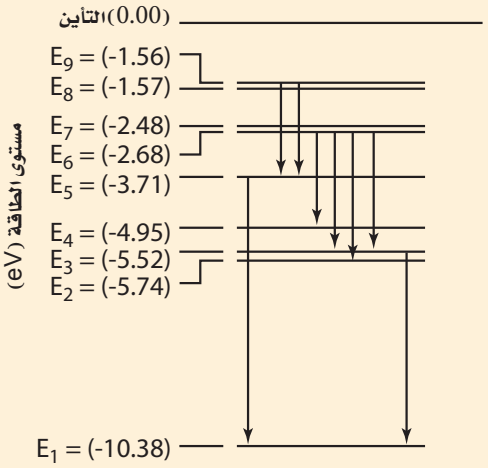
(C) نموذج تومسون (D) النموذج الكمي

2. تبعث ذرة زئبق ضوءًا طول موجته 405 nm، ما مقدار فرق الطاقة بين مستويي الطاقة في هذا الانبعاث؟

(A) 0.22 eV (C) 3.06 eV

(B) 2.14 eV (D) 4.05 eV

3. يبيّن الرسم أدناه مستويات الطاقة لذرة الزئبق. ما طول موجة الضوء المنبعث عندما تحدث تحولات في الذرة من مستوى الطاقة E_7 إلى المستوى E_4؟



(A) 167 nm (C) 400 nm

(B) 251 nm (D) 502 nm

4. أي الجمل الآتية يعدها النموذج الكمي للذرة غير صحيحة؟

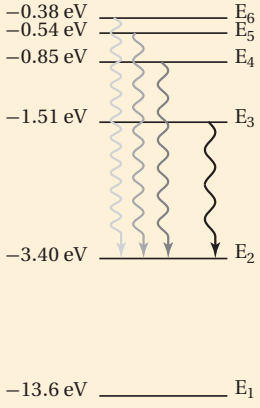
(A) مستويات الطاقة المسموح بها للذرة مكماة.

(B) مواقع الإلكترونات حول النواة معروفة بدقة.

(C) تحدد سحابة الإلكترون المساحة التي يحتمل أن تواجد الإلكترون فيها.

(D) ترتبط مستويات الإلكترون المستقرة مع طول موجة دي برولي.

لحل المسألتين 5 و 6 ارجع إلى الرسم التوضيحي الذي يبين سلسلة بالمر لانتقال الإلكترون في ذرة الهيدروجين.



5. أي إنتقال مسؤول عن انبعاث ضوء بأكبر تردد؟

(A) E_5 إلى E_2 (C) E_6 إلى E_3

(B) E_2 إلى E_3 (D) E_2 إلى E_6

6. ما مقدار تردد خط سلسلة بالمر المرتبط بالإنتقال من مستوى الطاقة E_4 إلى E_2؟ (لاحظ أن $1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$)

(A) 2.55×10^{14} Hz (C) 6.15×10^{14} Hz

(B) 4.32×10^{14} Hz (D) 1.08×10^{15} Hz

الأسئلة الممتدة

7. حدد الطول الموجي للضوء المنبعث، نتيجة إنتقال إلكترون ذرة الهيدروجين من مستوى طاقة $n = 5$ إلى مستوى طاقة $n = 2$؟

✓ إرشاد

التعثر ليس كالسقوط

أحيانًا قد تواجه سؤالاً ليس لديك فكرة عن إجابته، وحتى بعد أن تقرأ السؤال عدة مرات قد لا تتكون عندك فكرة منطقية عن الإجابة. إذا كان السؤال من نوع الاختيار من متعدد، فركِّز على جزء من السؤال تعرف شيئًا عنه، واستثنِ أكبر عدد ممكن من الخيارات، واختر أحد الخيارات المتبقية، وانتقل إلى سؤال آخر.

الفصل 3

الفيزياء النووية
Nuclear Physics

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- وصف مكوّنات النواة، وكيف يؤثر الاضمحلال الإشعاعي في هذه المكوّنات.
- حساب الطاقة الناتجة عن التفاعلات النووية.
- دراسة كيفية إنتاج النظائر المشعة والطاقة النووية واستخدامها.
- فهم التركيب البنائي للمادة.

الأهمية

للفيزياء النووية العديد من التطبيقات، تتضمن الأبحاث الطبية، وإنتاج الطاقة، ودراسة تركيب المادة.

الطب تستخدم النظائر المشعة لتكوين صورة للدماغ، وأجهزة الجسم الأخرى للتشخيص الطبي، والبحث العلمي.

فكِّر ◄

كيف تساعد الأشعةُ المنبعثة من النظائر المشعة العلماءَ والأطباء على تتبع العمليات التي تجري في جسم الإنسان؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

كيف يمكنك عمل نموذج للنواة؟

سؤال التجربة فيم تتشابه القوة التي يؤثر بها شريط ذو وجهين لاصقين مع القوة النووية القوية؟

الخطوات

1. غلّف المحيط الخارجي لـ(3–6) أقراص مغناطيسية، باستخدام الشريط اللاصق ذي الوجهين، ثم كرر الشيء نفسه لـ(3–6) أقراص من الخشب أو الألومنيوم مماثلة لها في الحجم. تمثل المغانط البروتونات، بينما تمثل الأقراص الأخرى النيوترونات.
2. رتّب المغانط بحيث تكون أقطابها الشمالية متقابلة.
3. صف القوة المؤثرة في بروتون في أثناء تقريبه إلى بروتون آخر حتى يتلامسا.
4. صف القوة المؤثرة في نيوترون في أثناء تقريبه إلى نيوترون آخر أو من بروتون حتى يتلامسا.

التحليل

تهبط القوة النووية القوية إلى الصفر عندما يبتعد مركزا النيوكليونين أحدهما عن الآخر مسافة تزيد على نصفي قطريهما.

كيف يمكن مقارنة ذلك مع مدى قوة الشريط اللاصق؟ القوة النووية القوية متساوية لكل من النيوترونات والبروتونات. هل يصف هذا المثال ما يحدث في النواة؟

التفكير الناقد تحتوي النواة المستقرة في الغالب على عدد من النيوترونات يزيد على عدد البروتونات. لماذا يسلك هذا النموذج الطريقة نفسها التي تحدث داخل النواة؟

الأهداف

- **تحدد** عدد النيوترونات، والبروتونات في النواة.
- **تعرّف** طاقة الربط النووية للنواة.
- **تربط** الطاقة الناتجة عن التفاعل النووي مع التغير في طاقة الربط النووية في أثناء التفاعل.

المفردات

العدد الذري	وحدة الكتل الذرية
العدد الكتلي	النويدة (نواة النظير)
القوة النووية القوية	النيوكليونات
طاقة الربط النووية	نقص الكتلة

لم يثبت العالم إرنست رذرفورد وجود النواة فقط، بل أجرى أيضًا بعض التجارب المبكرة بهدف اكتشاف تركيبها. من الأهمية أن تدرك أن تجارب رذرفورد والتجارب التي أجراها العلماء بعده لم يتم فيها مراقبة الذرة مباشرةً؛ فقد تم استخلاص الاستنتاجات من المشاهدات التي توصل إليها الباحثون. تذكّر أن فريق رذرفورد أجرى بعناية قياسات دقيقة لانحراف جسيمات ألفا عندما اصطدمت بشريحة الذهب. هذه الانحرافات يمكن تفسيرها، إذا كان معظم حجم الذرة فراغًا. وقد أظهرت التجارب كذلك أن الذرة تحتوي على مركز صغير جدًّا ذي كثافة كبيرة وشحنة موجبة وتتركز فيه كتلة الذرة، ومحاط بإلكترونات مهملة الكتلة تقريبًا.

بعد أن اكتشف العالم بيكرل عام 1896م النشاط الإشعاعي توجّه البحث إلى التأثيرات الناتجة عن اضمحلال النواة نتيجة التحلل الإشعاعي الطبيعي.

ثم اكتشف كل من ماري وبيير كوري عنصرًا جديدًا (الراديوم)، وجعلا منه عنصرًا متوافرًا للباحثين في كافة أنحاء العالم؛ مما أثرى دراسة النشاط الإشعاعي. ثم اكتشف العلماء أنه يمكن من خلال النشاط الإشعاعي تحويل نوع من الذرات إلى نوع آخر، ومن ثم، فإن الذرات لا بد أنها تتكوّن من أجزاء أصغر. ثم استخدم كل من إرنست رذرفورد، وفريدرك سودي النشاط الإشعاعي لدراسة مركز الذرة (النواة).

وصف النواة Description of the Nucleus

هل تتكوّن النواة من جسيمات مشحونة بشحنة موجبة فقط؟ تم التعرّف على كتلة النواة، وحقيقة أن شحنتها موجبة فقط، نتيجة تجارب تشتّت الأشعة السينية. وأظهرت النتائج أن البروتونات موجبة الشحنة، وأنها مسؤولة عن نصف كتلة النواة تقريبًا. وافترضت إحدى الفرضيات أن الإلكترونات مسؤولة عن كتلة الجزء الباقي من النواة، وفسرت هذه الفرضية انبعاث جسيمات الفا وجسيمات بيتا من داخل النواة، ولكن حسب نظرية الكم فإن الإلكترون لا يمكن أن يتواجد داخل النواة. وفي عام 1932 حلّ العالم الانجليزي جيمس شادويك هذه المشكلة عندما اكتشف وجود جسيم متعادل تساوي كتلته كتلة البروتون تقريبًا داخل النواة. وعُرف هذا الجسيم بالنيوترون، وهو المسؤول عن الكتلة المفقودة للنواة دون زيادة شحنتها

كتلة النواة وشحنتها البروتون هو الجسيم الوحيد المشحون داخل النواة. و**العدد الذري** Z للذرة هو عدد البروتونات. لذا فإن شحنة النواة الكلية تساوي عدد البروتونات مضروبًا في الشحنة الأساسية (شحنة الإلكترون عدديًّا).

$$\text{شحنة النواة} = Z \times e$$

ولكل من البروتون والنيوترون كتلة تزيد حوالي 1800 مرة على كتلة الإلكترون؛ وكتلة كل من البروتون أوالنيوترون تساوي تقريبًا 1u؛ حيث u **وحدة الكتلة الذرية**، وتعادل $1.66 \times 10^{-27}\,kg$، ولتحديد الكتلة التقريبية للنواة؛ احسب حاصل ضرب العدد الكتلي A (مجموع عدد النيوترونات والبروتونات) في وحدة الكتل الذرية u.

$$\text{كتلة النواة} \cong A \times u$$

حجم النواة أظهرت نتائج رذرفورد القياسات الأولى لحجم النواة؛ فقد وجد أن للنواة قطرًا يساوي $10^{-14}\,m$ تقريبًا. وبذلك يكون للذرة المثالية نصف قطر أكبر 10,000 مرة من حجم النواة.

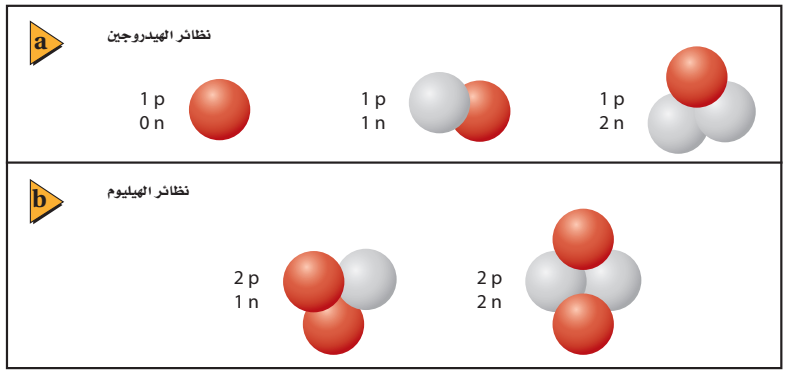
وعلى الرغم من أن النواة تحتوي على كل كتلة الذرة تقريبًا، فإن النواة تشغل حيزًا في الذرة أقل من الحيز الذي تشغله الشمس في النظام الشمسي. إن النواة مركّزة بطريقة غير مُتخيَّلة؛ فكثافتها $1.4 \times 10^{18}\ kg/m^3$ تقريبًا. فإذا افترضنا أن حجم النواة سنتيمتر مكعب واحد فسوف تكون كتلتها بليون طن تقريبًا.

هل لجميع العناصر العدد الكتلي نفسه؟
Do all elements have the same mass numbers?

بالنظر إلى الجدول الدوري– لاحظ الملحق ص128– ستلاحظ أن العناصر الأربعة الأولى لها عدد كتلي A قريب من العدد الصحيح، على الرغم من أن كتلة البورون 10.8 u، فلو كانت النواة تتكون من البروتونات والنيوترونات فقط وكانت كتلة كل منها 1 u تقريبًا، فإن الكتلة الكلية لأي ذرة يجب أن تكون عددًا صحيحًا، وليس قريبة من العدد الصحيح.

إن اللغز المتمثل في أن الكتل الذرية التي لا تساوي عددًا صحيحًا، تم حله باستخدام جهاز مطياف الكتلة. لقد تعلمت كيف يُظهر مطياف الكتلة أنه يمكن أن يكون لذرات العنصر

الواحد كتلًا مختلفة. ففي تحليل عينة نقية من النيون مثلاً لم تظهر بقعة واحدة فقط، بل ظهرت بقعتان على شاشة مطياف الكتلة. والبقعتان ناتجتان عن ذرات نيون مختلفة الكتلة. وقد وجدت ذرة نيون واحدة لها كتلة 20 u، بينما كتلة النوع الثاني 22 u. إن ذرة النيون الطبيعية تحتوي على عشرة بروتونات في النواة، وعشرة الكترونات في الذرة، لكن وجد أنه بينما تحتوي أنواعا من ذرات النيون على 10 نيوترونات في نواتها، فإن أنواعا أخرى تحتوي نواتها على 12 نيوترونًا. هذان النوعان من الذرات يسميان نظائر النيون. وتسمى نواة النظير **النويدة**. وجميع نويدات العنصر لها العدد نفسه من البروتونات، ولكن لها أعدادًا مختلفة من النيوترونات، كما في نويدات الهيدروجين والهيليوم الموضحة في **الشكل 1–3**، علمًا بأن جميع نظائر العنصر المتعادل كهربائيًّا لها عدد الإلكترونات نفسه حول النواة، ولها السلوك الكيميائي نفسه.



الشكل 1–3 تظهر نويدات الهيدروجين (a) والهيليوم (b) لجميع نويدات العنصر العدد نفسه من البروتونات، وعدد مختلف من النيوترونات. رسمت البروتونات بلون أحمر والنيوترونات بلون رمادي في الرسم التوضيحي.

متوسط الكتلة الكتلة المقيسة لغاز النيون هي 20.183 u، وهذا الرقم يعرف بمتوسط كتلة نظائر النيون الموجودة طبيعيًّا. وعلى الرغم من أن كتلة الذرة المفردة للنيون قريبة من العدد الصحيح لوحدات الكتل، فإن الكتلة الذرية المحسوبة من متوسط الكتل للنيون ليست كذلك. ولمعظم العناصر أشكال متعددة من النظائر التي تنتج طبيعيًّا ويمكن قياس كتل هذه النظائر باستخدام جهاز مطياف الكتلة، وتستخدم كتلة أحد نظائر الكربون كربون –12، بوصفها وحدة الكتل الذرية؛ فوحدة الكتل الذرية الواحدة u تساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة نظير الكربون –12

ولوصف النظير، يستخدم الرمز Z المنخفض عن يسار رمز العنصر، ليمثل العدد الذري أو الشحنة، بينما يكتب الرمز العلوي A عن يسار رمز العنصر أيضا ليمثل العدد الكتلي، بحيث يأخذ هذا الترميز الشكل ${}^{A}_{Z}X$؛ حيث X رمز العنصر. فيكتب الكربون –12 مثلاً ${}^{12}_{6}C$ ، ويكتب نظيرا النيون اللذان عددهما الذري 10 في صورة ${}^{20}_{10}Ne$ و ${}^{22}_{10}Ne$.

مسائل تدريبية

1. الأعداد الكتلية لنظائر اليورانيوم هي 234 و235 و238، والعدد الذري لليورانيوم هو 92، ما عدد نيوترونات نواة كل نظير؟
2. ما عدد نيوترونات نظير الزئبق ${}^{200}_{80}Hg$ ؟
3. اكتب رموز نظائر الهيدروجين الثلاثة التي تحتوي على صفر، وواحد، واثنين من النيوترونات.

ما الذي يحافظ على نيوكليونات النواة معًا؟
What holds the nucleus together?

ترتبط الإلكترونات السالبة الشحنة المحيطة بنواة الذرة الموجبة الشحنة نتيجة تأثير قوة التجاذب الكهرومغناطيسية. ولأن النواة تتكون من بروتونات موجبة الشحنة ونيوترونات متعادلة الشحنة، فقد يكون من المتوقع أن تسبب قوة التنافر الكهرومغناطيسية بين البروتونات تباعد بعضها عن بعض. ولأن هذا لا يحدث فإن قوة تجاذب متبادلة وقوية يجب أن توجد داخل النواة.

القوة النووية القوية The Strong Nuclear Force

تسمى كذلك **القوة القوية (الشديدة)**، وهي القوة التي تؤثر بين البروتونات والنيوترونات الموجودة في النواة، والقريبة جدًّا بعضها إلى بعض. وهذه القوة تزيد عن 100 مرة من قوة التنافر الكهرومغناطيسية. إن مدى القوة القوية قصير، ويساوي نصف قطر البروتون فقط، أي $1.4 \times 10^{-15}\ \text{m}$ تقريبًا. وهي قوة تجاذب، تؤثر بين البروتونات والبروتونات، وكذلك بين البروتونات والنيوترونات، وأيضًا بين النيوترونات والنيوترونات.

تسمى كل من النيوترونات والبروتونات **النيوكليونات**، وتحافظ القوة النووية القوية على بقاء النيوكليونات في النواة. ولإخراج النيكليون خارج النواة يجب بذل شغل للتغلب على قوة التجاذب، وهذا الشغل يضاف إلى النظام. لذلك فإن طاقة النواة أقل من مجموع طاقات البروتونات والنيوترونات المنفردة التي تتكوّن منها النواة. ويتحول فرق الطاقة للنواة إلى **طاقة ربط نووية**. ولأن النواة الفعلية لها طاقة أقل، فإن طاقات الربط جميعها تكون سالبة.

طاقة الربط النووية Binding Energy of the Nucleus

بيّن أينشتاين أن كلًّا من الكتلة والطاقة متكافئتان. لذلك يمكن التعبير عن طاقة الربط على شكل كمية مكافئة من الكتلة بالمعادلة التالية:

الطاقة المكافئة للكتلة $E = mc^2$

الطاقة المحتواة في المادة تساوي حاصل ضرب الكتلة في مربع سرعة الضوء في الفراغ.

حيث إن كتلة النواة الفعلية تكون أقل من مجموع كتل النيوكليونات التي تحويها. لذا يجب أن تضاف طاقة لفصل مكونات النواة.

فمثلاً تحوي نواة الهيليوم $_2^4\text{He}$ بروتونين ونيوترونين. وكتلة البروتون 1.007276 u، وكتلة النيوترون 1.008665 u، فإذا كانت كتلة نواة الهيليوم تساوي مجموع كتل بروتونين ونيوترونين فسوف تتوقع أن كتلة النواة 4.031882 u، لكن القياس الدقيق يُظهر أن كتلة نواة الهيليوم الفعلية 4.002603 u فقط. إن الكتلة الفعلية لنواة الهيليوم، أقل من كتل النيوكليونات المكوّنة لها بمقدار 0.029279 u، ويسمى الفرق بين مجموع كتل النيوكليونات المفردة المكونة للنواة والكتلة الفعلية لها **نقص الكتلة**.

تطبيق الفيزياء

القوى

البوزترون عبارة عن إلكترون موجب الشحنة. وقوة التجاذب الكهرومغناطيسية بين الإلكترون والبوزترون أكبر بمقدار 4.2×10^{42} مرة من قوة الجاذبية بين كتلتيهما.

تقاس الكتل عادةً بوحدة الكتلة الذرية ويكون من المفيد أحيانًا تحديد مقدار الطاقة المكافئة لـ 1u $(1.6605 \times 10^{-27}\ \text{kg})$ بوحدة الجول.

$$\begin{aligned} E &= mc^2 \\ &= (1.6605 \times 10^{-27}\ \text{kg})\ (2.9979 \times 10^{8}\ \text{m/s})^2 \\ &= 1.4924 \times 10^{-10}\ \text{kg.}\ \text{m}^2/\text{s}^2 \\ &= 1.4924 \times 10^{-10}\ \text{J} \end{aligned}$$

كما يمكن استخدام وحدات أخرى مثل وحدة الإلكترون فولت.

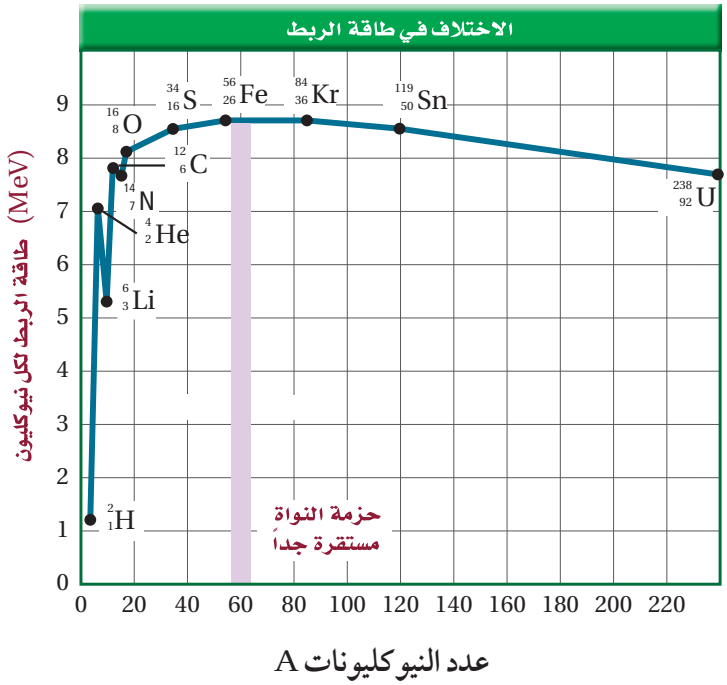
$$\begin{aligned} E &= (1.4924 \times 10^{-10}\ \text{J})(1\ \text{eV}/1.60217 \times 10^{-19}\ \text{J}) \\ &= 9.3149 \times 10^{8}\ \text{eV} \\ &= 931.49\ \text{MeV} \end{aligned}$$

أي أن 1u من الكتلة تكافئ 931.49 MeV من الطاقة.

يبين **الشكل 2–3** كيف تعتمد طاقة الربط النووية على كتلة النواة، إن الأنوية الثقيلة ترتبط غالبًا بقوة أكبر من الأنوية الخفيفة، وتصل طاقة الربط لكل نوية إلى أقصى حد عند العدد الكتلي 56، الذي يمثل عدد النيوكليونات للحديد Fe. ونواة الحديد $^{56}_{26}\text{Fe}$ من أكثر الأنوية ترابطًا، لذلك تصبح الأنوية أكثر استقرارًا، كلما اقترب عددها الكتلي من العدد الكتلي للحديد. والأنوية التي أعدادها الكتلية أكبر أو أقل من العدد الكتلي للحديد تكون أقل ترابطًا، لذا تكون أقل استقرارًا.

يحدث التفاعل النووي طبيعيًّا، إذا تحررت طاقة نتيجة التفاعل، وهذا يعني أنه إذا تحوّل موقع نواة عددها الكتلي أقل من العدد الكتلي لنواة الحديد إلى موقع أقرب من النقطة الدنيا للمنحنى البياني عند A = 56، فإن تفاعلًا نوويًّا طبيعيًّا يحدث لها.

فمثلاً يتحول الهيدروجين في الشمس، والنجوم الأخرى إلى هيليوم وكربون وبعض العناصر الأثقل الأخرى في تفاعلات تحرر طاقة، مولدة إشعاعًا كهرومغناطيسيًّا.



الشكل 2–3 طاقة الربط لكل نوية تعتمد على عدد النيوكليونات A، وتكتسب الأنوية الخفيفة استقرارها من خلال الاندماج النووي، بينما تكتسب الانوية الثقيلة استقرارها من خلال الانشطار النووي.

وكذلك عند الأعداد الكتلية الأكبر من 56، يحدث تفاعل نووي طبيعي، فعندما يضمحل اليورانيوم– 238 إلى الثوريوم– 234، فإن نواة الثوريوم الناتجة تكون أكثر استقرارًا من نواة اليورانيوم، وتتحرر الطاقة على شكل جسيم مشع ذي كتلة وطاقة حركية. ولكن لا يتحوّل الثوريوم تلقائيًّا إلى اليورانيوم؛ لأنه يجب أن تضاف طاقة إلى النواة لحدوث ذلك. وقد ولدَّت أنوية عناصر ثقيلة موجودة في الجدول الدوري بهذه الطريقة، وعمومًا فإن العناصر الثقيلة قد تتكون لعدة أجزاء من الثانية فقط، قبل أن تضمحل إلى أنوية أصغر، وأكثر استقرارًا. وعندما تكتسب الأنوية الصغيرة نيوكليونات، فإن طاقة الربط النووية للنواة الأكبر، تكون أكثر سالبية، لذا تكون أكثر استقرارًا من مجموع طاقات الربط للأنوية الأخف.

مثـــال 1

نقص الكتلة وطاقة الربط النووية أوجد نقص الكتلة وطاقة الربط النووية للتريتيوم ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$. إذا كانت كتلة نظير التريتيوم 3.016049 u وكتلة ذرة الهيدروجين 1.007825 u وكتلة النيوترون 1.008665 u

1 تحليل المسألة ورسمها

المعلوم	المجهول
كتلة ذرة الهيدروجين الواحدة = 1.007825 u	كتلة النيوكليونات والإلكترون الكلية = ؟
كتلة النيوترون الواحد = 1.008665 u	نقص الكتلة = ؟
كتلة التريتيوم = 3.016049 u	طاقة الربط النووية للتريتيوم = ؟
طاقة الربط النووية 1 u = 931.49 MeV	

2 إيجاد الكمية المجهولة

اجمع كتل ذرة الهيدروجين (بروتون واحد وإلكترون واحد) ونيوترونين.

كتلة ذرة هيدروجين + كتلة نيوترونين تساوي:

$$\begin{array}{r} 1.007825\ \mathrm{u} \\ +\ 2.017330\ \mathrm{u} \\ \hline 3.025155\ \mathrm{u} \end{array}$$

كتلة النيوكليون الكلية:

نقص الكتلة يساوي كتلة التريتيوم الفعلية ناقص مجموع كتل مكوّناته

كتلة التريتيوم: كتلة النيوكليونات تساوي:

$$\begin{array}{r} 3.016049\ \mathrm{u} \\ -\ 3.025155\ \mathrm{u} \\ \hline -0.009106\ \mathrm{u} \end{array}$$

نقص الكتلة :

طاقة الربط النوية هي الطاقة المكافئة لمقدار نقص الكتلة.

$E =$ (نقص الكتلة u)(طاقة الربط النووية لِـ 1 u)

بالتعويض عن نقص الكتلة = $-0.009106\ \mathrm{u}$

$E = (-0.009106\ \mathrm{u})\ (931.49\ \mathrm{MeV/u})$

طاقة الربط لكل u = $931.49\ \mathrm{MeV}$

$E = -8.4821\ \mathrm{MeV}$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الكتلة بوحدة u، وتقاس الطاقة بوحدة MeV.
- **هل للإشارة معنى؟** يجب أن تكون طاقة الربط سالبة.
- **هل الجواب منطقي؟** اعتمادًا على الشكل 2–3 فإن طاقة الربط لكل نيوكليون في المدى بين 2 MeV− و3 MeV−، لذلك فالجواب للنيوكليونات الثلاثة منطقي.

مسائل تدريبية

استخدم القيم المبينة أدناه لحل المسائل التالية:

كتلة الهيدروجين تساوي 1.007825 u، وكتلة النيوترون تساوي 1.008665 u، و $1u = 931.49\ MeV$

4. كتلة نظير الكربون $^{12}_{6}C$ تساوي 12.0000 u، احسب:
   - **a.** نقص الكتلة.
   - **b.** طاقة الربط النووية بوحدة MeV
5. نظير الهيدروجين الذي يحتوي على بروتون واحد ونيوترون واحد يسمى ديوتيريوم، كتلة ذرته 2.014102 u، ما مقدار:
   - **a.** نقص كتلته؟
   - **b.** طاقة الربط للديوتيريوم بوحدة MeV؟
6. يحتوي نظير النيتروجين $^{15}_{7}N$ على سبعة بروتونات، وثمانية نيوترونات، وكتلته 15.010109 u، احسب:
   - **a.** نقص الكتلة لهذه النواة.
   - **b.** طاقة الربط النووية لهذه النواة.
7. إذا كانت الكتلة النووية لنظير الأكسجين $^{16}_{8}O$ تساوي 15.994915 u ما مقدار:
   - **a.** نقص الكتلة لهذا النظير؟
   - **b.** طاقة الربط النووية لهذا النظير؟

في مجال الفيزياء النووية بدأ استخدام عنصر الراديوم المشع في الطب خلال عشرين عامًا من اكتشافه. واستخدمت مسارعات البروتون في التطبيقات الطبية، بعد أقل من عام من اختراعها. وبدأ التطبيق العسكري للانشطار النووي (انقسام الأنوية) وما زال تحت التطوير، حتى قبل أن تعرف الأساسيات الفيزيائية. وقد تبعتها التطبيقات السلمية بعد أقل من عشر سنوات.

3–1 مراجعة

8. **الأنوية** لاحظ أزواج الأنوية التالية: $^{12}_{6}C$ ، $^{13}_{6}C$ و $^{11}_{6}C$ ، $^{11}_{5}B$ بماذا يتشابه كل زوج منها، وبماذا يختلف؟
9. **طاقة الربط النووية** عندما يضمحل نظير التريتيوم $^{3}_{1}H$ فإنه ينبعث جسيم بيتا، ويصبح $^{3}_{2}He$، أي نواة تتوقع أن يكون لها أكبر طاقة ربط نووية؟
10. **الطاقة النووية القوية** مدى الطاقة النووية القوية قصير جدًّا؛ حيث إن النيوكليونات القريبة جدًّا بعضها من بعض تتأثر بهذه القوة. استخدم هذه الحقيقة في تفسير سبب تغلب قوة التنافر الكهرومغناطيسية على قوة التجاذب القوية في الأنوية الثقيلة، مما يجعل النواة غير مستقرة.
11. **نقص الكتلة** أي النواتين في المسألة 9 لها نقص كتلة أكبر؟
12. **نقص الكتلة وطاقة الربط** إذا علمت أن كتلة نظير الكربون المشع $^{14}_{6}C$ تساوي 14.003074، فاحسب مقدار:
    - **a.** نقص الكتلة لهذا النظير.
    - **b.** طاقة الربط النووية لهذا النظير.
13. **التفكير الناقد** في النجوم المتقدمة في العمر، ليس فقط الهيليوم والكربون ينتجان عن طريق اتحاد أنوية مترابطة معًا بشدة، ولكن ينتج الأكسجين ($Z = 8$) والسيليكون ($Z = 14$) أيضًا. ما العدد الذري للنواة الثقيلة التي يمكن أن تتكون بهذه الطريقة؟ فسّر.

الأهداف

- **تصف** ثلاثة أنماط للانبعاث الإشعاعي.
- **تحل** معادلات نووية.
- **تحسب** كمية المادة المشعة المتبقية، ونشاطيتها بعد فترة زمنية محددة.
- **تعرف** الاندماج النووي والانشطار النووي.
- **تصف** عمل المفاعل النووي.

المفردات

المواد المشعة
انبعاث ألفا
انبعاث بيتا
انبعاث جاما
عمر النصف
النشاطية
التفاعل النووي
الانشطار النووي
التفاعل المتسلسل
الاندماج النووي

في عام 1896م عمل بيكرل بمركبات تحتوي على عنصر اليورانيوم. وقد فوجئ عندما وجد أن لـون الصفائح الفوتوجرافية التي كانت تغطي اليورانيوم، وتحجب الضوء عنه أصبح ضبابيًّا، ودل اللون الضبابي هذا على أن نوعًا من الأشعة المنبعثة من اليورانيوم قد نفذت من الصفيحة التي تغطيه. وقد وجد أن بعض المواد الأخرى غير اليورانيوم أو مركباته قادرة على أن تبعث مثل هذه الأشعة النافذة. والمواد التي تطلق مثل هذا النوع من الإشعاع تسمى (المواد المشعة). وبسبب انبعاث جسيمات من هذه المواد فقد قيل إنها تضمحل؛ حيث تضمحل النواة عندما تنتقل من حالة أقل استقرارًا، إلى حالة أكثر استقرارًا، تلقائيًّا.

الاضمحلال الإشعاعي Radioactive Decay

في عام 1899م، اكتشف العالم رذرفورد ورفاقه أن عنصر الرادون يتحول تلقائيًّا إلى نواة أخف وإلى نواة هيليوم خفيفة. وفي العام نفسه اكتشف أيضًا أن مركبات اليورانيوم تنتج ثلاثة أنواع مختلفة من الإشعاع، فُصل بينها اعتمادًا على قدرتها على اختراق المواد. وقد أطلق عليها اسم إشعاعات α (ألفا)، و β (بيتا) و γ (جاما). حيث يمكن إيقاف جسيمات ألفا عند اصطدامها بصفيحة رقيقة من الورق، بينما يلزم سمك 6 mm من الألومنيوم لإيقاف معظم جسيمات بيتا، ويلزم سمك عدة سنتمترات من الرصاص لإيقاف إشعاع جاما.

انبعاث ألفا جسيم ألفا عبارة عن نواة هيليوم ${}^{4}_{2}\text{He}$، ويطلق على عملية انبعاث جسيمات ألفا من أنوية الذرات المشعة **انبعاث ألفا**. العدد الكتلي لجسيم ألفا ${}^{4}_{2}\text{He}$ هو 4، والعدد الذري له 2، فعندما تطلق النواة جسيم ألفا فإن عددها الكتلي A ينقص بمقدار 4، بينما ينقص العدد الذري Z لها بمقدار 2، فيتحوّل العنصر إلى عنصر مختلف. وعلى سبيل المثال يتحوّل اليورانيوم ${}^{238}_{92}\text{U}$ إلى ثوريوم ${}^{234}_{90}\text{Th}$ نتيجة انبعاث ألفا.

انبعاث بيتا جسيمات بيتا عبارة عن إلكترونات تنبعث من النواة. لا تحتوي النواة على إلكترونات، فمن أين تأتي هذه الإلكترونات؟ يحدث **انبعاث بيتا** عندما يتحول النيوترون إلى بروتون داخل النواة. في جميع التفاعلات يجب أن تبقى الشحنة محفوظة، لذا فإن الشحنة قبل التفاعل يجب أن تساوي الشحنة بعد التفاعل؛ فعندما تحدث عملية انبعاث بيتا يتحول النيوترون إلى بروتون وينتج أيضًا إلكترون. في هذا الاضمحلال تنتهي نواة عدد نيوتروناتها N وعدد بروتوناتها Z متحولة إلى نواة جديدة عدد نيوتروناتها N−1، وعدد بروتوناتها Z+1، مع ظهور جسيم آخر يدعى أنتي (ضديد) نيوترينو ${}^{0}_{0}\bar{\nu}$ مرافقًا لانبعاث بيتا.

انبعاث جاما تنبعث أشعة **جاما** نتيجة إعادة توزيع الطاقة داخل النواة. وإشعاع جاما عبارة عن فوتونات ذات طاقة عالية. ونتيجة لذلك لا يتغير العدد الكتلي أو العدد الذري للنواة المضمحلة. ويرافق إشعاع جاما عادة اضمحلال ألفا أو بيتا. وقد تم تلخيص خواص أنواع الانبعاثات الثلاثة للإشعاع في **الجدول 1–3**.

تمر العناصر المشعة خلال سلسلة الاضمحلالات الإشعاعية لتكوّن نواة مستقرة في النهاية. فاليورانيوم ${}^{238}_{92}\text{U}$ عندما يضمحل مثلاً يخضع إلى 14 انبعاثًا قبل أن ينتج نظير الرصاص ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ المستقر.

الجدول 1 – 3			
الخاصية	أشعة ألفا	أشعة بيتا	أشعة جاما
الرمز	α	β	γ
التركيب	جسمات ألفا	جسيمات بيتا	أشعة كهرومغناطيسية عالية الطاقة
وصف الإشعاع	نواة الهيليوم $^{4}_{2}\mathrm{He}$	الكترونات	فوتونات
الشحنة	$+2$	-1	0
الكتلة	$6.64\text{x}10^{-27}\,\mathrm{kg}$	$9.11\text{x}10^{-31}\,\mathrm{kg}$	0
الطاقة القصوى	5 MeV	$(0.05 - 1)$ MeV	1 MeV
قوة النفاذ النسبية	يمكن حجزها بورقة	يمكن حجزها بصفيحة الومنيوم	قد تخترق عدة سنتمترات من الرصاص

التفاعلات والمعادلات النووية
Nuclear Reactions and Equations

يحدث **التفاعل النووي** عندما تتغير طاقة النواة أو عدد النيوترونات أو عدد البروتونات فيها. وكما في التفاعلات الكيميائية، فإن بعض التفاعلات النووية ينتج عنها طاقة، بينما تحتاج تفاعلات أخرى للطاقة كي تحدث.

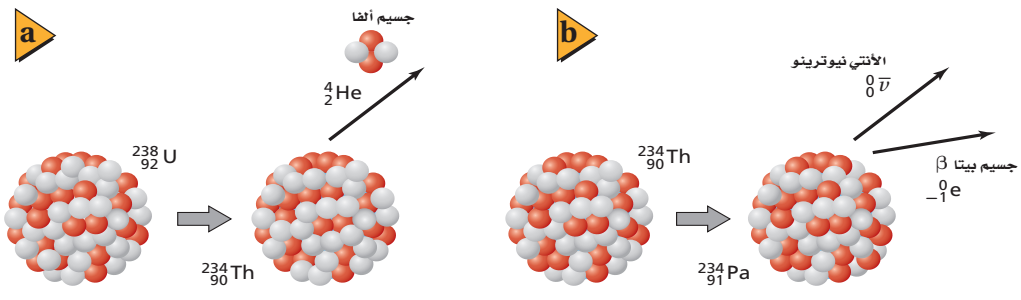
تتضمن بعض أنواع التفاعلات النووية انبعاث جسيمات بوساطة النشاط الاشعاعي للأنوية المشعة، ويرافق انبعاث هذه الجسيمات انطلاق طاقة زائدة على شكل طاقة حركية. ويمكن وصف التفاعلات النووية باستخدام الكلمات، والتمثيل البياني، أو المعادلات. فيمكن التعبير عن التفاعل النووي الموضح في **الشكل 3a–3** كما يلي:

$$^{238}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{Th} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

وخلال اضمحلال بيتا ينتج إلكترون $^{0}_{-1}\mathrm{e}$ ، والأنتي نيوترونيو $^{0}_{0}\overline{\nu}$. وعملية تحوّل ذرة الثوريوم بانبعاث جسيم بيتا أيضًا موضحة في **الشكل 3b–3**، كما يمكن التعبير عنها كما يلي:

$$^{234}_{90}\mathrm{Th} \longrightarrow {}^{234}_{91}\mathrm{Pa} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$$

وتخضع جميع التفاعلات النووية لمبادئ حفظ الكميات، ومنها مبدأ حفظ الشحنة ومبدأ حفظ العدد الكتلي، لذلك فإن مجموع الأعداد العلوية في طرف المعادلة الأيسر، يساوي مجموع الأعداد العلوية في الطرف الأيمن للمعادلة. وهناك أيضًا مساواة بين الأعداد السفلية في طرفي المعادلة.



الشكل 3–3 انبعاث جسيم ألفا بوساطة عنصر اليورانيوم– 238 ينتج عنه تكوّن الثوريوم 234 **(a)**. انبعاث جسيم بيتا بوساطة عنصر الثوريوم – 234 ينتج عنه تكوّن البروتكتانيوم – 234 **(b)**.

مثـــــال 2

انبعاث ألفا وبيتا اكتب المعادلة النووية لكل من التحولات الإشعاعية التالية:

a. نظير الراديوم المشع $^{226}_{88}Ra$ ، يبعث جسيم ألفا؛ ليتحول إلى نظير الرادون $^{222}_{86}Rn$

b. نظير الرصاص المشع $^{209}_{82}Pb$ ، يبعث جسيم بيتا، وأنتي نيوترينو ليتحول إلى نظير البزموث $^{209}_{83}Bi$

1 تحليل المسألة ورسمها

	المعلوم	المجهول
a.	$^{226}_{88}Ra \rightarrow$ جسيم α + $^{222}_{86}Rn$ جسيم $\alpha = {}^{4}_{2}He$	هل هذا الاضمحلال ممكن؟
b.	$^{209}_{82}Pb \rightarrow {}^{209}_{83}Bi +$ جسيم β + أنتي نيوترينو جسيم $\beta = {}^{0}_{-1}e$، أنتي نيوترينو $= {}^{0}_{0}\overline{\nu}$	هل هذا الاضمحلال ممكن؟

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. عوّض $^{4}_{2}He$ لجسيم α $\quad {}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{222}_{86}Rn$

b. عوّض $^{0}_{-1}e$ لجسيم β و $\overline{\nu}$ للأنتي نيوترينو $\quad {}^{209}_{82}Pb \rightarrow {}^{209}_{83}Bi + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$

3 تقويم الجواب

- **هل عدد النيوكليونات محفوظ؟**

a. 226 = 222 + 4، لذلك فإن العدد الكتلي محفوظ.

b. 209 = 209 + 0 + 0، لذلك فإن العدد الكتلي محفوظ.

- **هل الشحنة محفوظة؟**

a. 88=2+86، لذلك فإن الشحنة محفوظة.

b. 82=83−1+0، لذلك فإن الشحنة محفوظة.

مسائل تدريبية

14. اكتب المعادلة النووية لتحول نظير اليورانيوم المشع $^{234}_{92}U$ إلى نظير الثوريوم $^{230}_{90}Th$ ، بانبعاث جسيم ألفا.

15. اكتب المعادلة النووية، لتحول نظير الثوريوم المشع $^{230}_{90}Th$ ، إلى نظير الراديوم المشع $^{226}_{88}Ra$ ، بانبعاث جسيم ألفا.

16. يتحول نظير الرصاص المشع $^{214}_{82}Pb$ ، إلى نظير البزموث المشع $^{214}_{83}Bi$ ، بانبعاث جسيم بيتا وأنتي نيوترينو. اكتب المعادلة النووية.

عند انبعاث جسيمات ألفا أو بيتا، تظهر في الطرف الأيسر من المعادلة نواة واحدة تضمحل إلى نـواة أخـرى، بالإضافة إلى جسيم واحد أو أكثر من الجسيمات المشعة التي تظهر في الطرف الأيمن من المعادلة. مثال آخر على التحوّل، يحدث عندما يصطدم جسيم مع نواة ينتـج عنه غالبًا انبعاث جسيمات أخرى، كما في المعادلـة $^{12}_{6}C + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{13}_{7}N$. ومثل هذه التفاعلات موضحة في المثال التالي، وكذلك في مناقشـة موضوع الانشـطار النووي لاحقًا في الفصل.

مثـــــال 3

حل المعادلات النووية عند قذف غاز النيتروجين بجسيمات ألفا ينبعث بروتونات ذات طاقة عالية. ما العنصر الجديد الناتج؟

1 تحليل المسألة ورسمها

المعلوم

نيتروجين $= {}^{14}_{7}\mathrm{N}$ ، ألفا $= {}^{4}_{2}\mathrm{He}$

بروتون $= {}^{1}_{1}\mathrm{H}$

المجهول

ما العنصر الذي يتولد في الطرف الأيمن للمعادلة.

2 إيجاد الكمية المجهولة

اكتب معادلة التفاعل النووي.

$${}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{14}_{7}\mathrm{N} \longrightarrow {}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$$

حل المعادلة بالنسبة للعدد Z والعدد A.

$$A = 4 + 14 - 1 = 17 \qquad Z = 2 + 7 - 1 = 8$$

استخدم الجدول الدوري. العنصر ذو العدد الذري $Z = 8$ هو الأكسجين. والنظير يجب أن يكون ${}^{17}_{8}\mathrm{O}$

3 تقويم الجواب

- **هل المعادلة موزونة؟** عدد النيوكليونات محفوظ: $17 + 1 = 14 + 4$. الشحنة محفوظة: $8 + 1 = 7 + 2$

مسائل تدريبية

17. استخدم الجدول الدوري لإكمال المعادلتين النوويتين التاليتين:

a. ${}^{14}_{6}\mathrm{C} \longrightarrow \mathrm{X} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$ **b.** ${}^{55}_{24}\mathrm{Cr} \longrightarrow \mathrm{Y} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$

18. اصطدم بروتون بنظير النيتروجين ${}^{15}_{7}\mathrm{N}$، فتكوّن عنصر جديد وجسيم ألفا. ما العنصر الناتج؟ اكتب معادلة نووية تبين ذلك.

19. اكتب المعادلات النووية لانبعاث جسيم بيتا من العناصر التالية:

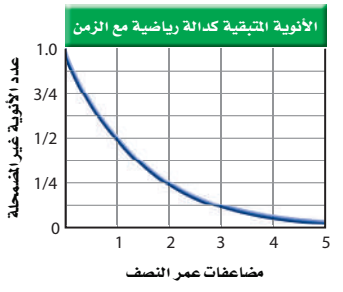
a. ${}^{210}_{83}\mathrm{Bi}$ **b.** ${}^{234}_{90}\mathrm{Th}$ **c.** ${}^{239}_{93}\mathrm{Np}$

عمر النصف Half – Life

تسمى الفترة الزمنية اللازمة لاضمحلال نصف ذرات أي كمية من نظير العنصر المشع **عمر النصف** لذلك العنصر. بعد مرور فترة عمر النصف كاملة يقل عدد الأنوية غير المضمحلة إلى النصف، كما هو موضح في **الشكل 4–3**. ولكل نظير مشع عمر نصف خاص به.

فعمر النصف لنظير الراديوم ${}^{226}_{88}\mathrm{Ra}$ مثلاً 1600 سنة. وبذلك فإن كل 1600 سنة يضمحل نصف الكمية المعطاة من الراديوم ${}^{226}_{88}\mathrm{Ra}$ إلى عنصر آخر، هو الرادون، وبعد 1600 سنة أخرى يضمحل نصف عينة الراديوم المتبقية. أي أنه بعد مرور 3200 سنة يبقى ربع الكمية الأصلية. وفي المقابل، تضمحل عينة من البولونيوم–210 إلى ربع الكمية الأصلية خلال 276 يومًا فقط.

الشكل 4–3 اضمحلال النواة المشعة إلى حالات أكثر استقرارًا.



الجدول 2–3

عمر النصف لنظائر مختارة

العنصر	النظير	عمر النصف	الإشعاع الناتج
هيدروجين	$^{3}_{1}H$	12.3 yr	β
كربون	$^{14}_{6}C$	5730 yr	β
كوبلت	$^{60}_{27}Co$	5.272 yr	β, γ
يود	$^{131}_{53}I$	8.07 days	β, γ
رصاص	$^{212}_{82}Pb$	10.6 h	β
بولونيوم	$^{194}_{84}Po$	0.7 s	α
بولونيوم	$^{210}_{84}Po$	138 day	α, γ
يورانيوم	$^{235}_{92}U$	7.1×10^{8}yr	α, γ
يورانيوم	$^{238}_{92}U$	4.51×10^{9}yr	α, γ
بلوتونيوم	$^{236}_{94}Pu$	2.85 yr	α
بلوتونيوم	$^{242}_{94}Pu$	3.79×10^{5}yr	α, γ

من خلال أعمار النصف للنظائر المختارة الموضحة في **الجدول 2–3**. إذا عرفت الكمية الأصلية للمادة المشعة الأصلية، وعمر نصفها، فإنك تستطيع حساب الكمية المتبقية بعد عدد معين من أعمار النصف.

الكمية المتبقية من العنصر المشع: $N = N_0 (1/2)^n$

حيث أن N الكمية المتبقية و N_0 الكمية الأولية و n عدد فترات عمر النصف التي انقضت.

الكمية المتبقية تساوي الكمية الأولية مضروبة في نصف مرفوعة لأس يساوي عدد فترات عمر النصف التي انقضت.

تستخدم أعمار النصف للنظائر المشعة لتحديد عمر الأجسام. فيمكن إيجاد عمر عينة من مادة عضوية بقياس كمية الكربون– 14 المتبقية. ويمكن حساب عمر الأرض اعتمادًا على اضمحلال اليورانيوم إلى الرصاص.

يسمى معدل الاضمحلال، أو عدد انحلالات المادة المشعة كل ثانية **النشاطية**. وتتناسب النشاطية طرديًّا مع عدد الذرات المشعة الموجودة. لذلك فإن النشاطية الإشعاعية لعينة معينة تقل أيضًا بمقدار النصف خلال عمر نصف واحد. تأمل النظير $^{131}_{53}I$ الذي عمر النصف له 8.07 أيام. فإذا كانت النشاطية لعينة معينة من اليود –131 تساوي 8×10^{5} اضمحلال/ ثانية، فسوف تكون نشاطيتها بعد انقضاء 8.07 أيام أخرى 4×10^{5} اضمحلال/ ثانية؛ وبعد 8.07 أيام أخرى تكون نشاطيتها 2×10^{5} اضمحلال/ ثانية، فنشاطية العينة ترتبط أيضًا مع عمر النصف. فعمر النصف الأقصر يعني نشاطية أكبر. فإذا عرفت نشاطية مادة معينة، وكتلة تلك المادة، فإنك تستطيع تحديد عمر النصف لها. ووحدة الاضمحلال لكل ثانية في النظام الدولي للوحدات SI هي البيكرل(Bq).

مسائل تدريبية

*ارجع إلى **الشكل 4–3** و**الجدول 2–3** لحل المسائل التالية:*

20. تولدت عينة تريتيوم $^{3}_{1}H$ كتلتها 1.0 g، ما كتلة التريتيوم التي تتبقى بعد مرور 24.6 سنة؟

21. عمر النصف لنظير النبتونيوم $^{238}_{93}Np$ هو 2.0 يوم. فإذا أنتجت عينة كتلتها 4.0 g من النبتونيوم يوم الإثنين، فما الكتلة التي ستبقى منه يوم الثلاثاء من الأسبوع التالي؟

22. تم شراء عينة من البولونيوم–210 بتاريخ 9/ 1، وكانت نشاطيتها 2×10^{6} Bq، استخدمت العينة لإجراء تجربة في 6/ 1 من السنة التالية. ما النشاطية المتوقعة للعينة؟

23. استخدم التريتيوم $^{3}_{1}H$ في العقود الأولى من القرن الماضي في بعض ساعات اليد لتوليد التوهج الفلوري؛ لكي تستطيع قراءة الوقت في الظلام. إذا كان سطوع التوهج يتناسب طرديًّا مع نشاطية التريتيوم، فكيف يكون سطوع هذه الساعة، بالمقارنة مع سطوعها الأصلي عندما يكون عمر الساعة ست سنوات؟

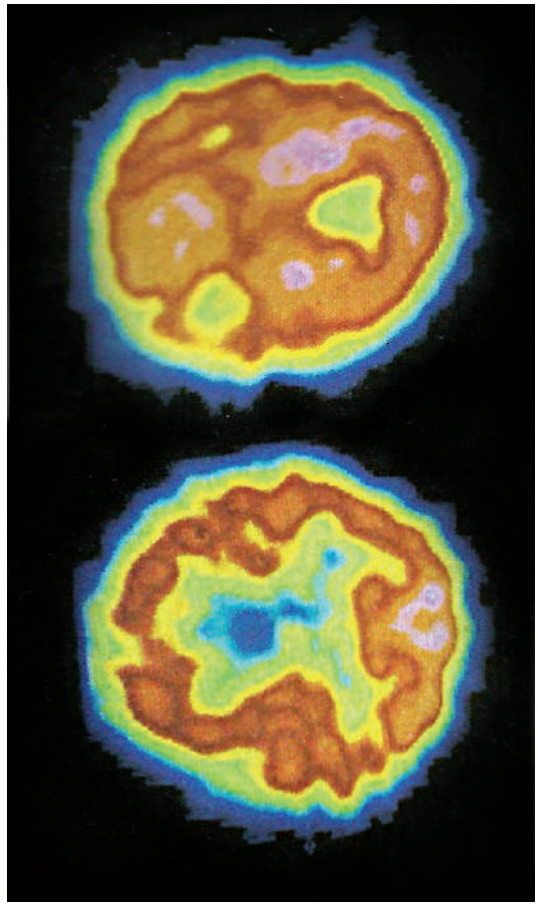
النشاط الإشعاعي الاصطناعي Artificial Radioactivity

يمكن إنتاج نظائر مشعة من العناصر المستقرة بقذفها بجسيمات ألفا، أو ببروتونات، أو إلكترونات أو أشعة جاما؛ حيث تطلق الأنوية غير المستقرة الناتجة إشعاعات، حتى تتحول إلى نظائر مستقرة. ويمكن للأنوية المشعة أن تبعث جسيمات ألفا، وجسيمات بيتا، وإشعاع جاما. بالإضافة إلى النيوترينو، والأنتي نيوترينو، والبوزترونات.

تستخدم النظائر المشعة المنتجة اصطناعيًّا غالبًا في البحوث الدوائية والطبية. ففي العديد من التطبيقات الطبية يُحقن المرضى نظائر مشعة تمتصها أعضاء محددة من الجسم. ويستخدم الأطباء عدّاد الإشعاع لمراقبة الإشعاع في العضو الذي يخضع للعلاج. وبعض النظائر المشعة تتعلق بالجزيء الذي سيُمتص في منطقة العلاج، كما يحدث في تطبيق انبعاث البوزوترون في عملية التصوير الإشعاعي المقطعي، الذي يعرف بشكل أفضل بالتصوير الطبقي للدماغ PET كما هو موضح في **الشكل 5–3**.

وكثيرًا ما يستخدم الإشعاع لتدمير الخلايا السرطانية؛ فهذه الخلايا أكثر حساسية لتأثيرات التدمير الإشعاعي؛ لأنها تنقسم غالبًا أكثر من الخلايا الطبيعية. وتستخدم أشعة جاما المنبعثة من نظير الكوبلت $^{60}_{27}\mathrm{Co}$ لمعالجة مرضى السرطان. ويحقن نظير اليود المشع في الغدة الدرقية المصابة بالسرطان.

وفي تطبيق ثالث، توجَّه الجسيمات الناتجة في مسارع الجسيمات على شكل شعاع إلى داخل النسيج بطريقة معينة، بحيث تضمحل في النسيج المصاب بالسرطان، فتدمر خلاياه.



الشكل 5–3 من أجل إجراء التصوير الطبقي للدماغ يقوم الأطباء بحقن سائل يحوي نظائر مشعة مثل $^{18}_{9}\mathrm{F}$ ترتبط مع الجزيء الذي سوف يتركز في الأنسجة تحت العلاج. عندما يضمحل $^{18}_{9}\mathrm{F}$ ينتج بوزترونات تفنى عندما تتحد مع الإلكترونات منتجة أشعة جاما، التي يكشف عنها بجهاز التصوير الطبقي. بعد ذلك يكوّن الحاسوب خريطة ثلاثية الأبعاد لتوزيع النظير. دماغ طبيعي — في أعلى الشكل — ودماغ شخص يعاني من داء الخرف — في أسفل الشكل —.

تطبيق الفيزياء

العلاج بالأشعة

أشعة جاما تدمر الخلايا السرطانية والخلايا السليمة لذلك يجب أن يُوجه الاشعاع مباشرة إلى الخلايا السرطانية فقط.

الانشطار النووي Nuclear Fission

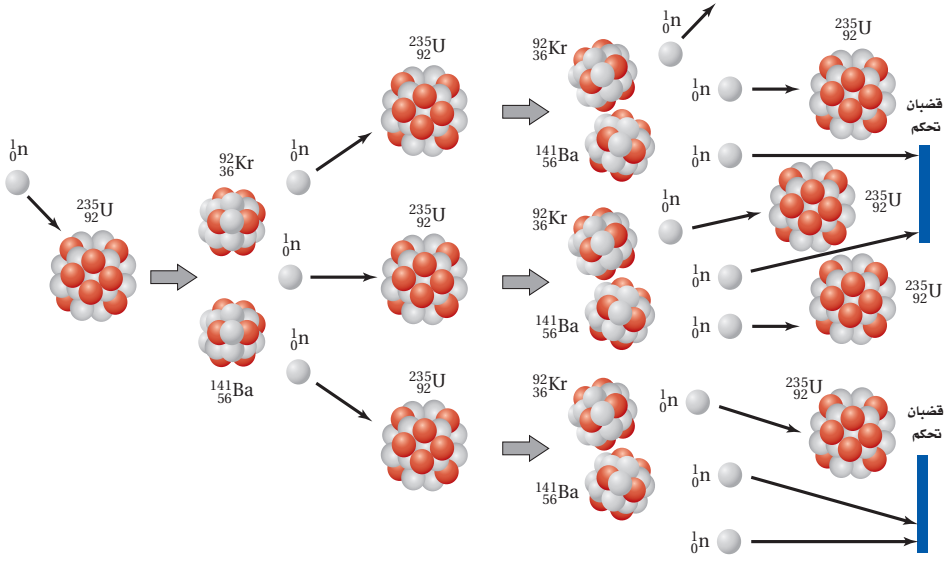
أنتج كل من العالمين أنريكو فيرمي، وأميليو سيرجي في ايطاليا عام 1934م العديد من النظائر المشعة الجديدة بقذف اليورانيوم بالنيوترونات؛ مما يسبّب انقسامها إلى نواتين أصغر، وإنتاج طاقة كبيرة جدًّا، ويسمى مثل هذا الانقسام للنواة الثقيلة إلى نواتين أو أكثر **الانشطارالنووي**. وقد أدرك الكثير من العلماء إمكانية ألا يكون الانشطار النووي مصدرًا للطاقة فقط، ولكن أيضًا يمكن أن يكوّن أسلحة متفجرة.

يحدث الانشطار النووي لليورانيوم، عندما تنشطر نواة نظير اليورانيوم إلى نواتي عنصري الباريوم والكربتون عند قذفها بنيوترون بطيء. والمعادلة النووية التالية توضح هذا التفاعل:

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \longrightarrow {}^{92}_{36}Kr + {}^{141}_{56}Ba + 3\,{}^{1}_{0}n + 200\ MeV$$

ويمكن إيجاد الطاقة المتحررة نتيجة كل انشطار بحساب كتل الذرات في كل من طرفي المعادلة. ففي تفاعل اليورانيوم– 235، تكون الكتلة الكلية في الطرف الأيمن للمعادلة أقل بمقدار 0.215 u من الكتلة الكلية في الطرف الأيسر. والطاقة المكافئة لهذه الكتلة هي 3.21×10^{-11} J، أو 2.00×10^{2} MeV، وهذه الطاقة تظهر على شكل طاقة حركية لنتائج الانشطار.

عندما يُحدث النيوترون الواحد انشطارًا نوويًّا، فإن ذلك الانشطار يحرر ثلاثة نيوترونات، كل منها يستطيع أن يُحدث انشطارًا جديدًا، وهكذا. وتسمى العملية المستمرة في تفاعلات الانشطار المتكررة التي تسبب تحرير نيوترونات من تفاعلات الانشطار السابقة **التفاعل المتسلسل**. وهذه العملية موضحة في **الشكل 6–3**.



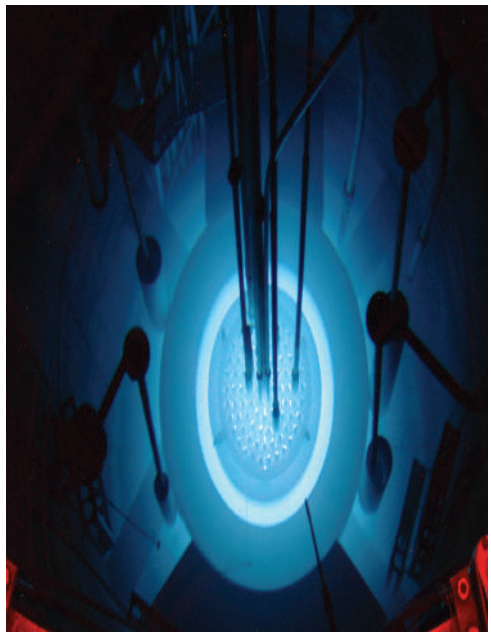
الشكل 6–3 تفاعل الانشطار النووي المتسلسل لليورانيوم–235 الذي يحدث في قلب المفاعل النووي.

المفاعلات النووية Nuclear Reactors

لإحداث تفاعل متسلسل مسيطر عليه بحيث تستخدم الطاقة الناتجة في الاغراض السلمية، تحتاج النيوترونات للتفاعل مع اليورانيوم المنشطر بمعدل مناسب؛ فمعظم النيوترونات المحررة نتيجة انشطار ذرات اليورانيوم $^{235}_{92}U$ تتحرك بسرعات عالية جدًّا، وهذه النيوترونات تسمى النيوترونات السريعة. وبالإضافة إلى ذلك فإن اليورانيوم الذي يوجد طبيعيًّا يحتوي على أقل من 1% من نظير اليورانيوم $^{235}_{92}U$ وأكثر من 99% من نظير اليورانيوم $^{238}_{92}U$، وعندما تمتص نواة $^{238}_{92}U$ نيوترونًا سريعًا فإنها لاتنشطر، ولكنها تصبح نظيرًا جديدًا $^{239}_{92}U$، إن امتصاص النيوترونات بوساطة $^{238}_{92}U$ يمنع معظم النيوترونات من الوصول إلى ذرات $^{235}_{92}U$ الانشطارية. ومن ثم فإن معظم النيوترونات المحررة نتيجة انشطار $^{235}_{92}U$ غير قادرة على إحداث انشطار لذرة أخرى من $^{235}_{92}U$.

للسيطرة على التفاعل يفتت اليورانيوم إلى قطع صغيرة توضع في مهدئ، وهي مادة يمكن أن تبطئ النيوترونات السريعة. وعندما يصطدم النيوترون بذرة خفيفة، فإنه ينقل عزمه وطاقته إلى تلك الذرة. وبهذه الطريقة فإن النيوترون يخسر طاقة. وهكذا فإن المهدئ يبطئ الكثير من النيوترونات السريعة، إلى سرعات يمكن عندها امتصاصها بسهولة أكثر بوساطة $^{235}_{92}U$ مقارنة مع $^{238}_{92}U$. إن العدد الأكبر من النيوترونات البطيئة، تزيد إلى حد كبير من احتمال انشطار نواة $^{235}_{92}U$ وقد يحدث تفاعلاً آخر. وإذا توافرت كمية كبيرة من نظير اليورانيوم $^{235}_{92}U$ في العينة، فإنه يمكن أن يحدث تفاعلاً متسلسلاً. ولزيادة نظير اليورانيوم القابل للانشطار يمكن تخصيب اليورانيوم؛ وذلك بإضافة كمية أكبر من $^{235}_{92}U$. علمًا بأن نوعي اليورانيوم كليهما يستخدمان في المفاعلات النووية.

مفاعل الماء المضغوط هو أحد أنواع المفاعلات النووية المستخدمة في الولايات المتحدة الأمريكية، ويحتوي على 200 طن متري من قضبان اليورانيوم المغمورة في الماء، كما في **الشكل 7–3**. لا يعمل الماء مهدئًا فقط، بل ينقل أيضًا الطاقة الحرارية بعيدًا عن انشطار اليورانيوم.



الشكل 7–3 عندما توضع قضبان الوقود داخل الماء تبعث الإلكترونات فوتونات تسبب توهج الماء، ويعود هذا التوهج إلى تأثير كرنيكوف الذي يحدث عندما تدخل جسيمات إلى الماء بسرعة عالية؛ وليس بسبب النشاطية الاشعاعية.

تجربة

نمذجة الاضمحلال الإشعاعي

نحتاج إلى 50 قطعة نقدية معدنية لتمثيل 50 ذرة نظير مشع. في هذا النموذج يمثل أحد وجهي القطعة (الشعار) أنوية غير مضمحلة.

1. **دوّن** 50 (شعارًا) في البداية.
2. **ضع** القطع النقدية في كأس كبيرة، ثم رج الكأس وأفرغها من القطع. ارفع القطع النقدية التي وجه الكتابة فيها إلى أعلى وضعها جانبًا. وعُدّ ودوّن عدد القطع الباقية.
3. **أعد** الخطوة 2 باستخدام القطع النقدية التي كان وجهها العلوي شعارًا في الرمية الأخيرة. كل رمية تمثل عمر نصف واحد.

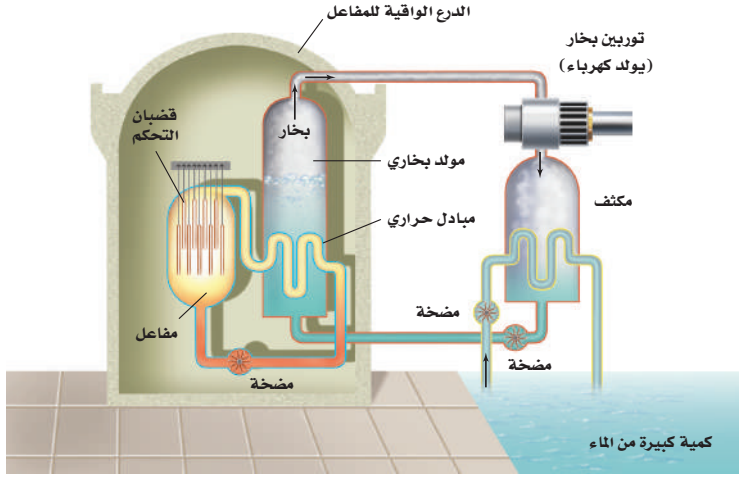
التحليل والاستنتاج

4. **تمثيل بياني** مثّل عدد القطع النقدية في دالة رياضية مع عدد أعمار النصف.
5. **اجمع** النتائج من طلبة آخرين واستخدم المجاميع لعمل تمثيل بياني جديد.
6. **قارن** هذا الرسم البياني مع الرسوم البيانية لزملائك. أيها أكثر تطابقًا مع الرسم البياني النظري في الشكل 4–3؟

توضع قضبان الكادميوم بين قضبان اليورانيوم، وتتحرك إلى داخل وخارج المفاعل للتحكم بمعدل التفاعل المتسلسل. لذلك تسمى هذه القضبان قضبان التحكم، فعندما يتم إدخال قضبان التحكم كليًّا داخل المفاعل، فإنها تمتص عددًا كافيًا من النيوترونات المتحررة نتيجة التفاعلات الانشطارية، وبذلك تمنع حدوث تفاعلٍ متسلسلٍ آخر، وعندما ترفع من المفاعل فإن معدل الطاقة المتحررة يزداد بسبب توافر نيوترونات كافية لاستمرار حدوث التفاعل المتسلسل.

تسخن الطاقة المتحررة من الانشطار الماء المحيط بقضبان اليورانيوم، لكن الماء نفسه لا يغلي؛ لأنه تحت ضغط كبير جدًّا، يزيد من درجة غليانه. وكما هو موضح في **الشكل 8–3**. يضخ هذا الماء إلى المبادل الحراري، فيسبب غليان ماء آخر منتجًا بخارًا يعمل على إدارة التوربينات. وهذه التوربينات موصولة بمولدات لتوليد الطاقة الكهربائية.

إن انشطار نواة $^{235}_{92}U$ ، ينتج ذرات كربتون Kr، وباريوم Ba وبعض الذرات الأخرى في قضبان الوقود. ومعظم هذه الذرات مشعة. وبعد سنة تقريبًا يجب استبدال بعض قضبان اليورانيوم. التي لا يمكن أعادة استخدامها في المفاعل، لكنها تبقى مشعة بمقدار كبير وخطيرة جدًا، لذا يجب أن تخزّن في موقع آمن. وحاليًّا يتم تطوير أساليب دائمة لتخزين هذه المخلفات النووية الإشعاعية الناتجة.

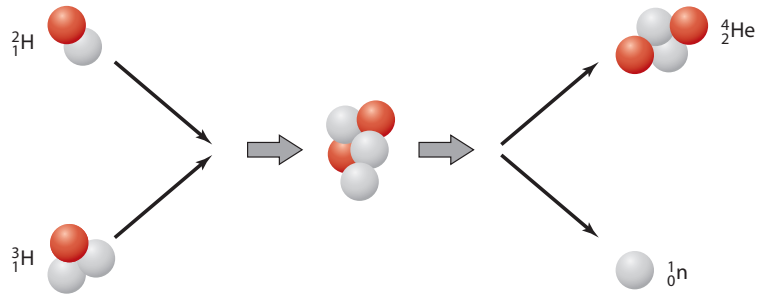


الشكل 8–3 في محطة الطاقة النووية تتحول الطاقة الحرارية المتحررة من التفاعلات النووية إلى طاقة كهربائية.

الاندماج النووي Nuclear Fusion

في عملية **الاندماج النووي** تندمج أنوية خفيفة؛ لتكوين أنوية أثقل وتتحرر طاقة كبيرة نتيجة هذه العملية كما في **الشكل 9–3**. درست سابقًا أن النواة الأثقل تكون طاقة ربطها أكبر، وتكون كتلتها أقل من مجموع كتل النيوكليونات المكونة لها. وهذا النقص في الكتلة يحدد مقدار الطاقة المتحررة.

إن العمليات التي تحدث في الشمس هي مثال على عملية الاندماج النووي؛ ومن أمثلتها تفاعل سلسلة (I) (بروتون – بروتون) حيث تندمج أربع أنوية هيدروجين (بروتونات) خلال عدة مراحل لتكوين نواة ذرة هيليوم واحدة. إن كتلة أربعة بروتونات أكبر من كتلة نواة الهيليوم – 4 الناتجة، وهذه الطاقة المكافئة لفرق الكتلة تظهر على شكل طاقة حركية للجسيمات الناتجة. والطاقة المتحررة نتيجة الاندماج تساوي 25 MeV، وبالمقارنة مع الطاقة المتحررة من تفاعل كيميائي لجزيء واحد من الديناميت والتي تعادل 20 eV، تقريبًا، نجد أنها أقل مليون مرة تقريبًا من طاقة الاندماج النووي.



■ **الشكل 9–3** اندماج الديوتيريوم والتريتيوم لإنتاج الهيليوم. البروتون باللون الأحمر، والنيوترون باللون الرمادي في الشكل.

تندمج نواتي ذرة الهيدروجين $^{1}_{1}H$ لإنتاج نواة نظير الهيدروجين (الديوتيريوم) $^{2}_{1}H$

$$^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{2}_{1}H + {}^{0}_{+1}e + {}^{0}_{0}\nu$$

ثم تندمج نواة ديوتيريوم مع نواة هيدروجين لإنتاج نواة نظير الهليوم $^{3}_{2}He$

$$^{1}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{2}He + \gamma$$

ويحدث التفاعلان السابقان مرتين لإنتاج جسيمين $^{3}_{2}He$ يلزمان لإحداث التفاعل التالي:

$$^{3}_{2}He + {}^{3}_{2}He \longrightarrow {}^{4}_{2}He + 2\,{}^{1}_{1}H$$

والنتيجة النهائية هي أن أربعة بروتونات تنتج ذرة $^{4}_{2}He$ واحدة واثنين من البوزيترونات واثنين من النيوترينات وطاقة.

إن قوة التنافر بين النوى المشحونة تحتاج أن تكون طاقة النوى المندمجة عالية جدًّا. لذلك لا تحدث تفاعلات الاندماج، إلا عندما يكون للأنوية كميات هائلة من الطاقة الحرارية. وتحتاج سلسلة بروتون– بروتون إلى درجة حرارة $2 \times 10^{7}\,K$، كتلك التي وجدت في مركز الشمس. وبالكيفية نفسها تحدث تفاعلات الاندماج في القنبلة الهيدروجينية، أو القنبلة النووية الحرارية. فنحصل على درجة الحرارة العالية الضرورية لإحداث التفاعل الاندماجي في هذه القنبلة من انشطار اليورانيوم أو القنبلة النووية.

3–2 مراجعة

24. **انبعاث بيتا** كيف يمكن لإلكترون أن ينبعث من النواة في انبعاث بيتا إذا لم تحتوي النواة على الإلكترونات؟

25. **التفاعلات النووية** يخضع نظير البولونيوم $^{210}_{84}Po$ لانبعاث ألفا. اكتب معادلة التفاعل.

26. **المفاعل النووي** يستخدم الرصاص واقيًا من الإشعاع. لماذا لا يمكن اعتباره خيارًا جيدًا ليكون مهدئًا في المفاعل النووي؟

27. **الاندماج النووي** يحتوي تفاعل اندماجي واحد على نواتي ديوتيريوم $^{2}_{1}H$، ويحتوي جزيء الديوتيريوم على ذرتي ديوتيريوم. لماذا لا يتعرض الجزيئان لعملية الاندماج؟

28. **طاقة** احسب الطاقة المتحررة من التفاعل النووي الاندماجي التالي في الشمس:

$$^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{2}_{1}H + {}^{0}_{+1}e + {}^{0}_{0}\nu$$

29. **التفكير الناقد** تستخدم بواعث ألفا في كواشف التدخين. فيوضع باعث على أحد ألواح المكثف. وتصطدم جسيمات ألفا باللوح الآخر، ونتيجة لذلك يتولد فرق في الجهد بين اللوحين. فسّر وتنبأ أي اللوحين يكون له جهد موجب أكبر.

الأهداف

- **تصف** عمل مسارعات الجسيمات، وكواشف الجسيمات.
- **تصف** النموذج المعياري للمادة، وتفسر دور حاملات القوة.

المفردات

الكواركات
الليبتونات
النموذج المعياري
حاملات القوة
إنتاج الزوج
القوة النووية الضعيفة

عندما درس الفيزيائيون الأوائل النواة بوساطة الجسيمات ذات السرعات العالية، كان عليهم استخدام جسيمات ألفا من مصادر مشعة. وقد استخدم مجربون آخرون الأشعة الكونية التي تنتج عن عمليات لم تفهم بصورة كاملة حتى الآن في النجوم والمجرات. في بداية عام 1930م طُورت أول أجهزة مختبرية استطاعت مسارعة البروتونات، وجسيمات ألفا لتكسبها طاقة كبيرة كافية لاختراق نواة الهدف. وفي الوقت الحاضر يستخدم جهازان لهذا الغرض هما المسارع الخطي والسنكروترون بشكل منتظم.

المسارعات الخطية Linear Accelerators

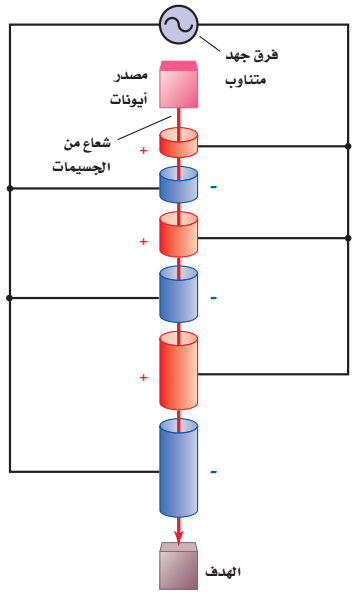
يستخدم المسارع الخطي لمسارعة البروتونات أو الإلكترونات، ويتكون المسارع من سلسلة من الأنابيب المجوّفة داخل حجرة طويلة مخلخلة الضغط. والأنابيب موصولة بمصدر جهد متناوب عالي التردد، كما في **الشكل 10–3**. تُنتج البروتونات في مصدر أيوني، وعندما يطبق جهد سالب على الأنبوب الأول فإن البروتونات الداخلة له تتسارع. ونتيجة لعدم وجود مجال كهربائي داخل الأنبوب، فإن البروتونات تتحرك داخله بسرعة ثابتة. ويعدل كل من طول الأنبوب وتردد الجهد؛ بحيث عندما تصل البروتونات إلى النهاية البعيدة له فإن جهد الأنبوب الثاني يصبح سالبًا بالنسبة للأنبوب الأول. فيعمل المجال الكهربائي المتكوّن في الفجوة بين الأنابيب على مسارعة البروتونات إلى داخل الأنبوب الثاني. تستمر هذه العملية بحيث تبقى البروتونات تتسارع بين كل زوج من الأنابيب. تزداد طاقة البروتون بمقدار 10^5 eV بتأثير كل تسارع. وفي نهاية المسارع تكون البروتونات قد اكتسبت عدة ملايين أو بلايين الإلكترون فولت من الطاقة.

وهناك طرائق أخرى مماثلة تستخدم لمسارعة الإلكترونات. لاحظ أن هذا النوع من المسارعات يعمل على تسارع الجسيمات المشحونة فقط.

الشكل 10–3 المسارع الخطي في جامعة ستنادفورد طوله 3.3 km ويعمل على مسارعة الإلكترونات إلى طاقات 20 GeV (**a**). تتسارع بروتونات في مسارع خطي عن طريق تغيير الشحنة في الأنابيب في أثناء حركة البروتونات (**b**).

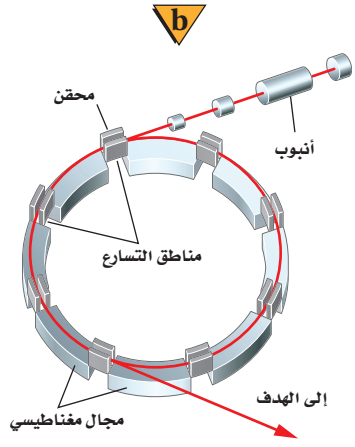
a

b



السنكروترون The Synchrotron

يمكن أن يصنع المسارع ليكون أصغر باستخدام المجال المغناطيسي؛ لجعل مسار الجسيمات دائريًّا. في جهاز السنكروترون تفصل مناطق الانحراف المغناطيسي بمناطق تسارع، كما في **الشكل 3–11b**. في المناطق المستقيمة، فإن الجهد المتناوب العالي التردد يسارع الجسيمات، إن شدة المجال المغناطيسي وطول المسار يتم اختيارهما؛ بحيث تصل الجسيمات إلى موقع المجال الكهربائي المتناوب بالضبط، عندما تعمل قطبية المجال على تسارعها. إن إحدى أجهزة السنكروترون الضخمة التي تعمل الآن موجودة في مختبر مسارع فيرمي الوطني بالقرب من شيكاجو الموضح في **الشكل 3–11a**، حيث تصل طاقة البروتونات فيه إلى 1 TeV (10^{12} eV) . ينتقل شعاع البروتون، وشعاع ضديد البروتون في اتجاهات متعاكسة في المسار الدائري (ضديد البروتون جسيم له كتلة البروتون نفسها لكن شحنة معاكسة) فتتصادم الأشعة في مناطق تفاعلات متعددة، وتدرس النتائج.

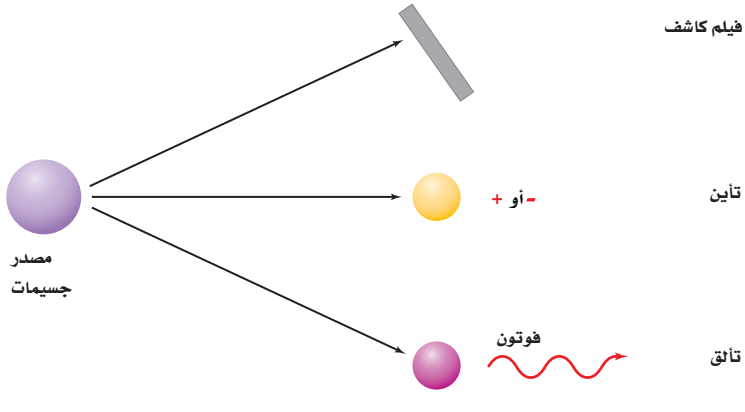


الشكل 3–11 سنكروترون مختبر فيرمي نصف قطره 2 km (**a**). السنكروترون عبارة عن مسارع دائري، تستخدم فيه المغانط لضبط المسار وتسارع الجسيمات (**b**).

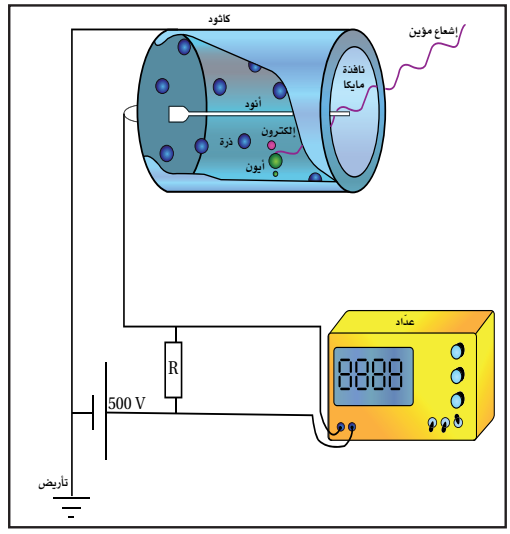
كواشف الجسيمات Paricle Detectors

عندما تنتج الجسيمات لا بد من الكشف عن نتائج التصادم. أي أنها تحتاج إلى التفاعل مع مادة بطريقة معينة؛ بحيث نستطيع الإحساس بها بحواسنا الإنسانية المحدودة نسبيًّا. فيدك توقف جسيم ألفا، رغم عدم إحساسك بأن الجسيم قد ارتطم بك. وفي اللحظة التي تقرأ فيها هذه العبارة، تعبر جسمك بلايين النيوترونات الشمسية دون أن تشعر بها. لذلك ابتكر العلماء خلال القرن الماضي أدوات لكشف وتمييز نواتج التفاعلات النووية.

درست أن عينات اليورانيوم كوّنت طبقة ضبابية على الصفائح الفوتوجرافية؛ فعندما اصطدمت جسيمات ألفا أو جسيمات بيتا أو أشعة جاما بالصفيحة الفوتوجرافية أصبح لون الصفيحة ضبابيًّا. لذلك يمكن استخدام تلك الصفائح للكشف عن الإشعاع. وتستخدم أجهزة أخرى عديدة للكشف عن الجسيمات المشحونة وأشعة جاما. ومعظم هذه الأجهزة تعمل على مبدأ الاستفادة من حقيقة أن تصادم الذرات مع جسيمات ذات سرعة عالية تعمل على تحرير إلكترونات من الذرات، أي أن الجسيمات العالية السرعة تؤين المادة التي تُقذف إليها. بالإضافة إلى ذلك تتألق (تلمع) بعض المواد، أو تبعث فوتونات، عند تعرضها لأنواع معينة من الإشعاع. وهكذا فإن المواد الفلّورية يمكن أن تستخدم أيضًا للكشف عن الإشعاع. وهذه الطرائق الثلاث للكشف عن الإشعاع موضحة في **الشكل 3–12**.



الشكل 3–12 يمكن الكشف عن الجسيمات عندما تتفاعل مع المادة عن طريق التعرض لفيلم كاشف، أو شحن المادة، أو التسبب بانبعاث فوتونات من المادة.



الشكل 13–3 يبين تركيب انبوب عداد جايجر

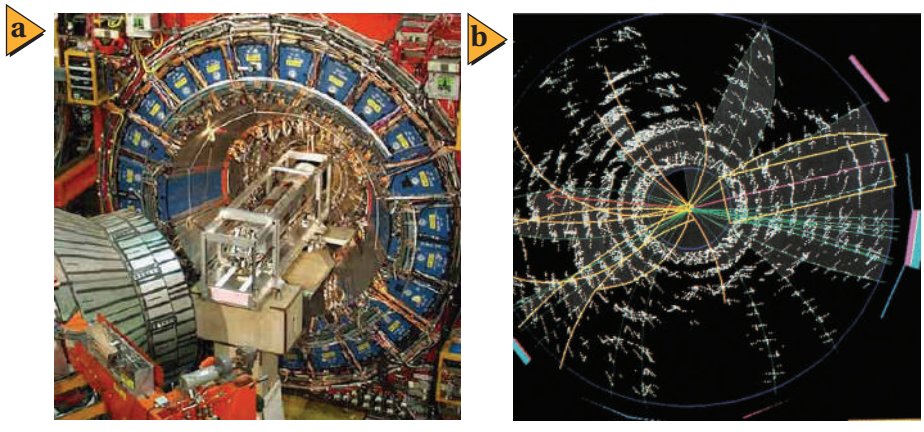
عـدّاد جايجـر يحتوي أنبـوب عدّاد جايجـر– مولر الموضح في **الشـكل 13–3** عـلى أسـطوانة نحاسـية ذات شـحنة سـالبة. يوضـع في محورها قطـب معدني موجـب الشـحنة، بحيـث يبقى فـرق الجهد المطبق عـلى القطب والأسـطوانة دون النقطـة التي يحدث عندها التفريغ التلقائي للشـحنات أو الومضة. عندما يدخل جسـيم مشحون أو أشـعة جاما إلى الأنبوب يؤيِّن ذرة غاز بين أسطوانة النحاس والقطب، فيتسارع الأيون الموجب الناتج في اتجاه أسطوانة النحاس، تحـت تأثير فرق الجهد، ويتسـارع إلكـترون في اتجاه القطـب الموجب. وحركة الجسـيمات المشـحونة في اتجاه الأقطاب تولِّد سـيلاً من الجسـيمات المشـحونة، فتتحرك نبضة التيار خلال الأنبوب.

مسارات التكاثف أول جهاز استخدم للكشف عن الجسيمات كان حجرة غيمة ولسـون. تحتوي هذه الحجرة على منطقة مشـبعة ببخار الماء أو بخار الإيثانول. وعندما تنتقل الجسـيمات المشـحونة خـلال الحجرة تترك أثرًا مـن الأيونات في مسـارها، فيتكاثف البخار على شـكل قطرات صغيرة على تلك الأيونات. وبهذه الطريقة تتكـون مسـارات مرئيـة من القطـرات، أو الضبـاب. وفي الكشـاف المماثل الـذي لا يزال يسـتخدم حتى الآن، والمسـمى بحجرة الفقاعة، تعبر الجسـيمات المشـحونة خلال سـائل تبقى درجة حرارته فوق درجة الغليان. في هذه الحالة، فإن مسـار الأيونات يسـبب تكوُّن فقاعات بخار تحدد مسارات الجسيمات، كما في **الشكل 14–3**.

الشـكل 14–3 تُظهـر صـورة حجـرة فقاعـة اللـون الوهمية مسـار الجسيمات المشحونة.

أنتجـت التقنية الحديثة حجرات كشـف تسـمى حجرات سـلكية تشـبه أنابيـب جايجر– مولـر العملاقـة. وتفصل الصفائح الكبيرة بوسـاطة فجوة صغيرة مملـوءة بغاز ذي ضغط منخفض. يحدث التفريغ الكهربائي في مسـار الجسـيم الذي يعبر خلال الحجرة، فيكشف الحاسوب عن التفريغ ويسجّل موقعه للتحليل التالي.

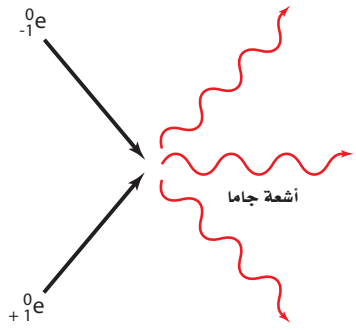
الجسـيمات المتعادلة كهربائيًّا لا تغادر المسـارات؛ لأنها لا تُحدث تفريغًا. ويمكن استخدام قوانين حفظ الطاقة، وحفظ الزخم في التصادمات، لتبين ما إذا أنتجت جسيمات متعادلة. وتسـتخدم كواشف أخرى لتقيس طاقة الجسيمات. تسـتخدم مجموعة متكاملة من أجهزة الكشـف في تجارب المسـارعات العالية الطاقة، ومنها الكاشف التصادمي في مختبر فيرمي؛ حيـث يمكنـه القيام بثلاث مهـام، كما هو موضح في **الشـكل 15a–3**. صمم الكاشـف التصادمـي في مختـبر فيرمي لرصد ربع مليون تصادم للجسـيم في الثانية. يعمل الكاشـف كآلـة تصويـر كتلتهـا 5000–طـن، لتكويـن صـورة حاسـوبية لحـالات التصـادم كما في **الشكل 15b–3**.



الشـكل 15–3 في مختـبر فيرمـي، يسجّـل الكاشـف التصادمـي المسـارات الناتجـة عـن بلايـين التصادمـات (a). صـورة حاسوبيـة للكاشـف التصادمـي في مختـبر فيرمـي لحالـة الكوارك العلوي موضحة في الشكل (b)

ضديد المادة Antimatter

بداية عام 1920م توقع باولي ديراك وجود ضديد جسيم خاص بكل نوع من الجسيمات. والإلكترون الموجب الذي يسمى بوزترون مثال على ضديد الجسيم، للإلكترون وللبوزترون الكتلة ومقدار الشحنة نفساهما، ولكن إشارتَيْ شحنتيهما متعاكستان. وعندما يصطدم إلكترون، وبوزترون معًا فإن كلًّا منهما يُفني الآخر، وينتج عن ذلك طاقة على شكل أشعة جاما. كما هو موضح في **الشكل 16–3**.

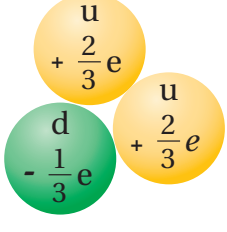


الشكل 16–3 نتائج تصادم البوزترون والإلكترون في عملية إنتاج أشعة جاما

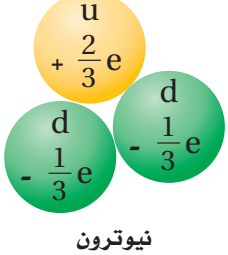
الجسيمات Particles

إن نموذج الذرة الذي اكتشف عام 1930م كان بسيطًا للغاية؛ فالذرة فيه مكونة من بروتونات ونيوترونات محاطة بالإلكترونات. ثم عملت الدراسات العميقة للاضمحلال الإشعاعي على تشويش هذه الصورة المبسطة. فبينما لجسيمات ألفا وأشعة جاما التي تنبعث من النواة المشعة طاقات أحادية تعتمد على النواة المضمحلة، فإن جسيمات بيتا تنبعث بمدى واسع من الطاقات. قد يظن البعض أن طاقة جسيمات بيتا قد تساوي الفرق بين طاقة النواة قبل الاضمحلال وطاقة النواة الناتجة عن الاضمحلال. والحقيقة أن المدى الواسع لطاقات الإلكترونات المنبعثة خلال انبعاث بيتا نبهت العالم نيلز بور إلى وجود جسيم آخر يمكن أن يشارك في التفاعل النووي، ويحمل جزءًا من الطاقة. توقع العالمان باولي عام 1931م وفيرمي عام 1934م وجود جسيم متعادل غير مرئي ينبعث مع جسيم بيتا أطلق عليه فيرمي اسم النيوترينو، ويعني في الإيطالية "جسيم صغير متعادل". ولكن في الواقع فإن هذا الجسيم هو الأنتي نيوترينو ولم يلاحظ مباشرة حتى عام 1956م. أظهرت دراسات أخرى وجود جسيمات أخرى، منها الميون الذي يبدو كإلكترون ثقيل، وقد اكتشف عام 1937م. وفي عام 1935م افترض يوكاوا وجود جسيم جديد يستطيع حمل القوة النووية خلال الفراغ، تمامًا كما يحمل الفوتون القوة الكهرومغناطيسية. وفي عام 1947م اكتشف الجسيم المفترض وهو بيون. وعلى الرغم أنه لم يكن يحمل القوة النووية القوية، لكنه كان نوعًا جديدًا من المادة.

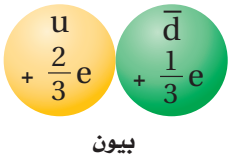
الشكل 17–3 بالرغم من أن للكواركات شحنات جزئية ($\frac{1}{3}$ ، $\frac{2}{3}$) شحنة الإلكترون فإن جميع الجسيمات التي تكوّنها يكون لها عدد صحيح من الشحنات.



بروتون



نيوترون

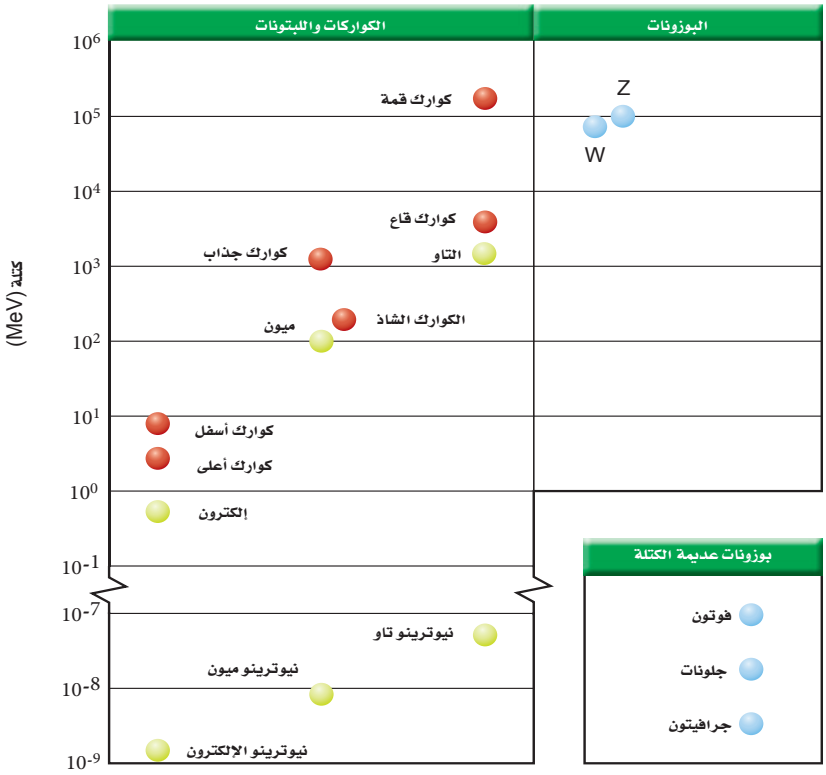


بيون

لقد نتج عن التجارب التي أجريت على مسارعات الجسيمات معرفة المزيد عن جسيمات أخرى جديدة، بعضها ذو كتلة متوسطة وبعضها الآخر ذو كتلة أكبر من كتلة البروتون. وتحمل شحنات موجبة أو سالبة أو لا تحمل شحنة، وبعضها له فترة حياة 10^{-23}s، ولبعضها الآخر فترة حياة غير محددة. من جهة أخرى سئل العالم فيرمي أن يحدد مسار جسيم ما عند نقطة معينة، فأجاب "إذا استطعت أن أتذكر أسماء جميع هذه الجسيمات فعندئذٍ سأكون عالم نبات".

النموذج المعياري The Standard Model

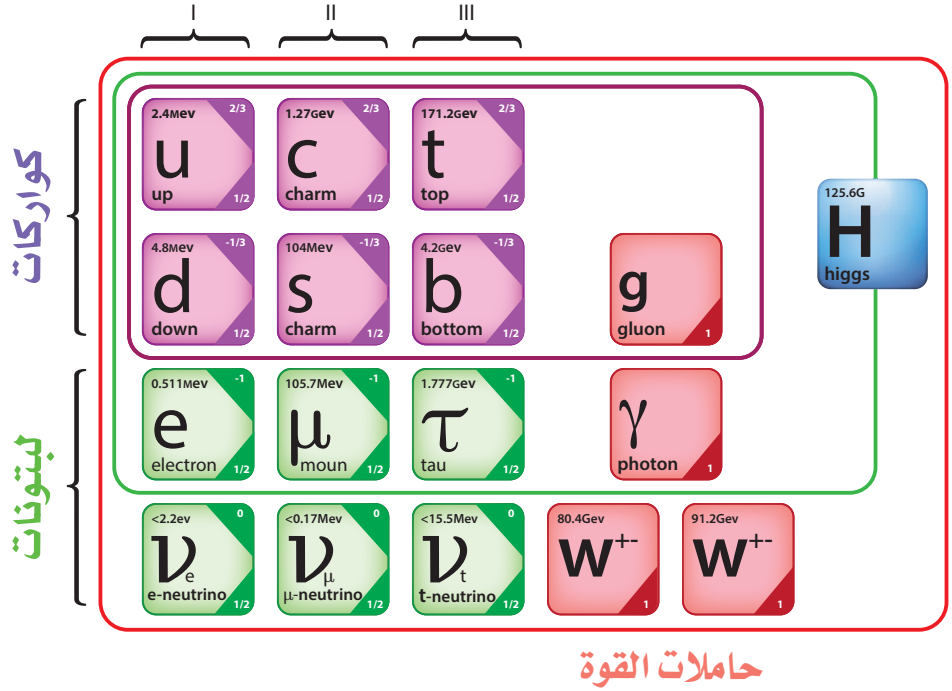
لقد أصبح واضحًا في أواخر عام 1960م أن البروتونات والنيوترونات والبيونات ليست جسيمات أولية. بل مكوّنة من مجموعة من الجسيمات لا توجد بشكل منفصل وتسمى **الكواركات**، كما في **الشكل 17–3**. وتنتمي الإلكترونات والنيوترينات إلى عائلة مختلفة تسمى **لبتونات**. ويعزى الفرق الجوهري بين هذين النوعين (**الكواركات** ، **واللبتونات**) إلى وجود ونسبة الشحنة التي يحملها الجسيم. ويعتقد العلماء الآن وجود ثلاث عائلات من الجسيمات الأولية: الكواركات، واللبتونات و**حاملات القوة** (البوزونات)، وهذا النموذج من مكوّنات بناء المادة، يسمى **النموذج المعياري**. وتسمى الجسيمات مثل البروتونات والنيوترونات التي تتكون من ثلاثة كواركات الباريونات.



الشكل 18–3 تقسم الكواركات واللبتونات المعروفة إلى ثلاث أجيال. يتكوّن عالم اليوم من جسيمات من الجيل الأول (u, d, e). والجسيمات من الجيل الثاني (c, s, μ) موجودة في الأشعة الكونية، وتنتج بطريقة روتينية في مسارعات الجسيم. ويعتقد أن جسيمات الجيل الثالث (b, t, τ) مستثارة قليلاً خلال اللحظات المبكرة للانفجار العظيم، وتوجد نتيجة التصادمات العالية الطاقة. تحمل البوزونات القوى الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة والقوية وقوى الجاذبية، ويعبّر عن الكتل بمكافئات الطاقة المعطاة بمعادلة أينشتاين $E = mc^2$

والزوج المكوّن من الكوارك وضديد الكوارك، مثل البيون يسمى ميزونًا أيضًا. وهناك نوع جديد من الجسيمات يتكوّن من أربعة كواركات، وضديد كوارك واحد، يسمى بنتاكوارك، ومن المحتمل أن يكون قد شوهد مؤخرًا. وهناك جسيمات تتكون من ستة كواركات وستة لبتونات. والكواركات واللبتونات تشكل المادة، بينما حاملات القوة جسيمات تنقل القوى؛ فمثلاً تحمل الفوتونات القوة الكهرومغناطيسية، وتحمل الجلونات الثمانية القوى النووية القوية التي تربط الكواركات في الباريونات والميزونات. أما جلونات البوزونات الثلاثة الضعيفة فهي متضمنة في إشعاع بيتا.

الجرافيتون، اسم يطلق على حامل قوة الجاذبية الذي لم يكتشف حتى الآن. وقد تم تلخيص خصائص الجسيمات الأولية التي تمثل أساس النموذج المعياري في **الشكلين 18–3، 19–3**.



الشكل 19–3 الأجيال الثلاثة للمادة.

البروتونات والنيوترونات Protons and Neutrons

نموذج الكوارك يصف النيوكليونات (البروتونات والنيوترونات) بوصفها تجمعًا من الكواركات. وكل نيوكليون مكوّن من ثلاثة كواركات، فيتكون البروتون من اثنين من كوارك أعلى u (شحنة $+\frac{2}{3}e$) وكوارك أسفل واحد d (شحنة $-\frac{1}{3}e$)، ويعبر عن البروتون بالرمز $p = uud$؛ فشحنة البروتون عبارة عن مجموع شحنة ثلاثة كواركات:

$$[\frac{2}{3}+\frac{2}{3}+(-\frac{1}{3})]e=+e$$

بينما يتكون النيوترون من كوارك أعلى واحد واثنين من كوارك أسفل ويعبر عن النيوترون بالرمز $n = udd$؛ فشحنة النيوترون صفر:

$$[\frac{2}{3}+(-\frac{1}{3})+(-\frac{1}{3})]e=0$$

لا يمكن مشاهدة الكواركات الحرة المنفردة؛ لأن القوة القوية التي تبقيها مجتمعة معًا تصبح أكبر كلما اندفعت الكوراكات مبتعدة بعضها عن بعض. في مثل هذه الحالة، تعمل القوة القوية كقوة النابض، فهي لا تشبه القوة الكهربائية التي تصبح أضعف كلما تحركت الجسيمات مبتعدًا بعضها عن بعض. وتنتقل القوة القوية في نموذج الكوارك بوساطة الجلونات.

الشكل 20–3 عندما ينتج الجسيم فإن ضديد هذا الجسيم ينتج أيضًا. هنا تضمحل أشعة جاما إلى زوج من الإلكترون والبوزترون.

التحولات بين الكتلة والطاقة
Conversions Between Mass and Energy

يمكن حساب كمية الطاقة التي تتولّد نتيجة فناء جسيم باستخدام معادلة أينشتاين لتكافؤ الطاقة والكتلة $E = mc^2$. إن كتلة الإلكترون $9.11 + 10^{-31}$ kg وتساوي كتلة البوزترون. لذلك فإن الطاقة المكافئة للبوزترون والإلكترون معًا يمكن حسابها كما يلي:

$$E = 2\,(9.11 \times 10^{-31}\ \text{kg})(3.00 \times 10^{8}\ \text{m/s})^2$$

$$E = (1.64 \times 10^{-13}\ \text{J})\ (1\ \text{eV}/1.60 \times 10^{-19}\ \text{J})$$

$$E = 1.02 \times 10^{6}\ \text{eV}\ \text{أو}\ 1.02\ \text{MeV}$$

عندما يكون كل من البوزترون والإلكترون في حالة سكون، فإن كلًّا منهما يفنى الآخر. ومجموع طاقات أشعة جاما المنبعثة هو 1.02 MeV، ويمكن أن يحدث أيضًا معكوس الفناء، أي أن الطاقة يمكن أن تتحول مباشرةً إلى مادة. فإذا عبر شعاع جاما بطاقة 1.02 MeV على الأقل بالقرب من نواة فقد ينتج زوج من البوزترون والإلكترون.

$$\gamma \rightarrow e^- + e^+$$

يسمى تحوّل الطاقة إلى مادة وضديدها **إنتاجَ الزوج**. ولا يمكن أن تحدث التفاعلات منفردة، مثل تفاعل $\gamma \rightarrow e^-$ و $\gamma \rightarrow e^+$؛ لأن مثل هذه التفاعلات لا تحقق قانون حفظ الشحنة. وكذلك تفاعلات بروتون + $\gamma \rightarrow e^-$ لا تحدث أيضًا؛ فالزوج يجب أن يكون الجسيم وضديد الجسيم الخاص به.

جسيمات المادة وضديد المادة تتواجد كأزواج إنتاج زوج بوزترون – إلكترون موضح في **الشكل 20–3**. حيث يعمل المجال المغناطيسي حول حجيرة الفقاعة على ثني مسارات الجسيمات المتعاكسة الشحنة؛ لتتحرك في اتجاهات متعاكسة. وأشعة جاما المتجة لا تتبع المسار. وإذا كانت طاقة أشعة جاما أكبر من 1.02 MeV، فإن الفائض في الطاقة يظهر على شكل طاقة

مسائل تدريبية

30. كتلة البروتون 1.67×10^{-27} kg ، أجب عما يلي:

a. أوجد الطاقة المكافئة لكتلة البروتون بوحدة الجول. **b.** حوّل هذه القيمة إلى وحدة eV.

c. أوجد الطاقة الكلية الصغرى لأشعة جاما التي يمكن أن تؤدي إلى تكون زوج من البروتون وضديد البروتون.

31. يمكن لكل من البوزترون والإلكترون أن يفني أحدهما الآخر، وينتج ثلاثة إشعاعات جاما. تم الكشف عن اثنين من إشعاعات جاما، فكانت طاقة أحدها 225 keV وطاقة الآخر 357 keV، ما طاقة إشعاع جاما الثالث؟

32. كتلة النيوترون 1.008665 u، أوجد الطاقة:

a. المكافئة لكتلة النيوترون بوحدة MeV.

b. الكلية الصغرى لأشعة جاما التي يمكن أن تؤدي إلى تكون زوج من النيوترون وأنتي نيوترون.

33. كتلة الميون 0.1135 u ، وهو يضمحل إلى إلكترون وزوج نيوترينو. ما مقدار الطاقة الناتجة عن هذا الاضمحلال؟

حركية للبوزترون والإلكترون، فيتصادم البوزترون في الحال مع إلكترون آخر، ويفني كل منهما الآخر، وينتج إشعاعان أو ثلاثة إشعاعات جاما، طاقتها الكلية لا تقل عن 1.02 MeV

حفظ الجسيم: كل كوارك وكل لبتون أيضًا له ضديد جسيم. يتماثل ضديد الجسيمات مع الجسيمات ما عدا شحنتيهما؛ حيث تكون شحنة ضديد الجسيم معاكسة. فالكوارك الأعلى u مثلاً شحنته $+\frac{2}{3}e$، بينما ضديد الكوراك الأعلى $\bar{u}$ شحنته $-\frac{2}{3}e$، وشحنة البروتون uud تساوي $+1$ وشحنة ضديد البروتون $\bar{u}\,\bar{u}\,\bar{d}$ تساوي -1 وعندما يصطدم الجسيم وضديده فإن كلًّا منهما يفنى الآخر، ويتحولان إلى فوتونات، أو إلى زوج من جسيم وضديد جسيم أخف وإلى طاقة. ولأن العدد الكلي للكواركات واللبتونات في الكون ثابت؛ فإن الكواركات واللبتونات توجد أو تفنى فقط بوصفهما زوج جسيم وضديد الجسيم. ومن جهة أخرى فإن حاملات القوة ومنها الجرافيتونات والفوتونات والجلونات، والبوزونات الضعيفة، قد توجد أو تفنى إذا كان هناك طاقة كافية.

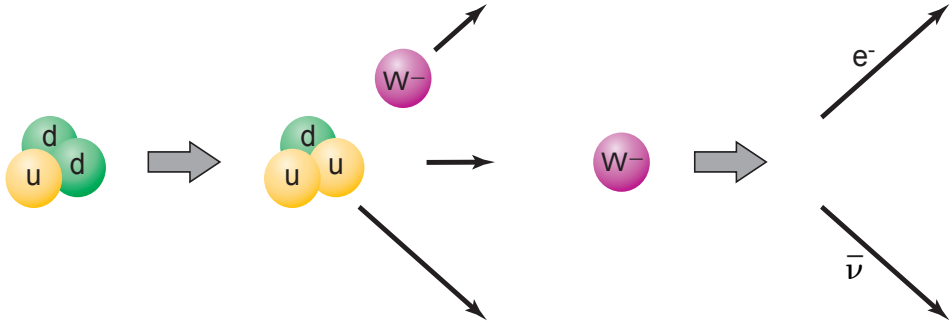
يمكن أن يوجد ضديد للبروتونات أيضًا؛ فلضديد البروتون كتلة تساوي كتلة البروتون، ولكن شحنته سالبة، و كتلة البروتون أكبر 1836 مرة من كتلة الإلكترون. وهكذا، فإن الطاقة اللازمة لتكوين زوج من البروتون وضديد البروتون كبيرة نسبيًّا. وقد تم إنتاج وملاحظة زوج البروتون وضديد البروتون أول مرة في باركلي، في كاليفورنيا عام 1955م.

مسألة تحدٍّ

يضمحل $^{238}_{92}U$ بانبعاث ألفا وبانبعاثين متتاليين لجسيم بيتا ويتحول ثانية إلى نظير لليورانيوم.

1. وضحّ معادلات الاضمحلال النووي الثلاثة.

2. احسب العدد الكتلي لليورانيوم المتكوّن.



الشكل 21–3 يبين انبعاث بيتا عند تحول نيوترون إلى بروتون بوساطة نموذج الكوارك:

$d \rightarrow u + W^-$ ثم $W^- \longrightarrow e^- + \overline{\nu}$

باعثات بيتا والتفاعل الضعيف
Beta Decay and the weak interaction

لا توجد الإلكترونات العالية الطاقة المنبعثة من اضمحلال جسيمات في أنوية ذرات مشعة داخل النواة. فمن أين جاءت هذه الإلكترونات إذًا؟ في عملية اضمحلال النيوترون يتحول النيوترون إلى بروتون، في حين أن النيوترون داخل النواة المستقرة لا يضمحل. فإن النيوترون الحر أو الموجود في النواة غير المستقرة هو الذي يمكن أن يضمحل إلى بروتون، ويرافقه انبعاث جسيم بيتا. ويشارك الأنتي نيوترينو في الطاقة الناتجة مع البروتون وجسيم بيتا. والأنتي نيوترينو جسيم كتلته صغيرة جدًّا، وهو عديم الشحنة، ولكنه كالفوتون؛ له زخم وطاقة. وتكتب معادلة اضمحلال النيوترون كما يلي: ${}^1_0n \longrightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e + {}^0_0\overline{\nu}$

وعندما يضمحل النظير بإطلاق بوزترون تحدث عملية شبيهة بانبعاث بيتا. وعلى الرغم من أنه لم يلاحظ اضمحلال البروتون الحر، فإنه يمكن للبروتون داخل النواة أن يتحول إلى نيوترون مع إطلاق بوزترون ${}^0_{+1}e$ ونيوترينو ${}^0_0\nu$ كما يلي:

$${}^1_1P \longrightarrow {}^1_0n + {}^0_{+1}e + {}^0_0\nu$$

إن اضمحلال النيوترونات إلى بروتونات، واضمحلال البروتونات إلى نيوترونات، لا يمكن تفسيره بوساطة القوة النووية القوية.

إن وجود باعثات بيتا يشير إلى أنه يجب أن يكون هناك تفاعل آخر، وهو **القوة النووية الضعيفة** تؤثر في النواة. وهذه القوة أضعف كثيرًا من القوة النووية القوية.

نموذج الكوارك لانبعاث بيتا إن الفرق بين البروتون uud، والنيوترون udd كوارك واحد فقط، حيث يحدث انبعاث بيتا في نموذج الكوارك على مرحلتين، كما يتضح من **الشكل 21–3**. أولاً: كوارك d واحد في النيوترون يتحول إلى كوارك u مع انبعاث بوزون W^-؛ حيث W^- أحد حاملات القوة الضعيفة الثلاث. وفي الخطوة الثانية يتحول البوزون إلى إلكترون وضديد النيوترينو، وبالمثل في تحلل البروتون في النواة ينبعث نيوترون وبوزون W^+، ومن ثم ينحل البوزون W^+ إلى بوزترن ونيوترينو.

إن انبعاث حامل القوة الضعيفة الثالث، بوزون Z°، لا يترافق مع تحوّل من كوارك إلى آخر. يُحدث البوزون Z° تفاعلاً بين النيوكليونات والإلكترونات في الذرات المماثلة، ولكنه أضعف كثيرًا من القوة الكهرومغناطيسية التي تحافظ على الذرة متماسكة؛ حيث تم الكشف عن هذا التفاعل أول

الشكل 22–3 في النجم فوق المستعر، فإن القوى الكهرومغناطيسية والقوى الضعيفة ليست متمايزة. والضوء المتزايد والنيوترينات الصادرة من النجم فوق المستعر 1987A والموضحة هنا تصل الأرض في اللحظة نفسها، وهذا يظهر أن النيوترينات تنتقل بسرعة قريبة من سرعة الضوء وتنتج في النجم الأعظم. وكما هو متوقع، ظهر النجم فوق المستعر قبل الانفجار (**a**) خلال الانفجار (**b**) وبالقرب من هابل (**c**).

مرة عام 1979م. وتمت ملاحظة البوزونات W^+ وW^- و Z° بصورة مباشرة أول مرة عام 1983م.

لقد ساد الاعتقاد طويلاً أن كلًّا من النيوترينات وضديد النيوترينات عديمة الكتلة، إلا أن التجارب الأخيرة التي التقطت النيوترينات المنبعثة من الشمس ومن المسارعات الطويلة أظهرت أن للنيوترينات كتلة. على الرغم من أن هذه الكتل أقل كثيرًا من كتلة أي جسيم معروف.

اختبار النموذج المعياري Testing the Standard Model

تستطيع أن تلاحظ من **الشكلين 18–3، 19–3** أن الكواركات واللبتونات تنفصل إلى ثلاثة أجيال. فالعالم المحيط بنا يتكوّن من جسيمات الجيل الأول وجسيمات الجيل الثاني وجسيمات الجيل الثالث. ما الذي يحدد كتل الكواركات واللبتونات؟ تصوّر هيغز أن مجالاً يسمى مجال هيغز ينشأ عن وجود جسيمات هيغز، وأن الجسيمات تجد مقاومة تحت تأثير هذا المجال الذي يعمل على ظهور ما نسميه كتلة الجسيم، فالإلكترون مثلاً يلاقي مقاومة صغيرة فيكون له كتلة صغيرة، أما البروتون فيلاقي مقاومة كبيرة فتكون له كتلة كبيرة.

لماذا توجد أربعة قوى؟ إن الاختلافات بين القوى الرئيسية الأربعة واضحة؛ فقد تؤثر القوى بشكل مختلف في الشحنة أو الكتلة، وقد يكون لها تأثيرات مختلفة تبعاً للمسافات، وحاملات القوى لها خصائص مختلفة، وهناك بعض التماثل بين التفاعلات؛ فمثلاً القوى بين الجسيمات المشحونة والقوى الكهرومغناطيسية تُحمل بوساطة الفوتونات، كما تحمل البوزونات W وZ القوى النووية الضعيفة في التفاعلات النووية.

والقوى الكهربائية تؤثر في مدى واسع؛ لأن كتلة الفوتونات صفراً، بينما القوى النووية الضعيفة تؤثر في مسافات قصيرة؛ لأن كتل البوزونات W وZ كبيرة نسبيًّا. تشير النظريات الفلكية الفيزيائية للنجم فوق المستعر إلى حدوث تفاعلين متماثلين خلال الانفجارات النجمية الهائلة، كتلك الموضحة في **الشكل 22–3**. أما النظريات الحالية المتعلقة بأصل الكون فتتوقع أن القوتين كانتا متماثلتين خلال اللحظات المبكرة للكون. لهذا السبب، كانت القوى الكهرومغناطيسية والقوى الضعيفة متحدتين في قوة واحدة تسمى قوة كهربائية ضعيفة.

بالطريقة نفسها تبين خلال عام 1970م أن القوى الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة متحدتان بوصفها قوة كهربائية ضعيفة. كذلك توصل الفيزيائيون الآن إلى تطوير نظريات تتضمن القوة القوية أيضًا، ولا يزال العمل غير مكتمل. وما زالت النظريات تتطور، ويتم التخطيط لاختبار هذه النظريات الآن. ونظرية الاتحاد التام التي تتضمن التجاذب تحتاج إلى المزيد من العمل.

وقد ظهر ارتباك كبير نتيجة الدراسات التي أجريت على المجرات التي تتوقع أن المادة التي تـم وصفهـا بالنموذج المعياري، تكوّن فقـط جزءًا صغيرًا من كتلة الكـون. والجزء الأكبر مـن المادة شـكلت المـادة المعتمة؛ والتي سـميت كذلك لأنها لا تتفاعل مـع الفوتونات أو المادة العادية، ماعدا قوة التجاذب. بالإضافة إلى ذلك، فإنها تبدو كطاقة معتمة، وقوة غير معروفة تعمل على تسارع تمدد الكون.

لذلك، فإن الدراسـات المتعلقة بالجسـيمات المتناهيـة في الصغر التي تكـوّن الأنوية تتصل مبـاشرة مع البحـوث المتعلقة بالأنظمة الكبـيرة والمجرات التي تكوّن الكـون. وقد اعتاد فيزيائيـو الجسـيمات الأوليـة، وعلـماء الكـون أن يكونـوا في النهايتين المتعاكسـتين لمقياس الطول. والآن يتسـاءلون معًا: "ما وحدات البناء الأساسـية التي يتكون منها العالم؟". قد يستطيعون الإجابة عن هذا السؤال في المستقبل.

3–3 مراجعة

34. **قـذف النـواة** لماذا يحتاج البروتـون إلى طاقة أكثر من النيوترون عندما يستخدم لقذف النواة؟

35. **مسارع الجسيمات** تتحرك البروتونات في مسارع مختبر فيرمي **الشكل 11–3** في اتجاه حركة عقارب الساعة. ما اتجاه المجال المغناطيسي في مغانط الانحراف؟

36. **إنتـاج الـزوج** يوضـح **الشـكل 20–3** إنتـاج أزواج الإلكترون–البوزترون. لماذا تنحني مجموعة المسارات السفلية أقل من انحناء زوج المسارات العلوية؟

37. **النمـوذج المعيـاري** ابحـث في محـددات النمـوذج المعياري والبدائل المحتملة.

38. **التفكير الناقد** تأمل المعادلات التالية.

$$u \longrightarrow d + W^+ \quad \text{و} \quad W^+ \longrightarrow e^+ + \nu$$

كيـف يمكـن اسـتخدامها لتفسـير الاضمحـلال الإشـعاعي للنيوكليـون الـذي ينتـج عـن انبعـاث البوزتـرون والنيوترينو؟ اكتب المعادلة التي تتضمن نيوكليونات بدلاً من الكواركات.

مختبر الفيزياء

استكشاف الإشعاع Exploring Radiation

تستخدم كاشفات الإشعاع طرائق مختلفة للكشف عن وجود الإشعاع. من الأنواع الشائعة للكواشف المستخدمة أنبوب جايجر– مولر. وهو يتكون من أنبوب فلزي مملوء بغاز عند ضغط منخفض، وقطب معدني على طول محور الأنبوب. يخضع القطب المعدني لفرق جهد عال 400–800V بالنسبة إلى الأنبوب الفلزي. ويوجد عند إحدى نهايتي الأنبوب نافذة رقيقة وهشّة. عندما يدخل فوتون أو جسيم مشحون بطاقة عالية إلى الأنبوب من خلال النافذة فإن جزءًا من الغاز يصبح مؤينًا، فتنجذب إلكترونات التأين في اتجاه القطب، وتزداد سرعتها. ومن ثم تؤين ذرات إضافية مكوّنة نبضة من الشحنات تصطدم بالقطب. وتتحول نبضة الشحنة هذه إلى نبضة جهد، ثم تُضخّم وتُعدّ أو ترسل إلى مكبر الصوت.

تعلمت سابقًا أن الضوء والاشعاعات الكهرومغناطيسية الأخرى تنتشر في جميع الاتجاهات، وفي خطوط مستقيمة من المصدر، كالشمس مثلاً. في هذه التجربة سوف تستكشف العلاقة بين المسافة من مصدر جاما وبيتا المشع، وشدة الإشعاع المقيس.

سؤال التجربة

ما العلاقة بين المسافة من مصدر إشعاع جاما وبيتا وشدة الإشعاع؟

الأهداف

- **تقيس** الإشعاع.
- **تستخدم المتغيرات والثوابت والضوابط** لتصميم تجربتك.
- **تجمع وتنظم البيانات** عن النشاطية الإشعاعية لأشعة جاما، وجسيمات بيتا، بدلالة البعد عن المصدر.
- **تقارن وتستنتج** نشاطية بيتا وجاما الإشعاعية.

احتياطات السلامة

- **إذا استخدمت عداد جايجر فحافظ على بقاء الأيدي والأقلام وغيرها من الأشياء بعيدةً عن نهاية أنبوب جايجر؛ فنافذة الأنبوب رقيقة وهشة جدًّا.**
- **صل الأجهزة في المقابس المحمية فقط؛ وذلك تجنبًا لخطر الصدمة الكهربائية.**
- **لا تأكل ولا تشرب في أثناء العمل بالمواد المشعة.**
- **كن حذرًا من تمزق فتحة الحافظة البلاستيكية الحامية للمادة المشعة، فإذا حدث ذلك فأبلغ معلمك فورًا.**

المواد والأدوات

مصادر مشعة اصطناعية مختومة (الفا وبيتا وجاما).
أنبوب جايجر مع العداد.
مسطرة مترية.
شريط لاصق.
ساعة وقف.

جدول البيانات	
الإشعاع الأولي (عدات لكل دقيقة = cpm)	cpm

المسافة (cm)	بيتا – المقيسة معدل الإشعاع (cpm)	بيتا – المصححة معدل الإشعاع (cpm)	جاما – المقيسة معدل الإشعاع (cpm)	جاما – المصححة معدل الإشعاع (cpm)
2				
4				
6				
8				
10				
12				
14				

الخطوات

1. نوع عداد الإشعاع أو أنبوب جايجر – مولر، والأنابيب المتوافرة في المدارس يختلف بعضها عن بعض بصورة كبيرة. يجب أن تأخذ هذا في الحسبان، والاهتمام بكيفية تجميع، وحمل الجهاز المتوافر لكل من الكاشف والمادة المشعة.
2. عندما يكون الكاشف على بعد 1 m على الأقل بعيدًا عن المواد المشعة، قم بتشغيل الكاشف، وقس الإشعاع. وهذا يسمى الإشعاع الأولي. دوّن سجّل المقدار في جدول البيانات.
3. قس إشعاع بيتا وجاما من المصادر المشعة لديك على مسافات مختلفة.
4. اطرح معدل الإشعاع الأولي من معدل الإشعاع المسجّل للحصول على النشاطية المصحّحة.
5. تأكد أن تفحص – بمساعدة معلمك – وتتأكد من تصميمك قبل أن تواصل تجربتك.

التحليل

1. **لاحظ واستنتج** ما مقدار الإشعاع الأولي في هذه التجربة؟
2. **مثّل بيانيًا واستخدم الرسوم البيانية** عيّن نقاطًا على الرسم البياني تمثل معدل إشعاع جاما مقابل البُعد، ثم عيّن البُعد على المحور الأفقي، ومعدل العد المصحح للعينة على المحور الرأسي. إذا كانت معدلات العد متماثلة فعيّن معدل عد بيتا على الرسم البياني نفسه، وميّز الرسم البياني لكل مجموعة بيانات.
3. **مثّل بيانيًا واستخدم الرسوم البيانية** عيّن نقاطًا على الرسم البياني، تمثّل معدل الإشعاع المصحح لكل من بيتا وجاما مقابل $1\backslash d^2$.

الاستنتاج والتطبيق

1. **وضح** فيم يتشابه المنحنيان؟ ما العلاقة بين البعد ومعدلات العد؟
2. **وضح** كيف يتغير معدل العد الأولي لشخص عندما ينتقل من الساحل في مستوى سطح البحر، مقارنة بمستوى قمة جبل؟
3. **صف** ماذا يحدث لمعدل عد بيتا عندما يتحرك أنبوب جايجر – ميلر إلى الخلف ثلاثة أمثال المسافة الأولية. على سبيل المثال 18 cm مقارنة بـ 6 cm؟

التوسع في البحث

ما الظواهر الفيزيائية الأخرى التي تتبع أنماطًا مماثلة؟

الفيزياء في الحياة

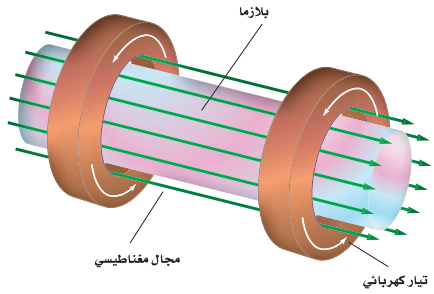
اشرح كيف يشكل قربك من المواد المشعة خطرًا محتملاً لك أو للآخرين؟

الاندماج النووي الحراري Thermonuclear Fusion

لعدة عقود مضت بحث الفيزيائيون في إيجاد ودعم تفاعل الاندماج الذي يولّد طاقة أكبر من تلك الطاقة التي يستهلكها. يولّد المفاعل النووي الحراري حرارة هائلة جدًّا من كميات صغيرة من الديوتيريوم $_1^2H$ ، والتريتيوم $_1^3H$ ، والذي يمكن استخلاصه من مياه البحر.

لبدء تفاعل الاندماج، يجب أن يسخن خليط من الديوتيريوم والتريتيوم ويضغط تحت ظروف معيارية مشابهة لتلك الموجودة في الشمس. وسوف تحطم الحرارة المتوافرة محتويات العبوات المستخدمة في محطات الانشطار النووي. ويعدّ احتجاز البلازما من مشكلات التصميم الرئيسة للمفاعلات الاندماجية.

العزل المغناطيسي في مفاعلات العزل المغناطيسي، يعبر تيار قوي خلال وعاء يحوي غازي الديوتيريوم والتريتيوم، فتنضغط البلازما داخل الجزء الدائري. وتحدد المجالات المغناطيسية الإضافية شكل سيل البلازما لتعزله بعيدًا عن جوانب الوعاء، كما في الشكل. يحافظ أحد التركيبات الإلكترونية الفضلى على بقاء البلازما على شكل حلقي، مما يعطي فائدة عظيمة بعدم وجود نهايات تتطلب أن تختم.

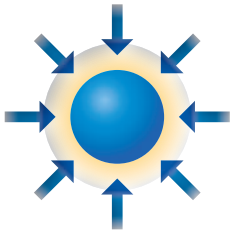


العزل المغناطيسي: تنضغط البلازما وتعزل بوساطة المجال المغناطيسي.

العزل بالقصور الذاتي إذا نظرت إلى قوس كهربائي (تفريغ كهربائي مستمر في صورة شرر متكرر)، يتحرك سريعًا بحركة شبيهة لحركة وتر فستلاحظ أن هناك صعوبة كبيرة في أن تحافظ على البلازما في شكل ثابت.

في مفاعل العزل بالقصور الذاتي، تضاء كُريّة صغيرة الحجم من الديوتيريوم– التريتيوم المتجمد من كل الجوانب بوساطة حزم ليزر قوية جدًّا. تُسخّن حزم الليزر هذه الطبقة الخارجية للكريّة فتنفجر سريعًا. وبصورة متزامنة يُضغط المتبقي من الكرية، ويسخّن إلى درجة كبيرة، يبدأ عندها الاندماج النووي.

تعمل الطاقة الناتجة عن اندماج الكُرية على زيادة الطاقة التي تُستخدم لتسخين الكرية، فيندمج سيل من الكريات الواحدة تلو الأخرى للحصول على تحفيز مستمر، ويتم تجميع الحرارة الناتجة لإنتاج بخار لتشغيل التوربينات.



في العزل بالقصور الذاتي، تكوّن حزم من الضوء أو الأشعة السينية الناتجة عن تسخين سطح الكُريات سريعًا بالليزر - غلافًا يحيط بالبلازما. أما الوقود المتبقي فيضغط بوساطة تيار من البخار الناتج عن سطح المادة الساخن.

المستقبل في الوقت الذي لا يزال الاندماج النووي الحراري مستمرًّا في كلا النوعين من المفاعلات النووية، يواجه الباحثون صعوبة في تحقيق التفاعل المتعادل (أي أن الطاقة الناتجة عن التفاعل تزيد على الطاقة اللازمة للمحافظة على استمرار التفاعل). والتقدم الذي يتم إنجازه في تصميم المفاعل النووي الحراري العملي يعدّ مكلفًا وبطيئًا، إلا أن الأمل في تحقيق ذلك كبير. ولا يخلو مفاعل الاندماج تمامًا من المخلّفات المشعة الخطرة؛ لأن النيوترونات تنتج في مفاعلات الاندماج، لكن بما أن الوقود غير مشع بنفسه فإنه يمكن تجاهل المخلفات النووية.

التوسع في البحث

1. **التحليل** لماذا يبدو المفاعل النووي الحراري مصدر طاقة مفضل؟
2. **المقارنة** درست ثلاثة أنواع من محطات توليد الطاقة الحرارية الكهربائية. ما الميزات العامة التي تمتاز بها كل من هذه المحطات؟

الفصل 3
دليل الدراسة

3–1 النواة The Nucleus

المفردات

- العدد الذري
- وحدة الكتلة الذرية
- العدد الكتلي
- النويدة (نواة النظير)
- القوة النووية القوية
- النيوكليونات
- طاقة الربط النووية
- نقص الكتلة

الأفكار الرئيسة

- إن عدد البروتونات في النواة يمثل بالعدد الذري Z.
- إن مجموع عدد البروتونات والنيوترونات في النواة يساوي العدد الكتلي A.
- الذرات التي لها العدد نفسه من البروتونات وعدد نيوترونات مختلف تسمى النظائر.
- تربط القوة النووية القوية مكوّنات النواة معًا.
- تحسب الطاقة المتحررة في التفاعل النووي بحساب نقص الكتلة، وهو الفرق بين كتلة الجسيمات قبل التفاعل وبعده من العلاقة $E= mc^2$
- طاقة الربط النووية هي الطاقة المكافئة لنقص الكتلة.

3–2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية Nuclear Decay and Reactions

المفردات

- المواد المشعة
- انبعاث ألفا
- انبعاث بيتا
- انبعاث جاما
- التفاعل النووي
- عمر النصف
- النشاطية
- الانشطار النووي
- التفاعل المتسلسل
- الاندماج النووي

الأفكار الرئيسة

- تضمحل النواة غير المستقرة متحولّة إلى عنصر آخر.
- يُنتج الاضمحلال الإشعاعي ثلاثة أنواع من الجسيمات، هي: جسيمات ألفا (α) وهي أنوية هيليوم، وجسيمات بيتا، وهي إلكترونات عالية السرعة، وأشعة جاما (γ)، وهي أشعة مكوّنة من فوتونات عالية الطاقة.
- في التفاعلات النووية، لا يتغير مجموع العدد الكتلي A، ولا الشحنة الكلية Z.
- في الانشطار النووي تنقسم نواة اليورانيوم إلى نواتين أصغر وينبعث نيوترونات وطاقة.
- تستخدم المفاعلات النووية الطاقة المتحررة من الانشطار النووي لتوليد طاقة كهربائية.
- عمر النصف للنظير المشع هو الزمن اللازم لتحول نصف عدد أنويته. بعد عدد n من فترات عمر النصف تكون: $\text{الكمية المتبقية} = N_0 (1/2)^n$
- إن عدد اضمحلالات العينة المشعة لكل ثانية تمثل النشاطية الإشعاعية.

3–3 وحدات بناء المادة The Building Blocks of Matter

المفردات

- الكواركات
- اللبتونات
- النموذج المعياري
- حاملات القوة
- إنتاج الزوج
- القوة النووية الضعيفة

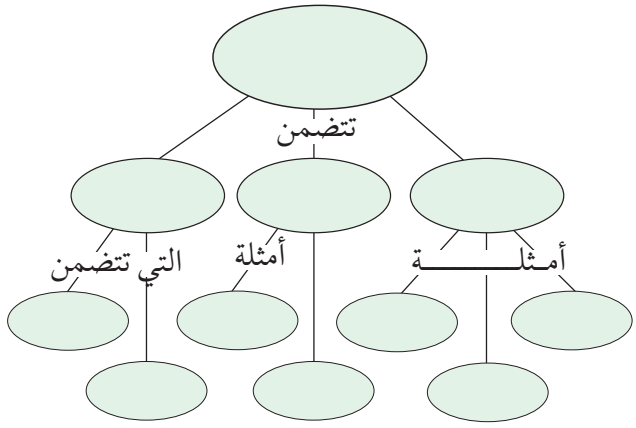
الأفكار الرئيسة

- المسارعات الخطية والسنكترونات تنتج جسيمات عالية الطاقة.
- يستخدم عداد جايجر– مولر، وحجرة السحابة، وكواشف الجسيمات الأخرى، التأين الناتج عن شحن الجسيمات عند عبورها خلال المادة.
- تبدو كل المادة أنها تتكون من الكواركات واللبتونات.
- تتفاعل المادة مع مادة أخرى عن طريق جسيمات تسمى حاملات القوة.
- النموذج المعياري يتضمن الكواركات واللبتونات وحاملات الطاقة.
- عندما تتحد جسيمات ضديد المادة المماثلة مع جسيمات المادة تتحول كتلتها وطاقتها إلى طاقة أو إلى مادة أخف –زوج من ضديد الجسيم.

الفصل 3
التقويم

خريطة المفاهيم

39. نظّم المصطلحات التالية في خريطة المفاهيم: النموذج المعياري، الكواركات، أشعة جاما، حاملات القوة، البروتونات، النيوترونات، اللبتونات، بوزونات W، نيوترينات، إلكترونات، جلونات.



إتقان المفاهيم

40. ما القوة التي تدفع النيوكليونات داخل النواة ليبتعد بعضها عن بعض؟ ما القوة التي تعمل على ربط مكوّنات النواة معًا داخل النواة؟

41. عرّف نقص كتلة النواة. ما سببها؟

42. أي الأنوية غير مستقرة عمومًا: الصغيرة أم الكبيرة؟

43. ما النظير الذي له عدد أكبر من البروتونات: اليورانيوم– 235 أم اليورانيوم– 238؟

44. عرّف مفهوم التحول كما يستخدم في الفيزياء، واذكر مثالاً عليه.

45. **الجسيم المُشِع** ما الأسماء الشائعة لكل من: جسيم ألفا، وجسيم بيتا، وإشعاع جاما؟

46. ما الكميتان اللتان يجب أن تكونا محفوظتان دائمًا في أي تفاعل نووي؟

47. **الطاقة النووية** ما سلسلة العمليات التي يجب أن تحدث حتى يحدث التفاعل المتسلسل؟

48. **الطاقة النووية** ما الدور الذي يؤديه المهدئ في مفاعل الانشطار؟

49. الانشطار النووي والاندماج النووي عمليتان متعاكستان. كيف تحرر كل منهما الطاقة؟

50. **فيزياء الطاقة العالية** لماذا لا يعمل المسارع الخطي بالنيوترونات؟

51. **القوى** في أي التفاعلات الأربعة التالية (القوية، الضعيفة، الكهرومغناطيسية، الجاذبية) تشارك الجسيمات التالية؟

a. إلكترون

b. بروتون

c. نيوترينو

52. ماذا يحدث للعدد الذري والعدد الكتلي للنواة التي تشع بوزترونًا؟

53. **ضديد المادة** ماذا يحدث إذا سقط حجر نيزكي يتكوّن من ضديد بروتونات، وضديد نيوترونات وبوزترونات على الأرض؟

تطبيق المفاهيم

54. **الانشطار** يدّعى أحد المواقع الإلكترونية أن العلماء سيكونون قادرين على إخضاع الحديد للانشطار النووي. هل يمكن أن يكون هذا الادعاء صحيحًا؟ فسّر.

55. استخدم الرسم البياني لطاقة الربط لكل نوية في الشكل 2–3، لتحديد ما إذا كان التفاعل $^{2}_{1}H + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{2}He$ ممكنًا من حيث الطاقة؟

56. **النظائر** وضح الفرق بين النظائر المشعة التي تنتج اصطناعيًّا، وتلك التي تنتج طبيعيًّا.

57. **المفاعل النووي** في المفاعل النووي، يتدفق الماء الذي يعبر من قلب المفاعل خلال حلقة واحدة، بينما يتدفق الماء الذي يولّد البخار لتحريك التوربينات خلال الحلقة الثانية. لماذا توجد حلقتان؟

تقويم الفصل 3

58. انشطار نواة اليورانيوم، واندماج أربعة أنوية هيدروجين لإنتاج نواة الهيليوم، كلاهما ينتج طاقة.

a. أيهما ينتج طاقة أكبر؟

b. في أي الحالتين التاليتين تكون الطاقة الناتجة أكبر: انشطار كيلوجرام واحد من أنوية اليورانيوم، أم اندماج كيلوجرام من الهيدروجين؟

c. لماذا تختلف إجابة الجزأين **a** و **b**؟

إتقان حل المسائل

3–1 النواة

59. ما الجسيمات التي تكوّن ذرة $^{109}_{47}Ag$؟ وما عدد كل منه؟

60. ما رمز النظير (الذي يستخدم في المعادلات النووية) لذرة زنك مكوّنة من 30 بروتونًا و 34 نيوترونًا؟

61. نظير الكبريت $^{32}_{16}S$ له كتلة نووية مقدارها 31.97207 u ما مقدار:

a. نقص الكتلة للنظير؟

b. طاقة الربط النووية لنواة الكبريت؟

c. طاقة الربط لكل نيوكليون؟

62. لنظير النيتروجين $^{12}_{7}N$ كتلة نووية مقدارها 12.0188 u ما مقدار:

a. طاقة الربط لكل نيوكليون؟

b. أيهما يحتاج إلى طاقة أكبر: فصل النيوكليون من نواة $^{12}_{7}N$ أو من نواة $^{14}_{7}N$؟ علمًا بأن كتلة $^{14}_{7}N$ تساوي 14.00307 u

63. يبتعد بروتونان موجبا الشحنة في نواة الهيليوم أحدهما عن الآخر مسافة 2.0×10^{-15} m تقريبًا. استخدم قانون كولوم، لإيجاد القوة الكهربائية للتنافر بين البروتونين. سوف تعطيك الإجابة مؤشرًا عن مقدار القوة النووية القوية.

64. إذا كانت طاقة الربط النووية لنواة الهيليوم $^{4}_{2}He$ 28.3 MeV− فاحسب كتلة نظير الهيليوم بوحدة الكتلة الذرية.

3–2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية

65. عمر النصف لنظير معين 3.0 day، ما النسبة المئوية للمادة الأصلية التي ستبقى بعد:

a. 6.0 day؟ **b.** 9.0 day؟ **c.** 12 day؟

66. اكتب المعادلة النووية الكاملة لانبعاث ألفا للنظير $^{222}_{86}Rn$.

67. اكتب المعادلة النووية الكاملة لانبعاث بيتا من النظير $^{89}_{36}Kr$.

68. أكمل المعادلات النووية التالية:

a. $^{225}_{89}Ac \rightarrow {}^{4}_{2}He + ____$

b. $^{227}_{88}Ra \rightarrow {}^{0}_{-1}e + ____ + ____$

c. $^{65}_{29}Cu + {}^{1}_{0}n \longrightarrow ____ \longrightarrow {}^{1}_{1}p + ____$

d. $^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{96}_{40}Zr + 3({}^{1}_{0}n) + ____$

69. عندما يُقذف نظير البورون $^{11}_{5}B$ ببروتونات فإنه يمتص بروتونًا ويطلق نيوترونًا، أجب عن الأسئلة التالية:

a. ما العنصر المتكوّن؟

b. اكتب المعادلة النووية لهذا التفاعل.

c. النظير المتكون مشع، ويضمحل بوساطة انبعاث بوزترون. اكتب المعادلة النووية الكاملة لهذا التفاعل.

70. خلال تفاعل الاندماج، يتحد ديوترونان $^{2}_{1}H$، لتكوين نظير الهيليوم $^{3}_{2}He$، ما الجسيم الآخر الذي تكوّن؟

71. إذا كان عمر النصف لنظير البولونيوم $^{209}_{84}Po$ يبلغ 103 سنة، فكم تستغرق عينة مقدارها 100 g حتى تضمحل ليبقى منها 3.1 g؟

تقويم الفصل 3

72. في إحدى حوادث مختبر أبحاث، انسكب نظير مشع عمر النصف له ثلاثة أيام. وكان الإشعاع ثمانية أضعاف الكمية العظمى المسموح بها. كم يجب أن ينتظر العاملون قبل أن يستطيعوا الدخول إلى المختبر؟

3–3 وحدات بناء المادة

73. ما شحنة الجسيم الذي يتكوّن من ثلاثة كواركات أعلى؟

74. شحنة ضديد الكوارك معاكسة لشحنة الكوارك. يتكوّن بيون من كوارك أعلى ومن ضديد كوارك أسفل $u\bar{d}$. ما شحنة هذا البيون؟

75. تتكون البيونات من كوارك وضديد الكوارك. أوجد شحنة البيون الذي يتكون من:

a. $u\bar{u}$

b. $d\bar{u}$

c. $d\bar{d}$

76. الباريونات جسيمات تتكون من ثلاثة كواركات. أوجد الشحنة على كل من الباريونات التالية:

a. نيوترون ddu.

b. ضديد بروتون $\bar{u}\bar{u}\bar{d}$.

77. نصف قطر السنكروترون في مختبر فيرمي 2.0 km، وتتحرك البروتونات التي تدور داخله بسرعة تساوي سرعة الضوء في الفراغ تقريبًا، أجب عما يلي:

a. ما الفترة الزمنية التي يحتاج إليها البروتون حتى يكمل دورة كاملة.

b. تدخل البروتونات الحلقة بطاقة 8.0 GeV فتكتسب طاقة 2.5 MeV في كل دورة. ما عدد الدورات التي يجب أن يكملها قبل أن تصل طاقتها إلى 400.0 GeV؟

c. ما الفترة الزمنية التي تحتاج إليها البروتونات حتى تتسارع إلى 400.0 GeV؟

d. ما المسافة التي تقطعها البروتونات خلال هذا التسارع؟

مراجعة عامة

78. كل الأنوية التالية تستطيع أن تمتص جسيم ألفا. افترض أنه لا تنبعث جسيمات ثانوية من النواة، أكمل المعادلات التالية:

a. $^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow$ ——

b. $^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow$ ——

79. عمر النصف للرادون $^{211}_{86}\mathrm{Rn}$ يساوي 15 h، ما الكمية المتبقية من العينة بعد مرور 60 h؟

80. إحدى تفاعلات الاندماج البسيطة تتضمن إنتاج الديوتيريوم $^{2}_{1}\mathrm{H}$ (2.014102 u) من نيوترون وبروتون. اكتب تفاعل الاندماج الكامل، وأوجد مقدار الطاقة المتحررة.

التفكير الناقد

81. **استنتج** لأشعة جاما زخم. وزخم شعاع جاما ذي الطاقة E يساوي E/c، حيث c سرعة الضوء. عندما يضمحل زوج إلكترون–بوزترون إلى أشعة جاما فإن كلًّا من الزخم والطاقة يجب أن يكونا محفوظين. إذا كان مجموع طاقات أشعة جاما تساوي 1.02 MeV وكان كلّ من البوزترون والإلكترون مبدئيًّا في حالة سكون، فكم يجب أن يكون مقدار واتجاه زخم إشعاعين من أشعة جاما؟

82. **استنتج** إذا كان زوج إلكترون–بوزترون مبدئيًّا في حالة سكون، ويستطيع أن يضمحل إلى ثلاثة إشعاعات جاما، وكانت إشعاعات جاما الثلاثة لها طاقات متساوية، فكيف يجب أن تكون اتجاهاتها النسبية؟ وضّح بالرسم.

تقويم الفصل 3

83. قدّر يُطلق تفاعل اندماجي واحد في الشمس طاقة مقدارها 25 MeV تقريبًا. قدّر عدد التفاعلات التي تحدث في كل ثانية من سطوع الشمس الذي يكون عنده معدل الطاقة المنبعثة في الثانية 4×10^{26} W؟

الكتابة في الفيزياء

84. ابحث في الفهم الحالي للمادة المعتمة في الكون، وما أهمية هذه المادة لعلماء الكونيات؟ وما مكونات هذه المادة؟

85. ابحث في تعقّب الكوارك العلوي. لماذا افترض الفيزيائيون وجوده؟

مراجعة تراكمية

86. إلكترون طول موجة دي برولي له 400.0 nm، احسب:

a. سرعة الإلكترون.

b. طاقة الإلكترون بوحدة eV.

87. يدخل فوتون طاقته 14.0 eV ذرة هيدروجين في حالة استقرار ويؤينها. ما مقدار الطاقة الحركية التي ينطلق بها الإلكترون من الذرة؟

88. تفسير البيانات يُراقَب نظير يخضع لاضمحلال إشعاعي بوساطة كاشف إشعاعي، فيسجّل عدد العدات كل خمس دقائق. حسب النتائج الموضحة في **الجدول 3–3** أزيلت العينة بعد ذلك، وسجّل الكاشف الإشعاعي 20 عدة ناتجة عن الأشعة الكونية خلال 5 دقائق. أوجد عمر نصف النظير. لاحظ أنه يجب أن تطرح 20 عدة أولية من كل نتيجة. ثم عيّن العدات كدالة رياضية مع الزمن برسم بياني، وحدد عمر النصف.

الجدول 3-3

قياسات الاضمحلال الإشعاعي

الزمن (دقيقة)	العدات (لكل 5 دقائق)
0	987
5	375
10	150
15	70
20	40
25	25
30	18

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. كم عدد البروتونات، النيوترونات، والإلكترونات في نظير النيكل– 60 $^{60}_{28}\text{Ni}$ ؟

	البروتونات	النيوترونات	الإلكترونات
A	28	32	28
B	28	28	32
C	32	32	28
D	32	28	28

2. ما الذي يحدث في التفاعل التالي:

$$^{212}_{82}\text{Pb} \longrightarrow {}^{212}_{83}\text{Bi} + \bar{e} + \bar{\nu}$$

A انبعاث ألفا
C انبعاث جاما
B انبعاث بيتا
D فقد بروتون

3. ما الناتج عندما يخضع البولونيوم– 214 $^{210}_{84}\text{Po}$ لانبعاث ألفا؟

A $^{206}_{82}\text{Pb}$
C $^{210}_{85}\text{Pb}$
B $^{208}_{82}\text{Pb}$
D $^{210}_{80}\text{Pb}$

4. حدد النظير المجهول في هذا التفاعل:

$$^{14}_{6}\text{C} + ? \longrightarrow {}^{14}_{7}\text{N} + \text{نيوترون}$$

A $^{1}_{1}\text{H}$
C $^{3}_{1}\text{H}$
B $^{2}_{1}\text{H}$
D $^{4}_{2}\text{He}$

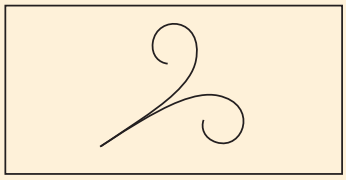
5. أي نوع من الانبعاث لا يغير عدد البروتونات أو النيوترونات في النواة؟

A البوزترون
C بيتا
B ألفا
D جاما

6. يتصادم إلكترون وبوزترون فيفني كل منهما الآخر، ويطلقان طاقتهما على شكل أشعة جاما. ما أقل طاقة لأشعة جاما؟ (الطاقة المكافئة لكتلة الإلكترون 0.51 Mev)

A 0.51 MeV
C 931.49 MeV
B 1.02 MeV
D 1863 MeV

7. يبيّن الرسم التوضيحي أدناه المسارات في حجرة الفقاعة التي تنتج عندما تضمحل أشعة جاما إلى بوزترون وإلكترون. لماذا لا تغادر أشعة جاما المسار؟



A تنتقل أشعة جاما بسرعة عالية جدًّا خلال مساراتها لكي يتم اكتشافها.

B أزواج من الجسيمات فقط يمكن أن تغادر المسارات في حجرة الفقاعة.

C يجب أن يمتلك الجسيم كتلة حتى يتفاعل مع السائل ويغادر المسار، وأشعة جاما عديمة الكتلة فعليًا.

D أشعة جاما متعادلة كهربائيًا، لذلك فلا تؤين السائل.

8. نظير البولونيوم– 210 له عمر نصف 138 day، ما مقدار الكمية المتبقية من عينة 2.34 kg بعد مرور أربعة أعوام؟

A 0.644 mg
C 1.51 g
B 1.50 mg
D 10.6 g

9. تبعث عينة من اليود– 131 المشع جسيمات بيتا، بمعدل 2.5×10^8 Bq، إذا كان عمر النصف لليود 8 أيام. ما النشاطية بعد مرور 16 يومًا؟

A 1.6×10^7 Bq
C 1.2×10^8 Bq
B 6.2×10^7 Bq
D 2.5×10^8 Bq

الأسئلة الممتدة

10. يطلق انشطار نواة يورانيوم– 235 طاقة 3.2×10^{-11} J تقريبًا. وطن واحد من مادة TNT يحرر طاقة 4×10^9 J تقريبًا. كم عدد أنوية اليورانيوم– 235 في قنبلة الانشطار النووي الذي يطلق طاقة تكافئ 20000 طن من مادة TNT؟

مصادر تعليمية للطالب

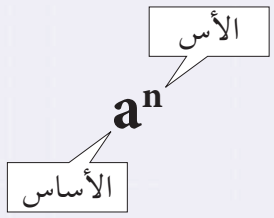
- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات
- الجدول الدوري للعناصر

I. الأسس والقوى والجذور والقيمة المطلقة Exponents, Powers, Roots, and Absolute value

الأسس Exponents

الأس عبارة عن عدد يخبرك بعدد المرات التي استعمل فيها الأساس a كعامل، ويكتب الأس على صيغة رمز علوي، ففي الحد a^n، يمثل الرمز a الأساس ويمثل الرمز n الأس.

ويسمى المقدار a^n القوة النونية للرقم a أو أن الرقم a مرفوع للقوة n.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن الرمز السفلي لا يمثل الأس، وفي الفيزياء يمثل الرمز السفلي تعبيرًا آخر للمتغير.

فمثلا v_0 يمكن أن تستعمل لتعبر عن السرعة عند الزمن 0، ولذلك فإن الرمز السفلي يعتبر جزءًا من المتغير.

الأس الموجب لأي رقم غير صفري a ، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^n = (a_1)(a_2)(a_3)\dots(a_n)$$

مثال: بسّط الحدود الأسية التالية:

$$10^4 = (10)(10)(10)(10) = 10{,}000$$

$$2^3 = (2)(2)(2) = 8$$

الأس الصفري لأي رقم a غير صفري،

$$a^0 = 1$$

مثال: بسّط الحدود الأسية الصفرية التالية:

$$2^0 = 1$$

$$13^0 = 1$$

الأس السالب لأي رقم a غير صفري، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

مثال: اكتب الحدود الأسية السالبة الآتية في صورة كسور.

$$2^{-2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4} \qquad 2^{-1} = \frac{1}{2^1} = \frac{1}{2}$$

الجذور التربيعية والجذور التكعيبية Square and Cube Roots

الجذر التربيعي للرقم يساوي أحد معامليه الاثنين المتساويين. ويعبّر الرمز الجذري $\sqrt{\ }$ ، عن الجذر التربيعي. ويمكن أن يُعبّر عن الجذر التربيعي بالأس $\frac{1}{2}$ كما في $\sqrt{b} = b^{\frac{1}{2}}$. ويمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد قيمة الجذور التربيعية.

أمثلة: بسّط حدود الجذور التربيعية الآتية:

$\sqrt{a^2} = \sqrt{(a)\,(a)} = a$

$\sqrt{9} = \sqrt{(3)\,(3)} = 3$

تتضمن الإجابة صفرًا عن يمين الفاصلة العشرية وذلك للإبقاء على رقمين معنويين. $\sqrt{64} = \sqrt{(8.0)\,(8.0)} = 8.0$

ضع صفرين عن يمين إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على أربعة أرقام معنوية. $\sqrt{38.44} = 6.200$

قرّب إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على رقمين معنويين. $\sqrt{39} = 6.244997 = 6.2$

إن الجذر التكعيبي للرقم يمثل أحد معاملاته الثلاثة المتساوية. ويعبر الرمز الجذري $\sqrt[3]{\ }$ أي استعمال الرقم 3، عن الجذر التكعيبي. كما يمكن تمثيل الجذر التكعيبي أيضًا في صورة أس $\frac{1}{3}$ كما في $\sqrt[3]{b} = b^{\frac{1}{3}}$.

مثال: بسّط حدود الجذر التكعيبي التالية:

$\sqrt[3]{125} = \sqrt[3]{(5.00)(5.00)(5.00)} = 5.00$

$\sqrt[3]{39.304} = 3.4000$

مسائل تدريبية

1. أوجد ناتج كل جذر، ومن ثم قرّب الإجابة إلى أقرب مئة.

a. $\sqrt{22}$ **c.** $\sqrt{676}$

b. $\sqrt[3]{729}$ **d.** $\sqrt[3]{46.656}$

2. بسّط الجذور التالية من دون استعمال الرمز الجذري:

a. $\sqrt{16a^2b^4}$ **b.** $\sqrt{9t^6}$

3. اكتب الجذور الآتية على الصورة الأسية:

a. $\sqrt{n^3}$ **b.** $\frac{1}{\sqrt{a}}$

إجراء العمليات باستخدام الأسس Operations With Exponents

لإجراء العمليات التالية باستخدام الأسس فإن كلًّا من a ، b يمكن أن يكونا أرقامًا أو متغيرات.

ضرب القوى: لإجراء عملية ضرب حدود لها الأساس نفسه اجمع الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$$(a^m)(a^n) = a^{m+n}$$

قسمة القوى: لإجراء عملية قسمة حدود لها الأساس نفسه اطرح الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$$a^m / a^n = a^{m-n}$$

القوة مرفوعة لقوة: لايجاد ناتج قوة مرفوعة لقوة، استخدم الأساس نفسه واضرب الأسس في بعضها، كما هو موضح في الصفحة التالية: $(a^m)^n = a^{mn}$

الجذر مرفوعة لقوة: لإيجاد ناتج جذر مرفوع لقوة استخدم الأساس نفسه وقسّم أس القوة على أس الجذر، كما هو موضح في الصيغة التالية: $\sqrt[n]{a^m} = a^{m/n}$

القوة لحاصل الضرب: لإيجاد القوة لحاصل الضرب a و b ، ارفع كليهما للقوة نفسها، ثم أوجد حاصل ضربهما معًا، كما في $(ab)^n = a^n b^n$

مسائل تدريبية

4. اكتب الصيغة المكافئة مستعملًا خصائص الأسس.

a. $x^2\, t \,/\, x^3$ **b.** $\sqrt{t^3}$ **c.** $\sqrt{x}$ **d.** x^2

5. بسّط $\frac{m}{q}\sqrt{\frac{2qv}{m}}$

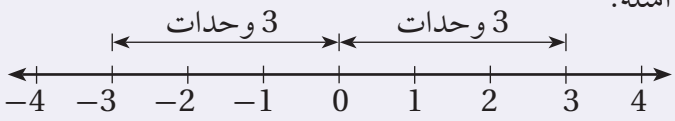
القيمة المطلقة Absolute Value

إن القيمة المطلقة للرقم n عبارة عن قيمته بغض النظر عن إشارته. وتكتب القيمة المطلقة للرقم n على صورة |n|، ولأن المقادير لا تكون أقل من الصفر فإن القيم المطلقة دائمًا أكبر من صفر أو تساوي صفرًا.

أمثلة:

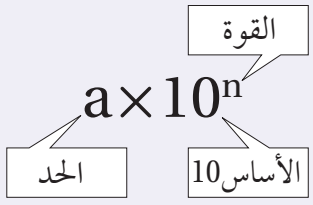
$|3| = 3$

$|-3| = 3$



II. الدلالة العلمية Scientific Notation

إن الرقم على الصيغة $a\times10^n$ مكتوب بدلالته العلمية، حيث $1 \le a \le 10$، والرقم n عدد صحيح. الأساس 10 مرفوع للقوة n والحد a يجب أن يكون أقل من 10.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون الدلالة العلمية مع القياسات التي تزيد على 10 أو الأقل من 1 للتعبير عنها، والمقارنة بينها، وحسابها. فمثلاً تكتب كتلة البروتون على صورة 6.73×10^{-28} kg، وتكتب كثافة الماء على الصورة 1.000×10^{3} kg/m³ وهذا يوضح استعمال قواعد الأرقام المعنوية، حيث يساوي هذا القياس 1000 تمامًا، وذلك لأربعة أرقام معنوية. ولذلك فعند كتابة كثافة الماء على الصورة 1000 kg/m³ سوف يشير ذلك إلى أن الرقم يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا، وهذا غير صحيح. لقد ساعدت الدلالة العلمية الفيزيائيين على الحفاظ على المسار الدقيق للأرقام المعنوية.

الأرقام الكبيرة، واستخدام الأسس الموجبة Large Numbers – Using Positive Exponents

إن عملية الضرب للقوة 10 تشبه تمامًا عملية تحريك النقطة العشرية لنفس عدد المنازل إلى يسار العدد (إذا كانت القوة سالبة) أو إلى اليمين (إذا كانت القوة موجبة). وللتعبير عن الرقم الكبير في الدلالة العلمية حدد أولاً قيمة الحد a، $1 \le a < 10$، ثم عد المنازل العشرية من النقطة العشرية في الحد a لغاية النقطة العشرية في العدد. ثم استعمل العدد كقوة للرقم 10. وتبين الآلة الحاسبة الدلالة العلمية باستعمال e للأسس كما في $2.4 \text{ e+11} = 2.4 \times 10^{11}$ وبعض الآلات الحاسبة تستخدم E لتبيان الأس أو يوجد غالبًا على الشاشة موضع مخصص، حيث تظهر أرقام ذات أحجام صغيرة نسبيًّا لتمثل الأسس في الآلة الحاسبة.

مثال: اكتب 7,530,000 بدلالته العلمية.

إن قيمة a هي 7.53 (النقطة العشرية عن يمين أول رقم غير صفري)، لذلك سيكون الشكل في صورة 7.53×10^{n}.

هناك ستة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 6 $7{,}530{,}000 = 7.53 \times 10^{6}$

لكتابة الصورة القياسية للرقم المعبَّر عنه بدلالته العلمية اكتب قيمة a، وضع أصفارًا إضافية عن يمين الرقم. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية للرقم a عدة منازل إلى اليمين.

مثال: اكتب الرقم التالي في صورته القياسية

$2.389 \times 10^{5} = 2.38900 \times 10^{5} = 238{,}900$

الأرقام الصغيرة، واستخدام الأسس السالبة Small Numbers–Using Negative Exponents

للتعبير عن الأرقام الصغيرة بدلالتها العلمية حدد أولاً قيمة a ، $1 \le a < 10$ ، ثم احسب عدد المنازل العشرية مبتدئًا من النقطة العشرية للرقم a حتى النقطة العشرية في الرقم.

استعمل ذلك العدد قوةً للأساس 10 . إن عملية ضرب الرقم في قوة سالبة مماثل تمامًا لعملية القسمة على ذلك الرقم مع القوة الموجبة المرافقة.

مثال: اكتب 0.000000285 بدلالته العلمية

إن قيمة a هي 2.85 (النقطة العشرية تقع عن يمين الرقم الأول غير الصفري) لذلك فإن الشكل سيكون في صورة 2.85×10^{n}.

توجد سبعة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 7 – $0.000000285 = 2.85\times10^{-7}$

وللتعبير عن الأرقام الصغيرة بصورتها القياسية، اكتب قيمة الرقم a، وقم بإضافة أصفار إضافية عن يسار الرقم a. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية في a عدة منازل إلى اليسار.

مثال: $1.6 \times 10^{-4} = 00001.6 \times 10^{-4} = 0.00016$

6. عبّر عن كل رقم بدلالته العلمية:

a. 456,000,000 **b.** 0.000020

7. عبّر عن كل رقم بصورته القياسية.

a. 3.03×10^{-7} **b.** 9.7×10^{10}

إجراء العمليات الرياضية بدلالتها العلمية Operations with Scientific Notation

لإجراء العمليات الرياضية للأرقام المعبّر عنها بدلالتها العلمية نستخدم خصائص الأسس.

عملية الضرب أوجد حاصل عملية ضرب الحدود، ثم اجمع القوى للأساس 10.

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $(4.0\times10^{-8})\ (1.2\times10^{5}) = (4.0\times1.2)\ (10^{-8}\times10^{5})$

أوجد حاصل ضرب الحدود $= (4.8)\ (10^{-8+5})$

اجمع القوى للأساس 10 $= (4.8)\ (10^{-3})$

أعد صياغة النتيجة بدلالتها العلمية $= 4.8\times10^{-3}$

عملية القسمة قم بإجراء عملية قسمة الأرقام الممثلة للقواعد، ثم اطرح أسس الأساس 10.

مثال: بسّط

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $\frac{9.60\times10^{7}}{1.60\times10^{3}} = \left(\frac{9.60}{1.60}\right)\times\left(\frac{10^{7}}{10^{3}}\right)$

قسّم الحدود واطرح القوس للأساس 10 $= 6.00 \times 10^{7-3}$

$= 6.00 \times 10^{4}$

عمليتا الجمع والطرح إن إجراء عملية الجمع وعملية الطرح للأرقام بدلالتها العلمية هي عملية تحدٍّ أكبر؛ لأن قوى الأساس 10 يجب أن تكون متماثلة لكي تستطيع جمع أو طرح الأرقام. وهذا يعني أن أحد تلك الأرقام يمكن أن يحتاج إلى إعادة كتابته بدلالة قوة مختلفة للأساس 10، بينما إذا كانت القوى للأساس 10 متساوية فاستعمل الخاصية التوزيعية للأعداد.

مثال: بسّط

جمّع الحدود $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^5) = (3.2+4.8)\times10^5$

اجمع الحدود $= 8.0\times10^5$

مثال: بسّط

أعد كتابة 4.8×10^4 على صورة 0.48×10^5 $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^4) = (3.2\times10^5) + (0.48\times10^5)$

جمّع الحدود $= (3.2+0.48)\times10^5$

اجمع الحدود $= 3.68\times10^5$

قرّب النتيجة مستعملًا قاعدة الجمع / الطرح للأرقام المعنوية. $= 3.7\times10^5$

مسائل تدريبية

8. احسب نتيجة كل من التعابير التالية، وعبّر عن النتيجة بدلالتها العلمية.

a. $(4.0\times10^8)\ (5.2\times10^{-4})$ **b.** $(2.4\times10^3) + (8.0\times10^4)$

III. المعادلات Equations

ترتيب العمليات Order of Operations

اتفق العلماء والرياضيون على مجموعة من الخطوات أو القواعد، تسمى ترتيب العمليات، لذلك يفسّر كل شخص الرموز الرياضية بالطريقة نفسها. اتّبع هذه الخطوات بالترتيب عندما تريد تقدير نتيجة تعبير رياضي أو عند استخدام صيغة رياضية معينة.

1. بسّط التعابير الرياضية داخل الرموز التجميعية، مثل القوسين ( )، والقوسين المعقوفين [ ]، والأقواس المزدوجة { }، وأعمدة الكسر.

2. قدّر قيمة جميع القوى والجذور.

3. نفّذ جميع عمليات الضرب و / أو جميع عمليات القسمة من اليسار إلى اليمين.

4. نفّذ جميع عمليات الجمع و / أو جميع عمليات الطرح من اليسار إلى اليمين.

مثال: بسّط التعبير التالي:

ترتيب العمليات: الخطوة 1 $4+3\ (4-1)-2^3 = 4+3\ (3)-2^3$

ترتيب العمليات: الخطوة 2 $=4+3\ (3)-8$

ترتيب العمليات: الخطوة 3 $=4+9-8$

ترتيب العمليات: الخطوة 4 $=5$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يوضح المثال السابق تنفيذ عملية ترتيب العمليات خطوة بخطوة. فعند حل المسائل الفيزيائية لا تجري عملية التقريب للرقم الصحيح للأرقام المعنوية إلا بعد حساب النتيجة النهائية. في حالة الحسابات التي تتضمن تعابير رياضية في البسط وتعابير رياضية في المقام عليك معاملة كل من البسط والمقام بوصفهما مجموعتين منفصلتين، ثم جد نتيجة كل مجموعة قبل أن تجري عملية قسمة البسط على المقام، لذلك فإن قاعدة الضرب / القسمة تستخدم لحساب الرقم النهائي للأرقام المعنوية.

حل المعادلات Solving Equations

إن حل المعادلة يعني إيجاد قيمة المتغير الذي يجعل المعادلة تعبيرًا رياضيًّا صحيحًا. وعند حل المعادلات طبّق خاصية التوزيع وخصائص التكافؤ، وإذا طبقت أيًّا من خصائص المتكافئات في أحد طرفي المعادلة وجب أن تطبق الخصائص نفسها في الطرف الآخر.

الخاصية التوزيعية لأي من الأعداد a ، b ، c يكون:

$a\,(b+c) = ab+ac$ $\qquad$ $a\,(b-c) = ab-ac$

مثال: استعمل الخاصية التوزيعية لتفكيك التعبير التالي:

$$3\,(x+2) = 3x + (3)\,(2)$$
$$= 3x + 6$$

خاصيتا الجمع والطرح للمتكافئات إذا تساوت كميتان وأضيف العدد نفسه أو طرح العدد نفسه من كليهما، فإن الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

مثال: حل المعادلة $x - 3 = 7$ *مستعملًا خاصية الجمع*

$$x-3 = 7$$
$$x-3+3 = 7+3$$
$$x=10$$

مثال: حل المعادلة $t + 2 = -5$ مستعملًا خاصية الطرح

$$t+2 = -5$$
$$t+2-2 = -5-2$$
$$t = -7$$

خاصيتا الضرب والقسمة للمتكافئات إذا ضربت أو قسمت كميتين متساويتين في/ على العدد نفسه، فستكون الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

$$a\,c = b\,c$$
$$\frac{a}{c} = \frac{b}{c}, \text{ for } c \neq 0$$

مثال: حل المعادلة $\frac{1}{4}\,a = 3$ مستعملًا خاصية الضرب

$$\frac{1}{4}\,a = 3$$
$$(\frac{1}{4}\,a)\,(4) = 3\,(4)$$
$$a = 12$$

مثال: حل المعادلة $6\,n = 18$ مستخدمًا خاصية القسمة

$$6\,n = 18$$
$$\frac{6n}{6} = \frac{18}{6}$$
$$n = 3$$

مثال: حل المعادلة $2\,t + 8 = 5\,t - 4$ بالنسبة للمتغير t

$$2\,t + 8 = 5\,t - 4$$
$$8 + 4 = 5\,t - 2\,t$$
$$12 = 3\,t$$
$$4 = t$$

فصل المتغير Isolating aVariable

افترض معادلة تتضمن أكثر من متغير، لفصل المتغير– أيْ لحل المعادلة بالنسبة لذلك المتغير– اكتب معادلة ارتباط مكافئة بحيث يتضمن أحد طرفيها المتغير فقط بمعامل يساوي 1.

ارتباط الرياضيات في الفيزياء افصل المتغير P (الضغط) في معادلة قانون الغاز المثالي.

$$PV = nRT$$

قسّم طرفي المعادلة على V
$$\frac{PV}{V} = \frac{nRT}{V}$$

جمّع $(\frac{V}{V})$
$$P(\frac{V}{V}) = \frac{nRT}{V}$$

بالتعويض عن $\frac{V}{V} = 1$
$$P = \frac{nRT}{V}$$

مسائل تدريبية

9. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

a. $2 + 3\,x = 17$

b. $x - 4 = 2 - 3x$

c. $t - 1 = \frac{x+4}{3}$

d. $a = \frac{b+x}{c}$

e. $6 = \frac{2x+3}{x}$

f. $ax + bx + c = d$

خاصية الجذر التربيعي Square Root Property

إذا كان كل من a ، n أعدادًا حقيقية، $n > 0$ و $a^2 = n$ ، فإن $a = \pm \sqrt{n}$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء حل المعادلة بالنسبة للمتغير v في القانون الثاني لنيوتن لقمر يدور حول الأرض.

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Gm_E m}{r^2}$$

اضرب طرفي المعادلة كليهما في المتغير r

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{rGm_E m}{r^2}$$

بالتعويض عن $\frac{r}{r} = 1$

$$mv^2 = \frac{Gm_E m}{r}$$

قسّم طرفي المعادلة على m .

$$\frac{mv^2}{m} = \frac{Gm_E m}{rm}$$

بالتعويض عن $\frac{m}{m} = 1$

$$v^2 = \frac{Gm_E}{r}$$

ضع الجذر التربيعي على طرفي المعادلة

$$\sqrt{v^2} = \pm\sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

استعمل القيمة الموجبة للسرعة.

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

عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي من المهم الانتباه للمتغير الذي ستقوم بحل المعادلة بالنسبة له. لأننا قمنا بحل المعادلة السابقة بالنسبة للسرعة v، لذلك لم يكن من المنطق أن نستعمل القيمة السالبة للجذر التربيعي، وأنت بحاجة أيضًا للأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت القيمة السالبة أو الموجبة ستعطيك الحل الصحيح، فمثلاً عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي لحل المعادلة بالنسبة للمتغير t فإن القيمة السالبة تشير إلى الفترة الزمنية قبل بدء الحالة التي تدرسها.

المعادلات التربيعية Quadratic Equations

التعبير العام للمعادلة التربيعية $ax^2 + bx + c = 0$ ، حيث $a \neq 0$، وتتضمن المعادلة التربيعية متغيرًا واحدًا مرفوعًا للقوة (الأس) 2 بالإضافة إلى المتغير نفسه مرفوعًا للأس 1 . كما يمكن تقدير حلول المعادلة التربيعية بوساطة التمثيل البياني باستعمال الآلة الحاسبة الراسمة بيانيًا. إذا كانت $b = 0$ فإن الحد x غير موجود في المعادلة التربيعية. ويمكن حل المعادلة بفصل المتغير المربع، ثم إيجاد الجذر التربيعي لكل من طرفي المعادلة باستخدام خاصية الجذر التربيعي.

الصيغة التربيعية Quadratic Formula

إن حلول أي معادلة تربيعية يمكن إيجادها باستعمال الصيغة التربيعية، لذلك فإن حلول المعادلة $ax^2 + bx + c = 0$، حيث $a \neq 0$، تعطى من خلال المعادلة التالية:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

وكما في حالة خاصية الجذر التربيعي، من المهم الأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت حلول الصيغة التربيعية تعطيك الحل الصحيح للمسألة التي بصدد حلّها. فعادةً يُمكنك إهمال أحد الحلول لكونه حلاً غير حقيقي. تتطلب حركة المقذوف غالبًا استعمال الصيغة التربيعية عند حل المعادلة، لذلك حافظ على واقعية الحل في ذهنك عند حل المعادلة.

مسائل تدريبية

10. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

$4x^2 - 19 = 17$

$12 - 3x^2 = -9$

$x^2 - 2x - 24 = 0$

$24x^2 - 14x - 6 = 0$

حسابات الوحدات Dimensional Calculations

عند إجراء الحسابات عليك أن ترفق وحدة كل قياس مكتوبة في الحسابات، وجميع العمليات التي تتم في صورة أعداد تُجرى أيضًا مرفقة بوحداتها.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة تسارع الجاذبية الأرضية a يعطى من خلال المعادلة $a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$. فإذا سقط جسم سقوطًا حرًّا على القمر مسافة 20.5 m خلال 5.00 s . أوجد التسارع a على سطح القمر.

يقاس التسارع بوحدة m/s^2.

$$a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$$

$$a = \frac{2(20.5\ m)}{(5.00\ s)^2}$$

العدد 2 عدد دقيق، لذلك لن يؤثر في حساب الأرقام المعنوية

احسب وقرّب حتى ثلاثة أرقام معنوية

$a = \frac{1.64\ m}{s^2}$ مثل

أو مثل $a = 1.64\ m/s^2$

تحويل الوحدة استعمل معامل التحويل للتحويل من وحدة قياس إلى وحدة قياس أخرى من النوع نفسه، من وحدة الدقائق مثلاً إلى وحدة الثواني، وهذا يكافئ عملية الضرب في العدد 1 .

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء جد Δx عندما $v_0 = 67\ m/s$ و $\Delta t = 5.0\ min$. استخدم المعادلة $\Delta x = v_0 \Delta t$.

$$\frac{60\ s}{1\ min} = 1$$

$$\Delta x = v_0 \Delta t$$

$$\Delta x = \frac{67\ m}{s}\left(\frac{5.0\ min}{1}\right)\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$$

اضرب في معامل التحويل $\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$

$\Delta x = 20100\ m = 2.0 \times 10^4\ m$

احسب ثم قرّب إلى رقمين معنويين. إن العددين 60 s و 1 min مضبوطين ودقيقين، لذلك لن يؤثرا في حساب الأرقام المعنوية.

مسائل تدريبية

11. بسّط المعادلة $\Delta t = \frac{4.0\times10^{2}\ \text{m}}{16\ \text{m/s}}$

12. احسب السرعة المتجهة لقطعة قرميد ساقطة بعد مضي 5.0 s ، استعمل $a = -9.80\ \text{m/s}^2$ و $v = a\,\Delta t$.

13. أوجد حاصل ضرب الحدود: $\left(\frac{1\ \text{m}}{100\ \text{cm}}\right)\left(\frac{60\ \text{min}}{1\text{h}}\right)\left(\frac{60\ \text{s}}{1\ \text{min}}\right)\left(\frac{32\ \text{cm}}{1\text{s}}\right)$

14. في سجلّ الألعاب الأولمبية تم قطع المسافة 100.00 m خلال 9.87 s. ما السرعة بوحدة الكيلومترات لكل ساعة؟

تحليل الوحدات Dimensional Analysis

يعتبر تحليل الوحدات طريقة لتنفيذ العمليات الجبرية باستعمال الوحدات، وغالبًا ما يستعمل لاختبار صحة وحدات النتيجة النهائية وصحة المعادلة المستعملة، من دون إعادة تنفيذ الحسابات بصورة كاملة.

مثال فيزيائي تحقق من أن الإجابة النهائية للمعادلة $d_f = d_i + v_i t + \frac{1}{2}\,at^2$ وحدتها m

d_i تقاس بوحدة m

t تقاس بوحدة s

v_i تقاس بوحدة m/s

a تقاس بوحدة m/s^2

بالتعويض عن وحدات كل متغير

$$d_f = \text{m} + \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)(\text{s}) + \frac{1}{2}\left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)(\text{s})^2$$

بسّط الكسور مستعملًا الخاصية التوزيعية

$$= \text{m} + (\text{m})\left(\frac{\text{s}}{\text{s}}\right) + \frac{1}{2}\,(\text{m})\left(\frac{\text{s}^2}{\text{s}^2}\right)$$

بالتعويض عن $\text{s}^2/\text{s}^2 = 1$، $\text{s}/\text{s} = 1$

$$= \text{m} + (\text{m})(1) + \frac{1}{2}\,(\text{m})(1)$$

جميع الحدود أعطت الوحدة m لذلك فإن d_f بوحدة m

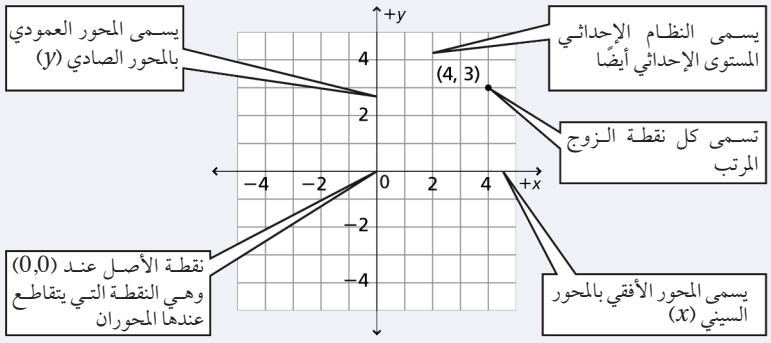
$$= \text{m} + \text{m} + \frac{1}{2}\,\text{m}$$

لا يطبّق المعامل $\frac{1}{2}$ في المعادلة أعلاه بالنسبة للوحدات، ويطبّق فقط لأي من القيم العددية التي يتم تعويضها بدلاً من المتغيرات لحل المعادلة. ومن السهل إزالة المعاملات الرقمية مثل الرقم $\frac{1}{2}$ عندما تبدأ بإجراء تحليل الوحدات.

IV. التمثيل البياني للعلاقات Graphs of Relations

المستوى الإحداثي (الديكارتي) The Coordinate Plane

تعين النقاط بالنسبة إلى خطين مدرّجين متعامدين يطلق على كل منهما اسم المحور، و يسمى خط الأعداد الأفقي المحور السيني (x). أما خط الأعداد العمودي فيسمى المحور الصادي (y). ويمثل المحور السيني عادة المتغير المستقل، فيما يمثل المحور العمودي المتغير التابع، بحيث تُمثّل النقطة بإحداثيين (x،y) يسميان أيضًا الزوج المرتب. وتَرد دائماً قيمة المتغير التابع (x) أولًا في الزوج المرتب الذي يمثل (0,0) نقطة الأصل، وهي النقطة التي يتقاطع عندها المحوران.

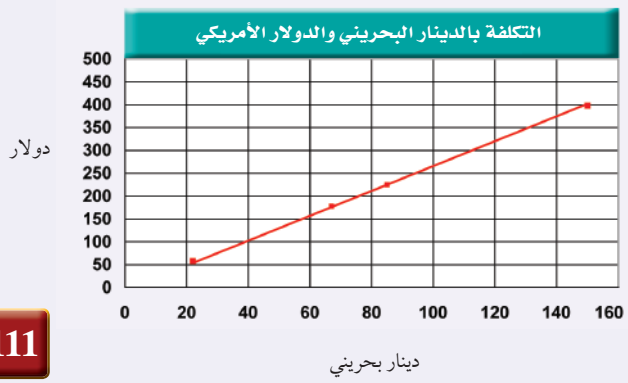


استعمال التمثيل البياني لتحديد العلاقة الرياضية Grahping Data to Determine Relationships

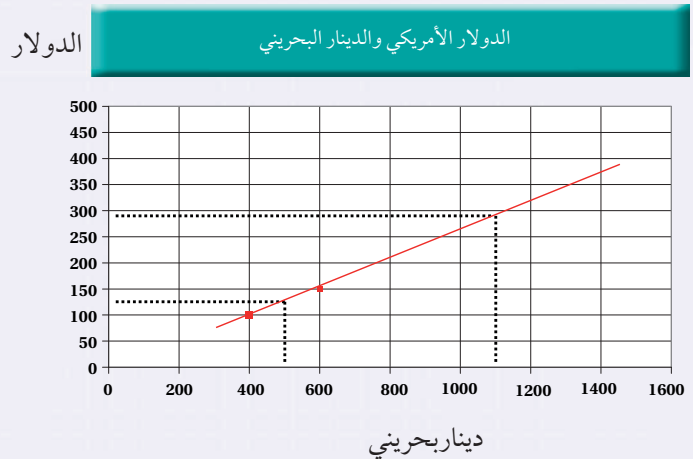
استعمل الخطوات الآتية لعمل رسوم بيانية:

1. ارسم محورين متعامدين.
2. حدّد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة، وعيّن محور كل منهما مستعملًا أسماء المتغيرات.
3. عيّن مدى البيانات لكل متغير، لتحديد المقياس المناسب لكل محور، ثم حدّد ورقّم المقاييس.
4. عيّن كل نقطة بيانيًا.
5. عندما تبدو لك البيانات واقعة على خط مستقيم واحد ارسم الخط الأكثر ملاءمة خلال مجموعة النقاط. وعندما لا تقع النقاط على خط واحد ارسم منحنى بيانيًا بسيطًا، بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. وعندما لا يبدو هناك أي ميل لاتجاه معين فلا ترسم خطًّا أو منحنًى.
6. اكتب عنوانًا يصف بوضوح ماذا يمثل الرسم البياني.

نوع الخدمة	دينار	دولار
الفندق (الإقامة)	150	398
الوجبات	85	225
الترفيه	67	178
المواصلات	22	58



الاستيفاء والاستقراء Interpolating and Extrapolating



تستعمل طريقة الاستيفاء في تقدير قيمة تقع بين قيمتين معلومتين على الخط الممثل لعلاقة ما، في حين أن عملية تقدير قيمة تقع خارج مدى القيم المعلومة تسمى الاستقراء. إن معادلة الخط الممثل لعلاقة ما تساعدك في عمليتي الاستيفاء والاستقراء.

مثال: مستعينًا بالرسم البياني استعمل طريقة الاستيفاء لتقدير القيمة (السّعْر) المقابلة لـ 50 دينارًا.

حدد نقطتين على كل من جانبي القيمة 50 (40 دينارًا، 60 دينارًا)، ثم ارسم خطًّا مستمرًّا يصل بينهما.

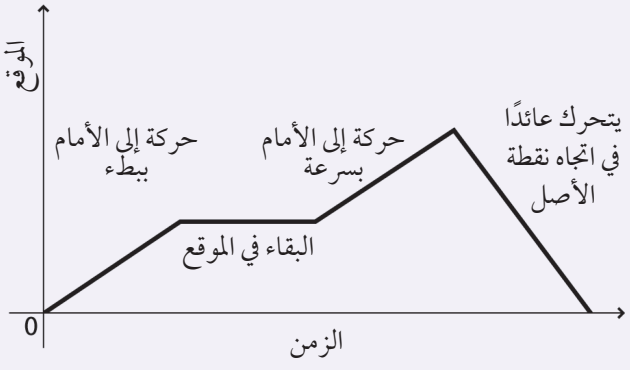
ارسم الآن خطًّا متقطعًا عموديًّا من النقطة (50 دينارًا) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المرسوم، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا يصل إلى المحور الرأسي. سوف تجد أنه يتقاطع معه عند القيمة 131 أو 132 دولارًا.

مثال: استعمل الاستقراء لتحديد القيمة المقابلة لـ 1100 دينار.

ارسم خطًّا متقطعًا من النقطة (1100 دينار) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المستمر الذي رسمته في المثال السابق، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا. ستجد أنه يتقاطع مع المحور الرأسي عند النقطة 290 دولارًا.

تفسير الرسم البياني الخطي Interpreting Line Graph

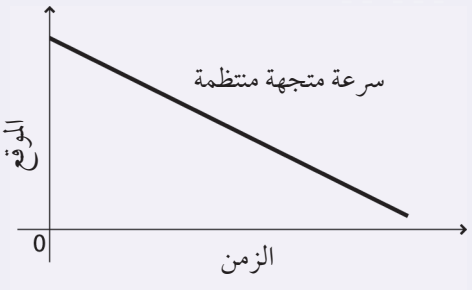
يوضح الرسم البياني الخطي العلاقة الخطية بين متغيرين. وهناك نوعان من الرسوم البيانية الخطية التي تصف الحركة تستخدم عادة في الفيزياء.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

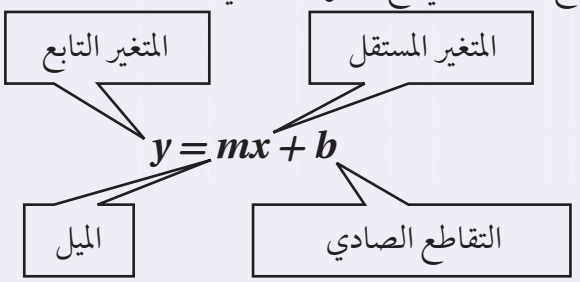
a. يوضح الرسم البياني علاقة خطية متغيرة بين (الموقع – الزمن).

b. يوضح الخط البياني علاقة خطية ثابتة بين متغيرين (الموقع – الزمن)



المعادلة الخطية Linear Equation

يمكن كتابة المعادلة الخطية بالشكل: $y = mx + b$، حيث m ، b أعداد حقيقية، و(m) يمثل ميل الخط، و(b) يمثل التقاطع الصادي؛ وهي نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الصادي.



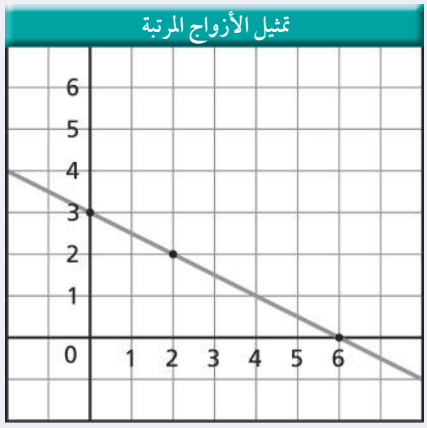
تمثل المعادلة الخطية بخط مستقيم، ولتمثيلها بيانيًّا قم باختيار ثلاث قيم للمتغير المستقل (يلزم نقطتان فقط، والنقطة الثالثة تستخدم لإجراء اختبار). احسب القيم المقابلة للمتغير التابع، ثم عيّن زوجين مرتبين (x,y)، وارسم أفضل خط يمر بجميع النقاط.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة

$$y = -\left(\frac{1}{2}\right)x + 3$$

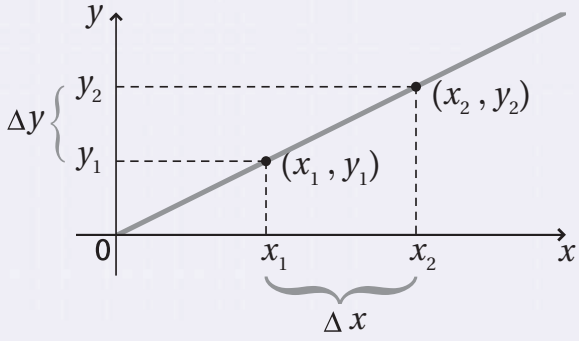
احسب ثلاثة أزواج مرتبة للحصول على نقاط لتعيينها.

الأزواج المرتبة	
x	y
0	3
2	2
6	0



الميل Slope

ميل الخط هو النسبة بين التغير في الإحداثيات الصادية، والتغير في الإحداثيات السينية، أو النسبة بين التغير العمودي (المقابل) والتغير الأفقي (المجاور). وهذا الرقم يخبرك بكيفية انحدار الخط البياني، ويمكن أن يكون رقمًا موجبًا أو سالبًا. ولإيجاد ميل الخط قم باختيار نقطتين (x_1 , y_1) ، (x_2 , y_2)، ثم احسب الاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين السينيين $\Delta x = x_2 - x_1$، والاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين الصاديين $\Delta y = (y_2 - y_1)$، ثم جد النسبة بين Δy و Δx .



$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

التغير الطردي Direct variation

إذا احتوت المعادلة على ثابتٍ غير صفري m، بحيث كانت $y = mx$، فإن y تتغير طرديًّا بتغير x؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يزداد أيضًا، ويقال عندئذٍ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا طرديًّا. وهذه معادلة خطية على الصورة $y = mx + b$ حيث قيمة b صفر، ويمر الخط البياني من خلال نقطة الأصل $(0,0)$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة القوة المعيدة (المُرجعة) للنابض المثالي $\boldsymbol{F} = -k\boldsymbol{x}$ ، حيث $\boldsymbol{F}$ القوة المُرجعة، k ثابت النابض و x استطالة النابض، تتغير القوة المرجعة للنابض طرديًّا مع تغير استطالته؛ ولذلك تزداد القوة المرجعة عندما تزداد استطالة النابض.

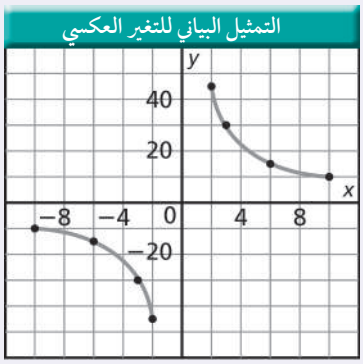
التغير العكسي Inverse Variation

إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صفري m، بحيث كانت $y=m/x$ ، فإن y تتغير عكسيًّا بتغير x ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يتناقص، ويقال عندئذ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا عكسيًّا. وهذه ليست معادلة خطية؛ لأنها تشتمل على حاصل ضرب متغيرين، والتمثيل البياني لعلاقة التناسب العكسي عبارة عن قطع زائد. ويمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل:

$$xy = m$$
$$y = m\,\frac{1}{x}$$
$$y = \frac{m}{x}$$

مثال: مثِّل المعادلة $xy = 90$ بيانيًّا

الأزواج المرتبة	
x	y
-10	-9
-6	-15
-3	-30
-2	-45
2	45
3	30
6	15
10	9



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة سرعة الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$ ، حيث λ الطول الموجي، f التردد، و v سرعة الموجة، نجد أن الطول الموجي يتناسب عكسيًّا مع التردد؛ وهذا يعني أنه كلما يزداد تردد الموجة فإن الطول الموجي يتناقص، أما v فتبقى قيمتها ثابتة.

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية Quadratic Graph

الصيغة العامة للعلاقة التربيعية هي:

$$y = ax^2 + bx + c$$

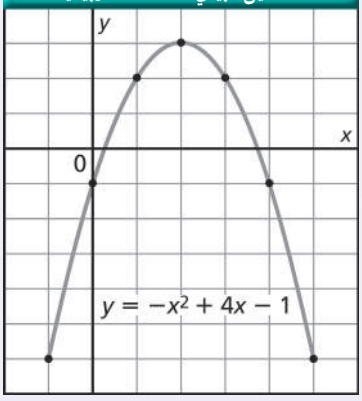
حيث $a \neq 0$

التمثيل البياني للعلاقة التربيعية يكون على صورة قطع مكافئ، ويعتمد اتجاه فتحة هذا القطع على معامل مربع المتغير المستقل (a)، إذا كان موجبًا أو سالبًا.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة $y = -x^2 + 4x - 1$

الأزواج المرتبة	
x	y
−1	−6
0	−1
1	2
2	3
3	2
4	−1
5	−6

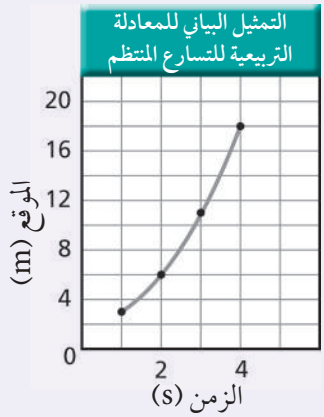
التمثيل البياني للمعادلة التربيعية



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء عندما يكون منحنى (الموقع – الزمن) على شكل المنحنى البياني للمعادلة التربيعية فهذا يعني أن الجسم يتحرك بتسارع منتظم.

الأزواج المرتبة	
الزمن (s)	الموقع (m)
1	3
2	6
3	11
4	18

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية للتسارع المنتظم



V. علم الهندسة والمثلثات (Geometry and Trigonometry)

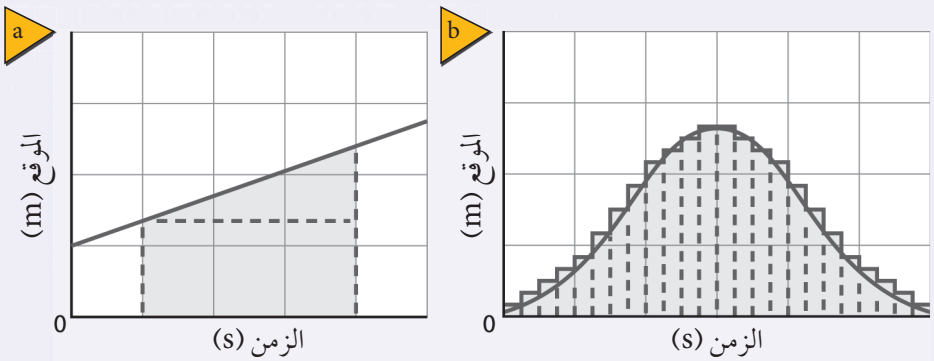
المحيط (Perimeter)، والمساحة (Area)، والحجم (Volume)

	المحيط وحدات خطية	المساحة وحدات مربعة	مساحة السطح وحدات مربعة	الحجم وحدات مكعبة
المربع الضلع a	$P = 4a$	$A = a^2$		
المستطيل الطول l العرض w	$P = 2l + 2w$	$A = lw$		
المثلث القاعدة b الارتفاع h		$A = (\frac{1}{2})\, bh$		
المكعب الضلع a			$SA = 6a^2$	$V = a^3$
الدائرة نصف القطر r	$C = 2\pi r$	$A = \pi r^2$		
الأسطوانة نصف القطر r الارتفاع h			$SA = 2\pi rh + 2\pi r^2$	$V = \pi r^2 h$
الكرة نصف القطر r			$SA = 4\pi r^2$	$V = (\frac{4}{3})\pi r^3$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء ابحث في مسائل الفيزياء التي درستها عن أشكال هندسية، يمكن أن تكون ثلاثية الأبعاد أو ذات بعدين. ويمكن أن تمثل الأشكال ذات البعدين السرعة المتجهة أو متجهات الموقع.

المساحة تحت المنحنى البياني Area Under a Graph

لحساب المساحة التقريبية الواقعة تحت المنحنى البياني، قسم المساحة إلى عدة أجزاء أصغر، ثم أوجد مساحة كل جزء مستعملًا الصيغ الرياضية في الجدول السابق. لإيجاد المساحة التقريبية الواقعة تحت الخط البياني، قسم المساحة إلى مستطيل ومثلث، كما هو موضح في الشكل a. ولإيجاد المساحة تحت المنحنى ارسم عدة مستطيلات من المحور السيني كما في الشكل b. إن رسم مستطيلات أكثر ذات قاعدة أصغر تمنحنا دقة أكثر في حساب المساحة المطلوبة.



المساحة الإجمالية تساوي
المساحة1 + المساحة 2 + المساحة 3 + ...

المساحة الإجمالية تساوي
مساحة المستطيل + مساحة المثلث

VI. اللوغاريتميات Logarithms

اللوغاريتميات للأساس b

افترض أن b و x عددان موجبان، بحيث $b \neq 1$. فإن لوغاريتم x للأساس b يكتب في صورة $(\log_b x)$ ويساوي y، حيث تمثل y الأس الذي يجعل المعادلة $x = b^y$ صحيحة. إن لوغاريتم x للأساس b يساوي العدد الأسي (y) الذي ترفع إليه العدد b للحصول على x.

$\log_b x = y$ إذا وفقط إذا $b^y = x$

مثال: أوجد ناتج كل من اللوغاريتمات التالية:

لأن $2^{-4} = \frac{1}{16}$ $\log_2 \frac{1}{16} = -4$

لأن $10^3 = 1000$ $\log_{10} 1000 = 3$

عندما تريد إيجاد لوغاريتم عددٍ ما يمكنك استعمال الآلة الحاسبة.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون اللوغاريتمات للعمل بقياسات تمتد إلى مقادير متعددة القيمة أو القوة للعدد 10، ويستعمل الجيوفيزيائيون مقياس ريختر وهو مقياس لوغاريتمي يوفر لهم القدرة على تقدير معدل الزلازل من 5 إلى 7 أو أكبر، وتختلف قوة الزلازل بمقدار 7 أو بقوى أكبر للأساس 10.

اللوغاريتمات الطبيعية Common Logarithms

تسمى اللوغاريتمات للأساس 10 اللوغاريتمات الطبيعية، وتكتب غالبًا بدون الرقم الدليل 10.

$$\log_{10} x = \log x \quad x > 0$$

المقابلات اللوغاريتمية أو معكوس اللوغاريتمات Antilogarithms or Inverse Logarithms

المقابل اللوغاريتمي هو معكوس اللوغاريتم، ويمثل العدد الذي له لوغاريتم.

مثال: حل $\log x = 4$ بالنسبة للمتغير x

$\log x = 4$

10^4 هي المقابل اللوغاريتمي للعدد 4 $\quad x = 10^4$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة مستوى الصوت L، بوحدة الديسبل، هي $L = 10 \log_{10} R$. حيث R الشدة النسبية للصوت. احسب R لشوكة رنانة تصدر صوتًا بمستوى صوت مقداره 130 ديسيبل.

قسّم طرفي المعادلة على العدد 10 $\quad 130 = 10 \log_{10} R$

استعمل قاعدة اللوغاريتم $\quad 13 = \log_{10} R$

$R = 10^{13}$

عندما تعلم قيمة اللوغاريتم لعدد وتريد معرفة العدد نفسه يمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد معكوس اللوغاريتم.

مسائل تدريبية

15. اكتب الصيغة الأسية للمعادلة $\log_3 81 = 4$

16. اكتب الصيغة اللوغاريتمية للمعادلة $10^{-3} = 0.001$

17. إذا كان $\log x = 3.125$، فأوجد قيمة x.

الجداول

الوحدات الأساسية SI		
الكمية	الاسم	الرمز
الطول	meter	m
الكتلة	kilogram	kg
الزمن	second	s
درجة الحرارة	kelvin	K
مقدار المادة	mole	mol
التيار الكهربائي	ampere	A
شدة الإضاءة	candela	cd

وحدات SI المشتقة				
د	الوحدة	الرمز	معبرة بالوحدات الأساسية	معبرة بوحدات SI أخرى
التسارع		m/s^2	m/s^2	
المساحة		m^2	m^2	
الكثافة		kg/m^3	kg/m^3	
الشغل، الطاقة	joul	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	bascal	Pa	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

تحويلات مفيدة		
1 atm = 101 kPa	$1kg = 6.02 \times 10^{26}$ u	1 in = 2.54 cm
1 cal = 4.184 J	1 oz ↔ 28.4 g	1 mi = 1.61 km
$1ev = 1.60 \times 10^{-19}$ J	1 kg ↔ 2.21 lb	
1kwh = 3.60 MJ	1 lb = 4.45 N	1 gal = 3.79 L
1 hp = 746 W	1 atm = 14.7 lb/in^2	$1 m^3 = 264$ gal
$1mol= 6.022 \times 10^{23}$	$1atm = 1.01 \times 10^5$ N/m^2	

ثوابت فيزيائية			
الكمية	الرمز	المقدار	القيمة التقريبية
وحدة كتلة الذرة	u	$1.66053886\times 10^{-27}$ kg	1.66×10^{-27} kg
عدد أفوجادرو	N_A	6.0221415×10^{23} mol^{-1}	6.022×10^{23} mol^{-1}
ثابت بولتزمان	k	1.3806505×10^{-23} $Pa.m^3/K$	1.38×10^{-23} $Pa.m^3/K$
ثابت الغاز	R	8.314472 $Pa.m^3/mol.K$	8.31 $Pa.m^3/mol.K$
ثابت الجاذبية	G	6.6742×10^{-11} $N.m^2/kg^2$	6.67×10^{-11} $N.m^2/kg^2$

البادئات		
البادئة	الرمز	الدلالة العلمية
femto	f	10^{-15}
baico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
mile	m	10^{-3}
cm	c	10^{-2}
disa	d	10^{-1}
dica	da	10^{1}
hecto	h	10^{2}
kilo	k	10^{3}
mega	M	10^{6}
giga	G	10^{9}
terra	T	10^{12}
beta	P	10^{15}

الجداول

كثافة بعض المواد الشائعة	
المادة	الكثافة (g/cm^3)
ألومنيوم	2.702
كادميوم	8.642
نحاس	8.92
جرمانيوم	5.35
ذهب	19.31
هيدروجين	8.99×10^{-5}
إنديوم	7.30
حديد	7.86
رصاص	11.34
زئبق	13.546
أكسجين	1.429×10^{-3}
سليكون	2.33
فضة	10.5
ماء (4 C°)	1.000
خارصين	7.14

درجات الانصهار والغليان لبعض المواد		
المادة	درجة الانصهار (c°)	درجة الغليان (c°)
ألومنيوم	660.37	2467
نحاس	1083	2567
جرمانيوم	937.4	2830
ذهب	1064.43	2808
إنديوم	156.61	2080
حديد	1535	2750
رصاص	327.5	1740
سيليكون	1410	2355
فضة	961.93	2212
ماء	0.000	100.000
خارصين	419.58	907

السعة الحرارية النوعية لبعض المواد الشائعة			
	الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)
ألومنيوم	897	رصاص	130
نحاس أصفر	376	ميثانول	2450
كربون	710	فضة	235
نحاس	385	بخار	2020
زجاج	840	ماء	4180
جليد	2060	خارصين	388
حديد	450		

الحرارة الكامنة للانصهار وحرارة التبخر لبعض المواد الشائعة		
المادة	حرارة الانصهار (J/kg)	حرارة التبخر (J/kg)
نحاس	2.05×10^{5}	5.07×10^{6}
ذهب	6.30×10^{4}	1.64×10^{6}
حديد	2.66×10^{5}	6.29×10^{6}
رصاص	2.04×10^{4}	8.64×10^{5}
زئبق	1.15×10^{4}	2.72×10^{5}
ميثانول	1.09×10^{5}	8.78×10^{5}
فضة	1.04×10^{5}	2.36×10^{6}
ماء (جليد)	3.34×10^{5}	2.26×10^{6}

الأطوال الموجية للضوء المرئي	
الطول الموجي (nm) بالنانومتر	اللون
430–380	الضوء البنفسجي
450–430	الضوء النيلي
500–450	الضوء الأزرق
520–500	الضوء الأزرق الداكن
565–520	الضوء الأخضر
590–565	الضوء الأصفر
625–590	الضوء البرتقالي
740–625	الضوء الأحمر

الكتلة الذرية لبعض العناصر	
العنصر	الكتلة الذرية g/mol
نحاس	63.54
فضة	107.87
ذهب	196.97
ألومنيوم	26.98
رصاص	207.2
سيليكون	28.09

سرعة الصوت في أوساط مختلفة	
الوسط	m/s
هواء (0°)	331
هواء (20°)	343
هيليوم (0°)	972
هيدروجين (0°)	1286
ماء (25°)	1493
ماء البحر (0°)	1533
مطاط	1600
نحاس (25°)	3560
حديد (25°)	5130
زجاج التنور	5640
ألماس	12000

المصطلحات

أ

انبعاث ألفا Alpha Decay عملية اضمحلال إشعاعي ينبعث فيها جسيم ألفا من النواة.

انبعاث بيتا Beta Decay عملية اضمحلال إشعاعي يتحول فيها نيوترون إلى بروتون يبقى في النواة وجسيم بيتا وأنتي نيوترينو.

انبعاث جاما Gamma Decay عملية اضمحلال إشعاعي يتم فيها إعادة توزيع الطاقة داخل النواة، لكن دون تغير في العدد الكتلي أو مقدار الشحنة.

اقتران الشغل Work Function الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون الأضعف ارتباطًا بالذرة.

الانبعاث المستثار Stimulated Emission عملية تحدث عندما يصطدم فوتون طاقته تساوي الفرق بين طاقتي مستوى الإثارة وطاقة مستوى الاستقرار بذرة مثارة، فتعود الذرة الى حالة الاستقرار، وينبعث فوتون طاقته تساوي الفرق بين طاقتي المستويين.

إنتاج الزوج Pair Production تحوّل الطاقة إلى جسيمات مزدوجة "مادة وضديد المادة".

الاندماج النووي Fusion عملية يتم فيهااندماج أنوية صغيرة لإنتاج نواة أكبر وتحرير طاقة.

الانشطار النووي Fission العملية التي تنقسم فيها النواة إلى نواتين أو أكثر و نيوترونات وطاقة.

ت

التأثير الكهروضوئي Photoelectric Effect انبعاث إلكترونات من سطوح الفلزات عند سقوط إشعاع كهرومغناطيسي مناسب عليها.

تأثير كومبتون Compton Effect الإزاحة في طاقة الفوتونات المشتتة.

تردد العتبة Threshold Frequency أقل تردد للأشعة الساقطة يمكنها تحرير الكترونات من العنصر.

التفاعل المتسلسل Chain Reaction عملية مستمرة ومتكررة من تفاعلات الانشطار سببها تحرير نيوترونات من تفاعل الانشطارالأول.

التفاعل النووي Nuclear Reaction عملية تحدث عندما يتغير عدد النيوترونات أو عدد البروتونات في النواة. وقد تحدث عندما تقذف النواة بأشعة جاما، أو بروتونات، أو نيوترونات، أوجسيمات الفا ، أو إلكترونات.

ج

جسيمات ألفا Alpha Particles جسيمات موجبة الشحنة وثقيلة، وتتحرك بسرعات عالية، ويرمز لها بالرمز α.

ح

حالة الإثارة Excited State أي مستوى طاقة للذرة أعلى من مستوى الاستقرار.

حالة الاستقرار Ground State حالة الذرة عندما تمتلك أقل مقدارمسموح به من الطاقة.

حاملات القوة Force Carriers جسيمات تنقل أو تحمل القوى في المادة.

المصطلحات

س

السحابة الإلكترونية Electron Cloud المنطقة ذات الاحتمالية العالية لوجود الإلكترون فيها.

ض

الضوء المترابط Coherent Light ضوء من مصدرين أو أكثر، يولد موجة ذات مقدمات منتظمة. أو موجات ضوء تكون متطابقة عند القمم والقيعان.

الضوء غير المترابط Incoherent Light ضوء بمقدمات موجية غير متزامنة تضيء الأجسام بضوء أبيض منتظم. أو هو ضوء يتكون من موجات مختلفة في الطور، قممها وقيعانها غير متوافقة.

ط

طاقة الربط النووية Binding Energy الطاقة المكافئة لنقص كتلة النواة، وهي دائما سالبة.

طول موجة دي برولي De Broglie Wavelength طول الموجة الملازمة للجسم أو الجسيم المتحرك.

طيف الامتصاص Absorption Spectrum مجموعة مميزة من الاطوال الموجية، تنتج عند امتصاص الغاز جزء من الطيف، وتستخدم للتعرف على نوع الغاز.

طيف انبعاث Emission Spectrum ضوء ينبعث من الأجسام الساخنة والمتوهجة في نطاق محدد من الترددات.

ع

العدد الذري Atomic Number عدد البروتونات في نواة العنصر.

العدد الكتلي Mass Number عدد البروتونات والنيوترونات داخل نواة العنصر.

عدد الكم الرئيس Principal Quantum Number العدد الصحيح n الذي يحدد القيم المكماة لنصف القطر أو الطاقة لمستوى (مدار) الالكترون _ يتضاعف نصف القطر عندما يتضاعف مربع n بينما تعتمد الطاقة على مقلوب n^2.

عمر النصف Half – Life الفترة الزمنية اللازمة لاضمحلال نصف أي كمية معطاة من ذرات نظير عنصر مشع.

ف

الفوتون Photon حزمة مكماة منفصلة من الإشعاع الكهرومغناطيسي، ليس له كتلة سكونية، ويتحرك بسرعة الضوء، وله طاقة وكمية تحرك.

ق

القوة النووية الضعيفة Weak Nuclear Force قوة ضعيفة داخل النواة تؤثر في انبعاث بيتا.

المصطلحات

القوة النووية القوية Strong Nuclear Force قوة كبيرة جدًا تربط مكونات النواة، وهي نفس القوة بين البروتونات والبروتونات، أو بين البروتونات والنيوترونات، أو بين النيوترونات والنيوترونات.

ك

الكواركات Quarks جسيمات صغيرة تكوّن البروتونات والنيوترونات والبيونات.

ل

الليبتونات Leptons مجموعة من الجسيمات تكوّن الالكترونات والنيوترينات.

ليزر Laser ضوء موحد مترابط متفق في الطور يستخدم لإثارة ذرات أخرى، وينتج عن طريق الإنبعاث المحفز بالإشعاع.

م

مبدأ عدم التحديد Uncertainty Principle ينص على أنه لا يمكن تحديد موقع جسيم وزخمه بدقة عالية، في اللحظة نفسها.

مستوى الطاقة Energy Level كمات محددة من الطاقة توجد في كل مستوى للذرة.

مكمّاة Quantized الطاقة الموجودة في حزمة محددة.

المواد المشعة Radioactive المواد التي تنبعث منها إشعاعات تلقائيًا، وهذه الإشعاعات لها قدرة على النفاذ.

ميكانيكا الكم Quantum Mechanics دراسة خصائص المادة باستخدام خصائصها الموجية.

ن

النشاطية Activity معدل الاضمحلال، أو عدد إنحلالات المادة المشعة كل ثانية.

نقص الكتلة Mass Defect الفرق بين مجموع كتل مكونات النواة منفردة، والكتلة الفعلية لها.

النموذج الكمي Quantum Model نموذج يتوقع احتمالية وجود الإلكترون في منطقة محددة فقط.

النموذج المعياري Standard Model نموذج بناء وحدات المادة، تتوزع فيه الجزيئات على ثلاث عائلات هي الكواركات، واللبتونات، وحاملات القوة.

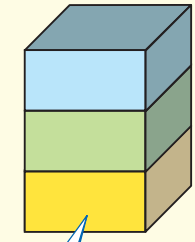
النويدة (نواة النظير) Nuclide جزء صغير جدًا في مركز الذرة، موجب الشحنة، وتتركز فيه معظم كتلة الذرة.

النيوكليونات Nucleons مسمى يطلق على البروتونات والنيوترونات.

و

وحدة الكتل الذرية Atomic Mass Unit وحدة كتلة u ،وتعرف بأنها $\frac{1}{12}$ كتلة نظير الكربون $^{12}_{6}C$ حيث u تساوي 1.66×10^{-27} kg

الجدول الدوري للعناصر

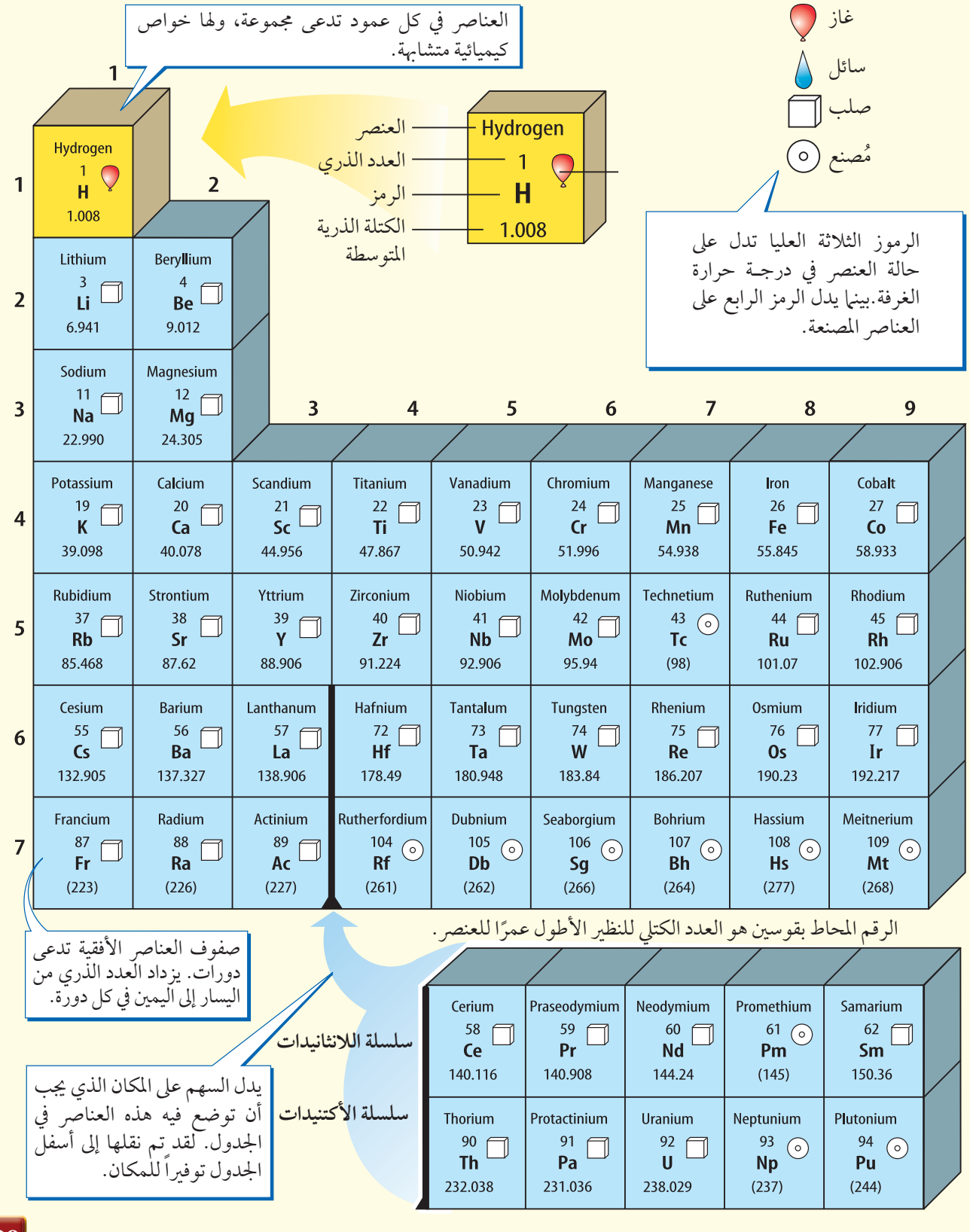


يدل لون صندوق كل عنصر على كونه فلزًّا أو شبه فلز أو لافلز.

10	11	12	13	14	15	16	17	18
								Helium 2 He 4.003
			Boron 5 B 10.811	Carbon 6 C 12.011	Nitrogen 7 N 14.007	Oxygen 8 O 15.999	Fluorine 9 F 18.998	Neon 10 Ne 20.180
			Aluminum 13 Al 26.982	Silicon 14 Si 28.086	Phosphorus 15 P 30.974	Sulfur 16 S 32.065	Chlorine 17 Cl 35.453	Argon 18 Ar 39.948
Nickel 28 Ni 58.693	Copper 29 Cu 63.546	Zinc 30 Zn 65.409	Gallium 31 Ga 69.723	Germanium 32 Ge 72.64	Arsenic 33 As 74.922	Selenium 34 Se 78.96	Bromine 35 Br 79.904	Krypton 36 Kr 83.798
Palladium 46 Pd 106.42	Silver 47 Ag 107.868	Cadmium 48 Cd 112.411	Indium 49 In 114.818	Tin 50 Sn 118.710	Antimony 51 Sb 121.760	Tellurium 52 Te 127.60	Iodine 53 I 126.904	Xenon 54 Xe 131.293
Platinum 78 Pt 195.078	Gold 79 Au 196.967	Mercury 80 Hg 200.59	Thallium 81 Tl 204.383	Lead 82 Pb 207.2	Bismuth 83 Bi 208.980	Polonium 84 Po (209)	Astatine 85 At (210)	Radon 86 Rn (222)
Darmstadtium 110 Ds (281)	Roentgenium 111 Rg (272)	Ununbium * 112 Uub (285)	Ununtrium * 113 Uut (284)	Ununquadium * 114 Uuq (289)	Ununpentium * 115 Uup (288)	Ununhexium * 116 Uuh (291)		Ununoctium * 118 Uuo (294)

* أسماء رموز العناصر 111 إلى 114 مؤقتة، وسيتم اختيار أسماء نهائية لها عند التأكد من اكتشافها.
كان يظن أن العنصرين 116و 118 قد تم تكوينهما، ولكن تم التراجع عن ذلك؛ لأنه لم يمكن إعادة التجارب المتعلقة بهما.

Europium 63 Eu 151.964	Gadolinium 64 Gd 157.25	Terbium 65 Tb 158.925	Dysprosium 66 Dy 162.500	Holmium 67 Ho 164.930	Erbium 68 Er 167.259	Thulium 69 Tm 168.934	Ytterbium 70 Yb 173.04	Lutetium 71 Lu 174.967
Americium 95 Am (243)	Curium 96 Cm (247)	Berkelium 97 Bk (247)	Californium 98 Cf (251)	Einsteinium 99 Es (252)	Fermium 100 Fm (257)	Mendelevium 101 Md (258)	Nobelium 102 No (259)	Lawrencium 103 Lr (262)


العناصر في كل عمود تدعى مجموعة، ولها خواص كيميائية متشابهة.
غاز
سائل
صلب
مُصنع
العنصر
العدد الذري
الرمز
الكتلة الذرية المتوسطة
Hydrogen
1
H
1.008
الرموز الثلاثة العليا تدل على حالة العنصر في درجة حرارة الغرفة.بينما يدل الرمز الرابع على العناصر المصنعة.
1 2 3 4 5 6 7 8 9
1 Hydrogen 1 H 1.008
2 Lithium 3 Li 6.941 | Beryllium 4 Be 9.012
3 Sodium 11 Na 22.990 | Magnesium 12 Mg 24.305
4 Potassium 19 K 39.098 | Calcium 20 Ca 40.078 | Scandium 21 Sc 44.956 | Titanium 22 Ti 47.867 | Vanadium 23 V 50.942 | Chromium 24 Cr 51.996 | Manganese 25 Mn 54.938 | Iron 26 Fe 55.845 | Cobalt 27 Co 58.933
5 Rubidium 37 Rb 85.468 | Strontium 38 Sr 87.62 | Yttrium 39 Y 88.906 | Zirconium 40 Zr 91.224 | Niobium 41 Nb 92.906 | Molybdenum 42 Mo 95.94 | Technetium 43 Tc (98) | Ruthenium 44 Ru 101.07 | Rhodium 45 Rh 102.906
6 Cesium 55 Cs 132.905 | Barium 56 Ba 137.327 | Lanthanum 57 La 138.906 | Hafnium 72 Hf 178.49 | Tantalum 73 Ta 180.948 | Tungsten 74 W 183.84 | Rhenium 75 Re 186.207 | Osmium 76 Os 190.23 | Iridium 77 Ir 192.217
7 Francium 87 Fr (223) | Radium 88 Ra (226) | Actinium 89 Ac (227) | Rutherfordium 104 Rf (261) | Dubnium 105 Db (262) | Seaborgium 106 Sg (266) | Bohrium 107 Bh (264) | Hassium 108 Hs (277) | Meitnerium 109 Mt (268)
صفوف العناصر الأفقية تدعى دورات. يزداد العدد الذري من اليسار إلى اليمين في كل دورة.
الرقم المحاط بقوسين هو العدد الكتلي للنظير الأطول عمرًا للعنصر.
سلسلة اللانثانيدات
سلسلة الأكتنيدات
Cerium 58 Ce 140.116 | Praseodymium 59 Pr 140.908 | Neodymium 60 Nd 144.24 | Promethium 61 Pm (145) | Samarium 62 Sm 150.36
Thorium 90 Th 232.038 | Protactinium 91 Pa 231.036 | Uranium 92 U 238.029 | Neptunium 93 Np (237) | Plutonium 94 Pu (244)
يدل السهم على المكان الذي يجب أن توضع فيه هذه العناصر في الجدول. لقد تم نقلها إلى أسفل الجدول توفيراً للمكان.

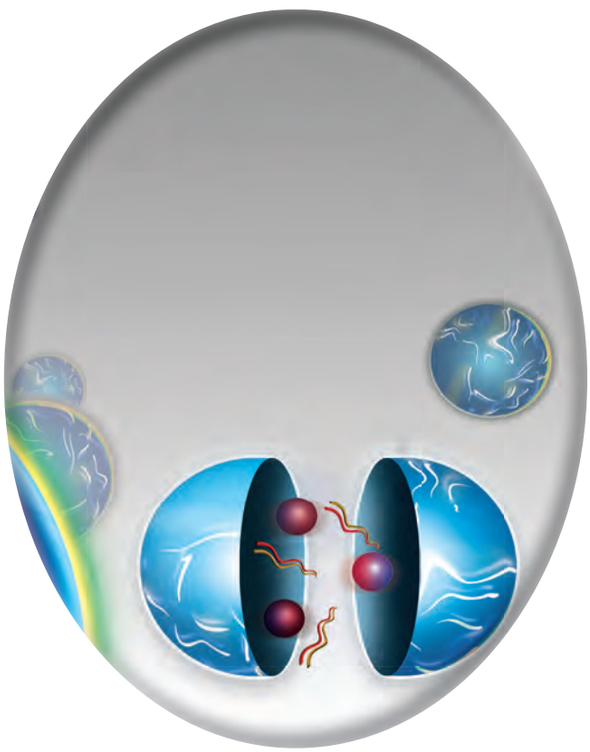
فيز/٣١٢

قررت وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين اعتماد هذا الدليل لتدريس الفيزياء بمدارسها الثانوية

الفيزياء ٥

للمرحلة الثانوية

دليل المعلم



الطبعة الثانية
١٤٣٦ هـ - ٢٠١٥ م

العبيكان Obeikan

Mc Graw Hill Education

Original Title:
Physics
Teacher Wraparound Edition
By:
Paul W. Zitzewitz
Todd George Elliott
David G. Haase
Kathleen A. Harper
Michael R. Herzog
Jane Bray Nelson
Jim Nelson
Charles A. Schuler
Margaret K. Zorn

الفيزياء٥

أعدَّ النسخة العربية : شركة العبيكان للتعليم

التحرير والمراجعة والمواءمة
د.أحمد محمد رفيع
ربحي سعيد حميدي
خلدون سليمان المصاروه

التعريب
موسى جابر عبابنة
هنادي لطفي القرعان
محي الدين جابر عبابنة

التحرير اللغوي
عمر الصاوي
حسن فرغلي

مواءمة ومراجعة نسخة مملكة البحرين
يوسف عبدالسلام محفوظ
د. سمير عبد سالم الخريسات

www.macmillanmh.com

English Edition Copyright © 2009 the McGraw-Hill Companies. Inc.
All rights reserved.

Arabic Edition is published by Obeikan under agreement with
The McGraw-Hill Companies. Inc. © 2008.

حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل©، ٢٠٠٩م.

الطبعة العربية: مجموعة العبيكان للاستثمار
وفقًا لاتفاقيتها مع شركة ماجروهل© ٢٠٠٨م/ ١٤٢٩هـ.

لا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو نقله في أي شكل أو واسطة، سواءً أكانت إلكترونية أو ميكانيكية، بما في ذلك التصوير بالنسخ «فوتوكوبي»، أو التسجيل، أو التخزين و الاسترجاع، دون إذن خطي من الناشر.

حضرة صاحب الجلالة الملك حمد بن عيسى آل خليفة

ملك مملكة البحرين المفدى

المقدمة

أخي المعلم/ أختي المعلمة

يأتي دليل المعلم لكتاب الفيزياء ٥ في إطار مشروع تطوير مناهج الرياضيات والعلوم وتحديثها في مملكة البحرين، والذي يهدف إلى إحداث تطور نوعي في تعليم تلك المادتين وتعلمهما.

لقد وضع هذا الدليل بحيث يرتبط مباشرة بكتاب الطالب، ويتضمن كمًّا كبيرًا من المعلومات والإرشادات المتعلقة باستراتيجيات التدريس والتقويم والمعلومات الإضافية، والعروض العملية بأشكالها المختلفة، فضلاً عن المصادر التقنية واستخدام الإنترنت، مما يوفر لك خيارات لا حصر لها في إنجاح عملية التعليم والتعلم وتنفيذها وفق أحدث الأساليب التربوية. وإننا نرجو منك خلال تنفيذك للدروس التركيزَ على مشاركة الطلبة الفاعلة، ومنها التعلم الذاتي، والعمل في مجموعات، والمشاركة في النقاشات، والنشاطات العملية، والعروض الصفية، والمشاريع البحثية وغيرها.

ونحن إذ نضع بين يديك هذا الدليل، فإننا نأمل أن يكون لك مرشدًا ومصدرًا مهمًّا في تخطيط الدروس، وتنفيذها، بما يتلاءم مع مستويات الطلبة، والبيئة الصفية، وأهداف المنهاج، وفي الوقت نفسه نرجو ألا يقيدك هذا الدليل، بل يكون مساعدًا على تنمية مهاراتك التعليمية، وإبراز قدراتك الإبداعية في وضع البدائل، حيثما رأيت ذلك مناسبًا.

والله نسأل أن يحقق هذا الدليل الأهداف المتوخاة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات حية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامة وقفازين.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتدي كمامة.	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فوراً.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، تماس كهربائي، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فوراً.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقيًا للغبار وارتد قفازين وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات مثل فوق اكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتلعت أو استُنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأستون، برمنجنات البوتاسيوم، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف (للطالبات)، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.

سلامة العين
يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعًا أو حريقًا للملابس.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط اشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.

أدوات تدريس الفيزياء

جدول المحتويات

نسخة الطالب T1

نسخة دليل المعلم ..... T 5

مصادر المعلم في غرفة الصف ..... T 7

السلامة في المختبر ..... T 9

قائمة التجهيزات ..... T 11

جدول توزيع الحصص ..... T 14

قائمة المحتويات 6

التهيئة

كتاب الفيزياء: يوضح للطلبة كيفية ارتباط الفيزياء بحياتهم وبالعالم من حولهم، ولقد جاء التصميم جذابًا وسهل المتابعة، ومن خلال العرض سيتم مراجعة الرياضيات ومهارات حل المسائل وتعزيزها.

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على تقديم أهداف الفصل.

الأهمية توفر إجابة مقنعة للسؤال التالي: لماذا نتعلم هذا؟

فكّر يُطرح فيه سؤال يربط محتويات الفصل بالحياة اليومية بحسب ما جاء في صورة غلاف الفصل.

تطوير المهارات الرياضية

استراتيجية حل المسائل تُركز انتباه الطلبة على الأساليب التي تجعل حل المسائل أكثر سهولة.

الرياضيات في الفيزياء تُراجع أهم المبادئ الرياضية المرتبطة بمحتوى الفصل.

دليل الرياضيات تركز على المهارات الرياضية المستخدمة في حل المسائل الرياضية.

استراتيجيات حل المسألة

وحدات *hc* وطاقة الفوتون

يُزوِّدنا تحويل الكمية hc إلى وحدة eV.nm بمعادلة مبسطة يمكن أن تستخدم لحل المسائل التي تتضمن الطول الموجي للفوتون.

1. تعطى طاقة فوتون طوله الموجي λ بالمعادلة $E = hf$
2. لأن $f = c/\lambda$، فإنه يمكن كتابة هذه المعادلة على شكل $E = hc/\lambda$
3. عند استخدام المعادلة $E = hc/\lambda$، إذا كان مقدار *hc* بوحدة eV.nm مقسومًا على λ بوحدة nm فسوف تحصل على الطاقة بوحدة eV. لذا فإنه من المفيد أن تعلم مقدار *hc* بوحدة eV.nm.
4. يتم تحويل وحدة قياس *hc* إلى وحدة eV.nm كما يلي:

$$hc = (6.626\times10^{-34}\ \text{J/Hz})\ (2.998\times10^{8}\ \text{m/s})$$

$$\left(\frac{(1\ \text{eV})}{(1.602\times10^{-19}\ \text{J})}\right)\frac{10^{9}\ \text{nm}}{1\ \text{m}} = 1240\ \text{eV.nm}$$

5. بتعويض $hc = 1240\ \text{eV.nm}$ في معادلة طاقة الفوتون تحصل على المعادلة التالية؛ حيث λ بوحدة nm والطاقة E بوحدة eV:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(1240\text{eV.nm})}{\lambda}$$

6. استخدم المعادلة أعلاه لحل مسائل طاقة الفوتون عندما تكون الطاقة مطلوبة بوحدة eV.

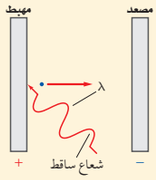
مثـــال 1

الطاقة الحركية لإلكترون كهروضوئي إذا كان جهد الإيقاف لخلية ضوئية معينة 4.0 V، فما مقدار الطاقة الحركية التي يُكسبها الضوء الساقط للإلكترونات المتحررة؟ عبّر عن إجابتك بوحدتي الجول والإلكترون فولت.

1 تحليل المسألة ورسمها

• ارسم المهبط والمصعد، والإشعاع الساقط، واتجاه حركة الإلكترون المتحرر.

لاحظ أن جهد الإيقاف، يحول دون تدفق الإلكترونات عبر الخلية الضوئية.



المعلوم	المجهول
$V_0 = 4.0\ \text{V}$	KE (بوحدة J و eV) =?
$q = -1.60 \times 10^{-19}\ \text{C}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

يبذل المجال الكهربائي شغلاً على الإلكترونات عندما يكون الشغل المبذول W يساوي سالب الطاقة الحركية الابتدائية KE فإن الإلكترونات لا تمر عبر الخلية الضوئية.

$\text{KE} + W = 0\ \text{J}$

حل المعادلة لحساب الطاقة الحركية KE.

$\text{KE} = -W$

بالتعويض عن $W = q\,V_0$

$= -q\,V_0$

بالتعويض عن $V_0 = 4.0\ \text{V}, q = -1.60 \times 10^{-19}\ \text{C}$

$= -(-1.60 \times 10^{-19}\ \text{C})\,(4.0\ \text{V})$

مسائل تدريبية

1. ما طاقة إلكترون بوحدة الجول إذا كانت طاقته 2.3 eV؟
2. إذا كانت سرعة إلكترون $6.2 \times 10^6\ \text{m/s}$، فما طاقته بوحدة الإلكترون فولت؟
3. إذا كان جهد الإيقاف لخلية كهروضوئية 5.7 V، فاحسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة بوحدة eV.
4. يلزم جهد إيقاف مقداره 3.2 V لمنع سريان التيار الكهربائي في خلية كهروضوئية. احسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المتحررة بوحدة الجول.

التدريب على حل المسائل

الأمثلة توفر للطالب نماذج لأمثلة محلولة على بعض المسائل الواردة في النص، وتوفر الاستراتيجيات باللون الأزرق أفكارًا مفيدة لحل المسائل.

المسائل التدريبية تعزز المفاهيم الواردة في النص بالإضافة إلى المفهوم في الأمثلة المحلولة.

مسائل التحدّ تزوّد الطالب بالفرصة لتطبيق المبادئ التي تعلّمها على أمثلة أكثر تعقيدًا.

ربط الفيزياء بالحياة الواقعية

تقنية المستقبل يتناول الموضوعات التي يراها الطالب مثيرة للاهتمام، وتحتوي تقنيات حديث يراها الطالب في حياته.
كيف تعمل الأشياء نصوص توضح للطالب كيف تُستخدم مبادئ الفيزياء في الأدوات والأجهزة المألوفة.

التجارب العملية

يوفر كتاب الفيزياء خبرة عملية من خلال عدة تجارب مختارة، تعكس طبيعة العلم بصورة عامة، وتزداد معها ثقة طلبتك وتنمو خبراتهم لاستكشاف تقدم العلم وتطبيق مبادئ الفيزياء التي تعلموها.

تجارب قصيرة

تجربة استهلالية توضع في بداية كل فصل، وهي طريقة فعالة وسهلة مهمتها تقديم محتويات الفصل للطالب.

تجربة توجد في كتاب الطالب وأخرى إضافية في كتاب المعلّم، وهي أنشطة سهلة العمل، وتساعد الطالب على فهم المبادئ الفيزيائية. ويمكن أن تجد تجربة واحدة على الأقل من هذا النوع في كل فصل.

تجارب متكاملة (مختبر الفيزياء)

يحتوي كل فصل على صفحتين من التجارب المتكاملة التي تستغرق حصة كاملة أو أكثر.

تجربة

التوهج في الظلام

أسدل الستائر، وأطفئ المصابيح في الغرفة، ثم سلّط ضوء مصباح يدوي على إناء يحتوي على مادة الفلوريسين. ضع الآن مرشّح ضوء أحمر على المصباح اليدوي لكي يسقط ضوء أحمر فقط على الإناء.

1. **صف** النتائج.
2. **توقع** كيف تتأثر النتائج عند استعمال مرشّح ضوء أخضر بدلاً من المرشّح الأحمر؟
3. **اختبر** توقعاتك.
4. **فسّر** النتائج.
5. **توقع** ما إذا كان الفلوريسين سيتوهج عند استعمال مرشح ضوء أزرق مع وضع تفسير لتوقعك.
6. **اختبر** توقعاتك.

التحليل والاستنتاج

7. **اكتب** تفسيرًا مختصرًا، تلخّص وتوضح فيه مشاهداتك.

مختبر الفيزياء

نمذجة التأثير الكهروضوئي Madeling the Photoelectric Effect

تعرف عملية انبعاث الإلكترونات من جسم عندما يسقط إشعاع كهرومغناطيسي عليه بالتأثير الكهروضوئي. وتتحرر الإلكترونات من الجسم فقط عندما يكون تردد الإشعاع أكبر من أو يساوي قيمة محددة تسمى تردد العتبة. ستندمج في هذا الاستقصاء التأثير الكهروضوئي، باستعمال كرات فولاذية. وسوف تختبر لماذا تحرر أنواعٌ محددة فقط من الإشعاع الكهرومغناطيسي إلكترونات ضوئية.

سؤال التجربة

كيف يمكن استعمال كرات فولاذية لنمذجة التأثير الكهروضوئي؟

الأهداف

- تصمم نموذجا لاستقصاء التأثير الكهروضوئي.
- تصف كيف ترتبط طاقة الفوتون مع تردده.
- تستخدم التفسيرات العلمية لتفسير لماذا لا تستطيع الظواهر الجاهرية (الماكروسكوبية) تفسير السلوك الكمي للذرة.

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

ثلاث كرات فولاذية، ومجرى أو مسار فيه أخدود (قناة على شكل حرف U)، وكتب، وألواح تخطيط حمراء، وبرتقالية، وصفراء، وخضراء، وزرقاء، وبنفسجية (أو لاصقات ملوّنة)، ومسطرة مترية.

الخطوات

1. شكّل المجرى أو القناة كما هو موضح في الصورة، واستعمل عدة كتب لدعمها كما هو موضح. تأكد أن الكتب لا تغلق نهايتي المجرى.
2. اكتب الحرف R باستعمال قلم التخطيط الأحمر على القناة على ارتفاع 4 cm، فوق الطاولة كما هو موضح. تمثل R الأحمر.
3. اكتب الحرف V باستعمال قلم التخطيط البنفسجي على القناة على ارتفاع 14 cm، فوق الطاولة كما هو موضح. يمثل V البنفسجي. استعمل ألوان التخطيط الملوّنة الأخرى لوضع علامات للأزرق B، وللأخضر G، وللأصفر Y، وللبرتقالي O على مسافات متساوية بين العلامتين R و V، كما هو موضح في الصورة.
4. ضع كرتين فولاذيتين عند أخفض نقطة على القناة. تمثل هاتان الكرتان إلكترونين تكافأ للذرة.
5. أمسك كرة فولاذية، وضعها عند الموقع R على القناة. تمثل هذه الكرة الفوتون الساقط للضوء الأحمر. لاحظ أن طاقة فوتون الضوء الأحمر أقل من طاقة ألوان الضوء الأخرى التي تم نمذجتها.

6. أفلت الكرة الفولاذية (الفوتون)، ولاحظ ما إذا كان لها طاقة كافية لتحرير إلكترون تكافؤ من الذرة؛ أي راقب ما إذا أفلتت أيًا من الكرتين من القناة. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.
7. أزل الكرة الفولاذية التي تمثل الفوتون الساقط من الجزء السفلي من القناة. وأعد الكرتين الفولاذيتين اللتين استعملتهما لتمثيل إلكترونات التكافؤ إلى مكانيهما (أخفض نقطة على القناة).
8. كرّر الخطوات 5–7 لكل لون من الألوان التي حددتها على القناة. تأكد دائمًا عندما تكرر الخطوات أن تكون الكرتان الفولاذيتان عند أخفض نقطة على القناة. لاحظ أن طاقة فوتون الضوء البنفسجي أكبر من طاقة ألوان الضوء الأخرى التي تم نمذجتها. سجّل مشاهدات في جدول البيانات.
9. كرّر الخطوات 5 إلى 7، ولكن أفلت الكرة الفولاذية التي تمثل الفوتون الساقط من نقطة أخفض قليلاً من الموقع R. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.
10. كرّر الخطوات 5 إلى 7، ولكن أفلت الكرة الفولاذية التي تمثل الفوتون الساقط من نقطة أعلى قليلاً من الموقع V. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.
11. أجب عن السؤال 1 في بند الاستنتاج والتطبيق، ثم اختبر توقعك.
12. عندما تنتهي من تنفيذ التجربة أعد جميع المواد إلى الأماكن التي حددها لك معلمك.

التحليل

1. **فسّر البيانات** أي ألوان فوتونات الضوء حرّرت إلكترونًا واحدًا على الأقل في نموذجك؟
2. **فسّر البيانات** هل لأيّ من الفوتونات طاقة كافية لتحرير أكثر من إلكترون واحد؟ إذا كان كذلك فحدّد لون الفوتون.

جدول البيانات	
لون أو طاقة الفوتون	ملاحظات
أحمر	
برتقالي	
أصفر	
أخضر	
أزرق	
بنفسجي	
أقل من الأحمر	
أكبر من البنفسجي	

3. **استخدم النماذج** في الخطوة 9، ما نوع الفوتون الذي تمثله الكرة الفولاذية؟
4. **استخدم النماذج** في الخطوة 10، ما نوع الفوتون الذي تمثله الكرة الفولاذية؟
5. **فسّر** هل فوتونات الضوء المرئي فقط هي التي تؤخذ بعين الاعتبار عند دراسة التأثير الكهروضوئي؟ لماذا؟
6. **لخّص** نص مشاهداتك بدلالة طاقة الفوتونات.

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** ماذا يحدث إذا اصطدم فوتونًا ضوء أحمر بإلكترونَ تكافؤ في اللحظة نفسها؟ اختبر توقعك.
2. **التفكير الناقد** تكون قوة ارتباط إلكترونات التكافؤ في ذرات بعض المواد أكبر من قوة ارتباطها في ذرات مواد أخرى. كيف يمكنك أن تُعدّل النموذج لبيان ذلك؟
3. **استخلص النتائج** في هذا النموذج، ماذا يحدث لطاقة الفوتون، عندما يصطدم بإلكترون، ولا يستطيع تحريره من الذرة؟

التوسع في البحث

استخدم الصيغة $E = hf$، حيث تمثل h ثابت بلانك، و f تردد الإشعاع الكهرومغناطيسي، لحساب طاقة فوتون الضوء الأحمر، قارنها بطاقة فوتون الضوء الأزرق؟

الفيزياء في الحياة

يستخدم مصورو الفوتوجرافيا عادةً إضاءة حمراء في غرفهم المظلمة، فلماذا لا يستخدمون الضوء الأزرق؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات عن نظرية الكم ارجع إلى الموقع الإلكتروني

www.obeikandlearning.com

التقويم

يقـدم لك **كتـاب الفيزيــاء** الأدوات التي تحتاج إليهـا لتهيئ طلبتك للنجـاح في أي اختبار. وستجد مسائل وأنشطة تقويمية متنوعة في كل درس.

المراجعة

تشير مسائل المراجعة إلى مدى استعداد طلبتك للانتقال إلى الدرس اللاحق.

دليل الدراسة

مراجعة سريعة تلخص المفردات والمفاهيم الأساسية، بالإضافة إلى أهم المعادلات في كل جزء من الفصل.

تقويم الفصل

يحتوي أربـع إلى خمس صفحات من المسائل والتمارين التي تتنوع بين تطوير المفاهيم وتطبيقها والتفكير الناقد والكتابة في الفيزياء .... إلخ. ويستطيع المعلم اختيار نوع المسائل ومستواها المناسب للطلبة.

اختبار مقنن

تقوّم مسائل الاختبار المقنن في نهاية كل فصل مدى تمكن الطالب من المفاهيم والمهارات. ويشتمل دليل المعلم على إجابات كل من أسئلة الاختيار من متعدد، وسلم التقدير لأسئلة الإجابات المفتوحة، وبقية المسائل.

لمحة عن مخطط الدروس

كتاب المعلم هو دليلك إلى مصادر التعليم في كتاب الفيزياء، بالإضافة إلى استراتيجيات التدريس وبعض الاقتراحات.

أدوات التخطيط

مخطط الفصل يوفر التخطيط للتجارب والعروض.

نظرة عامة إلى الفصل مقدمة توضع بجوار صورة الفصل بحيث تصف محتوياته.

فكّر الإجابة عن السؤال الموجود في كتاب الطالب وربطه بمادة الفصل.

المفردات الرئيسة قائمة بأهم المفاهيم والمصطلحات مرتبة كما سترد في الفصل.

الفصل 2

الذرة

الفصل 2

الذرة
The Atom

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرا على

- تعلّم كيفية اكتشاف مكوّنات الذرة.
- تحديد طاقات ذرة الهيدروجين.
- تعلّم كيف قادت نظرية الكم إلى النموذج الذري الحديث.
- تعلّم كيف يعمل الليزر. وما تطبيقاته.

الأهمية

يفسر النموذج الكمي للذرة وانتقال الإلكترونات بين مستويات الطاقة، كثيرًا من سلوك ومشاهدات المواد.

طيف الانبعاث هذه الأنابيب مملوءة بأنواع مختلفة من الغازات، وكل منها يبعث طيفًا واحدًا مميزًا فقط من الألوان. وينبعث الضوء المتوهج عندما تنتقل إلكترونات الغاز إلى مستويات طاقة أدنى.

فكّر

ما الذي يسبب اختلاف ألوان الإضاءة. وكيف نستطيع تحديد نوع الغاز المستخدم في كل أنبوب؟

32

نظرة عامة إلى الفصل

يبدأ الفصل بمناقشة نموذجين قديمين للذرة: نموذج توموسون الذري، ونموذج رذرفورد النووي. كما يناقش نموذج بور للذرة المرتبط بأطياف العناصر، والذي يستخدم في إجراء حسابات متعددة. يركز الجزء الثاني من الفصل على النموذج الكمي الحديث للذرة، والليزرات.

فكّر

اطلب الى الطلبة ملاحظة أن أطياف الانبعاث الموضحة هنا غير متصلة، فهي تتضمن أطوالا موجية محددة فقط. تختلف الأطياف الخطية من عنصر لاخر، بسبب اختلاف مستويات طاقة إلكترون ذرات الغازات المستخدمة في انابيب التفريغ من عنصر الى آخر. ويمكن تعرف نوع الغاز المستخدم في كل أنبوب باستخدام الطيف المميز المنبعث من كل عنصر.

المفردات الرئيسة

- جسيمات ألفا
- نيوكليون
- طيف الامتصاص
- مستوى الطاقة
- حالة الاستقرار
- حالة الإثارة
- عدد الكم الرئيس
- النموذج الكمي
- السحابة الإلكترونية
- ميكانيكا الكم
- الضوء المترابط
- الضوء غير المترابط
- الانبعاث المستثار
- الليزر

32

مستويات وأنماط التعلم

طرائق تدريس متنوعة

وُضعت رموز المستويات في دليل المعلم لمساعدتك على التعامل مع الطلبة من مختلف المستويات.

المستوى 1: أ1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.

المستوى 2: أ2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.

المستوى 3: أ3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط)

وقد أُدرجت أنماط التعلم المناسبة بعد الرموز أ1 ، أ2 ، أ3 ، وهي:

- **حسي – حركي**: يتعلم الطلبة من خلال اللمس والحركة واللعب بالأشياء.
- **بصري–مكاني**: يتعلم الطلبة من خلال الصور، والصور التوضيحية، والنماذج.
- **منطقي–رياضي**: يستوعب الطلبة الأرقام بسهولة ويمتلكون مهارات تفكير على درجة عالية من التطور.
- **لغوي**: يكتب الطلبة بوضوح ويستوعبون الكلمات المكتوبة بسهولة.
- **سمعي**: يتذكر الطلبة الكلمات المنطوقة، ويمكنهم عمل إيقاعات وألحان.
- **متفاعل**: يستوعب الطلبة ويتعلمون بشكل جيد من خلال العمل مع الآخرين.
- **ذاتي**: يفيد في تحليل مواطن القوة والضعف لدى الطلبة الذين يميلون إلى العمل بمفردهم.

نشاط — **طرائق تدريس متنوعة**

ضعاف السمع لتوضيح مبدأ عدم التحديد، اطلب الى الطلبة ضعاف السمع محاولة تحديد مواقع لأجسام مختلفة صغيرة، وخفيفة الوزن وغير قابلة للكسر، وذلك بدحرجة كرة مطاطية على سطح الأرض باتجاهها. عندما تصطدم الكرة بجسم وتدفعه بعيدًا عن

نشاط — **تحدٍّ**

اقتران الشغل وطاقة التأين اطلب إلى الطلبة استخدام بعض المراجع العلمية مثل "كتب الكيمياء والفيزياء" للتعرف على اقتران الشغل وطاقة التأين لبعض العناصر مثل الصوديوم والباريوم والنحاس والذهب، والزنك، ثم عمل مقارنة بين القيم وتفسير

نشاط — **مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم**

قياسات الكتلة المكماة باستخدام البيانات من التجربة الإضافية، اطلب الى الطلبة رسم منحنى بياني بالأعمدة لتمثيل كتل العلب الصغيرة الأربعة بترتيب تصاعدي، وارمز للعلب باستخدام الأحرف A وB وC و D على الترتيب على الرسم البياني. واطلب

دورة التعليم الفعّال

تم ترتيب عناصر نسخة المعلم بما يتناسب مع كل درس في نسخة الطالب وتنظيمها في ثلاث خطوات تشكّل دورة التعليم هي:

1. **التركيز** عناصر لتقديم الدرس.
2. **التدريس** عناصر تزودك بمقترحات للتعليم، وتساعدك على توصيل محتوى الدرس للطلبة.
3. **التقويم** عناصر تساعدك على مراقبة تطور معرفة الطلبة.

سوف تشتمل كل خطوة من دورة التعليم على بعض العناصر الموضحة أدناه أو جميعها:

1. التركيز

نشاط محفّز

خصائص الموجات اطلب الى الطلبة عنونة ثلاثة أعمدة: خصائص الجسيمات، وخصائص الموجات، وخصائص جسيمية للموجات. ثم كتابة أمثلة تحت كل عنوان. وبعد مناقشة قوائم الأمثلة، أشر إلى أن العمود الثالث يتضمن تصنيف آخر يعتمد على العمودين الأول والثاني: خصائص موجية للجسيمات. وأخبر الطلبة بأن هذا الجزء من الفصل يهتم بهذه الخصائص.

م1 لغوي

الربط مع المعرفة السابقة

الحيود– دليل السلوك الموجي درس الطلبة عن العلاقة بين الحيود والطول الموجي، والعلاقة بين الطول الموجي وزخم الفوتونات. سيستخدم الطلبة هذه المعرفة للتحقق من نتائج حيود الجسيمات.

2. التدريس

التفكير الناقد

التداخل اسأل الطلبة لماذا سيكون من الصعب مشاهدة أنماط تداخل الشق المفرد لكرات السلة. يجب أن يكون عرض الشق في المدى 10^{-32} m–10^{-34}، والذي هو أصغر بكثير جدًا جدًا (أصغر من 10^{31}–10^{33} مرة تقريبًا) من قطر كرة السلة. م3

تطوير المفهوم

الطاقة والزخم وضح للطلبة أن كلًّا من الجسيمات والموجات الكهرومغناطيسية يمكن أن تمتلك طاقة وزخمًا. فبالنسبة للجسيمات، فإن كلًّا منهما مرتبط بالكتلة، أما في الموجات، فإن كلًّا منهما مرتبط بالمجال الكهرومغناطيسي.

■ **استخدام الشكل 9–1**

وضّح أن هذا النمط من التداخل الثنائي الأبعاد

1. التركيز

نشاط محفّز عرض قصير أو نشاط يوضح محتوى الدرس، ويجذب انتباه الطلبة.

الربط مع المعرفة السابقة يربط الدرس الحالي بالفصول أو الدروس السابقة.

2. التدريس

نشاط يعزز المفاهيم المهمة من خلال التجريب اليدوي.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة تناقش الأفكار غير الصحيحة التي تكونت لدى الطلبة حول بعض المفاهيم العلمية.

استخدام الشكل التركيز على الأشكال التي تتطلب مساعدة المعلم في تفسيرها، أو التي تصلح أن تكون موضوع للمناقشة، أو النشاط بين الطلبة.

مثال صفي مسائل تظهر دائمًا بجانب الأمثلة في نسخة الطالب. استخدم هذه المسائل لتعزيز المفاهيم الواردة في الفصل.

تطوير المفهوم استراتيجيات التدريس تزيد من فهم الطالب لموضوع ما.

التفكير الناقد أسئلة تشجع الطلبة على تحليل المفاهيم التي يعرفونها، أو يقرؤون عنها، واستخلاص نتائج جديدة حولها.

تعزيز الفهم أنشطة تؤكد على المفردات والمفاهيم والعلاقات التي ترد في الفصل.

مصادر المعلم في غرفة الصف

استخدام النماذج نشاط يقوم الطالب من خلاله بعمل أو استخدام نموذج لتوضيح مفاهيم مجردة.

استخدام التشابه استخدام المقارنة مع أحداث شائعة لجعل المفاهيم المجردة أكثر رسوخًا لدى الطلبة.

المناقشة تشتمل على سؤال يمكن أن يناقش من قبل مجموعات صغيرة أو من طلبة الصف، وتحتاج الإجابة إلى التفكير الناقد وتطبيق المفاهيم التي وردت في الفصل.

تطبيق الفيزياء تقدم معلومات تشكل خلفية نظرية و/ أو استراتيجية تدريس، ترتبط بالموضوع الوارد في نسخة الطالب.

الفيزياء في الحياة تلقي الضوء على أمثلة تطبيقية للفيزياء من الحياة الواقعية.

مهن في الحياة تصف المهن التي تشتمل على الفيزياء.

من معلم لآخر تقدم أفكارًا تعليمية صحيحة ومجرّبة، واستراتيجيات تدريس أو أنشطة قام بها مدرسو الفيزياء وطبقوها بنجاح في غرف الصف.

الخلفية النظرية للمحتوى تقدم معلومات إضافية حول مفهوم لم يرد في نسخة الطالب. ربما تكون المعلومات ذات مستوى عالٍ لتقدمها للطلبة، لكنها تساعد على توضيح لماذا يحدث شيء ما؟

مشروع فيزياء نشاط يستمر لفترة طويلة نسبيًّا يقوم فيه الطالب بالبحث في موضوعات أو مفاهيم معينة.

3. التقويم

التحقق من الفهم سؤال أو نشاط يمكنك القيام به لإجراء تقويم سريع لاختبار مدى تعلم الطلبة لمفهوم معين.

إعادة التدريس يقترح استراتيجية لعرض المادة بطريقة مختلفة لمساعدة الطلبة على استيعاب محتوى الدرس.

التوسع يقدم سؤالاً أو نشاطًا ذا مستوى متقدم تتطلب معرفته التركيز بعمق أكبر على مفهوم معين.

عرض سريع

تكمية طاقة الوضع

الزمن المقدّر 10 دقائق

المواد والأدوات مجرى على شكل حرف U طوله 1m و 14 كتابًا متماثلًا، وكرة فولاذية.

الخطوات اسند إحدى نهايتي المجرى U على أربعة كتب لصنع منحدر. ثم اصنع منحدرًا آخر على شكل درجات بوضع كتابًا واحدًا ثم كتابين، ثم ثلاثة كتب وأخيرا اربعة كتب جنبًا إلى جنب لتصنع مجموعة من الدرجات التنازلية. ضع كرة عند اعلى المنحدر الأول واطلب الى الطلبة مشاهدة الكرة عندما تطلقها من أعلى المنحدر. ساعد الطلبة للتوصل إلى أن طاقة الوضع التجاذبية لكرة تتناقص بانتظام على طول المنحدر. الآن انتقل للمنحدر الثاني (الدرجات). ادفع الكرة بلطف على الدرجة الأولى له، لتنحدر على الدرجات. اطلب إلى الطلبة مشاهدة الكرة، وأن يفكروا بطاقة الوضع للكرة على طول المنحدر الجديد. ناقش الطلبة بأن طاقة الوضع التجاذبية للكرة تبقى ثابتة على كل طول أفقي لكل درجة، لأن الدرجة مستوية، والكرة تبقى عند الارتفاع نفسه، ولأن

التحقّق من الفهم

ظاهرة التأثير الكهروضوئي اسأل الطلبة الأسئلة التالية: إذا شع مصدر ضوئي أحادي التردد على سطح حساس للضوء، فإنه يولّد تيارًا من الإلكترونات المنبعثة، ماذا يحدث للتيار إذا ازدادت شدة المصدر الضوئي؟ يزداد التيار أيضًا. إذا نقص تردد الضوء الذي يشع على السطح، ماذا يحدث للتيار؟ سيقل. وعند تردد معين، يسمى تردد العتبة، فإن التيار الضوئي ينخفض إلى الصفر بشكل مفاجئ. م2

إعادة التدريس

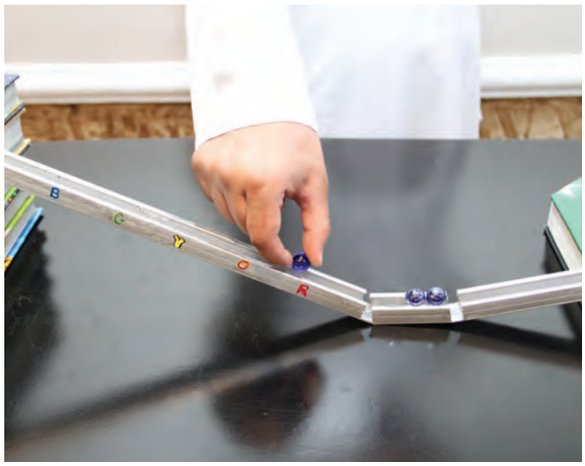
حفظ الطاقة ذكّر الطلبة بأن الطاقة محفوظة في التأثير الكهروضوئي، واكتب العبارة التالية: الطاقة الداخلة تساوي الطاقة الناتجة. أشر إلى أن الطاقة الداخلة هي طاقة الفوتون hf. ثم اطلب الى الطلبة تحديد الطاقة الناتجة. الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون (اقتران الشغل، hf_0) والطاقة الحركية للإلكترون المتحرر KE.

$$E_{\text{داخلة}} = E_{\text{ناتجة}}$$

$$hf = hf_0 + KE$$

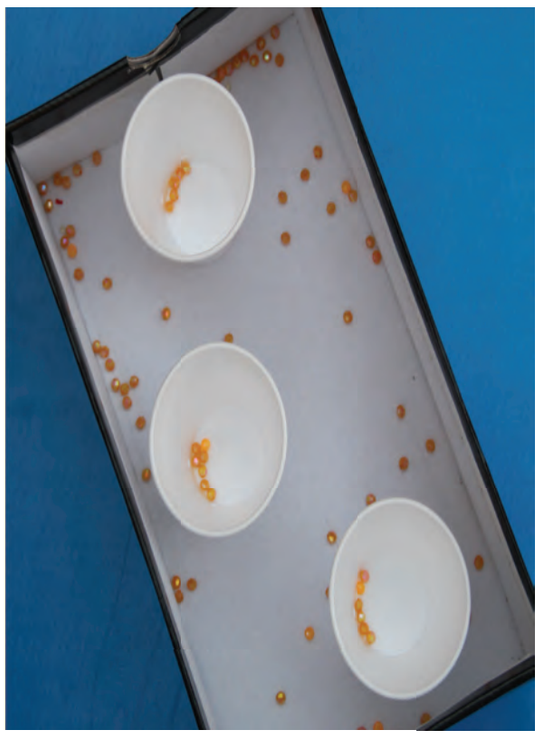
م1 لغوي

إدارة الأنشطة في مختبر الفيزياء



يُعد مختبر الفيزياء مكانًا آمنًا لإجراء التجارب إذا ما تم اتخاذ تدابير الحيطة والحذر. وعليك أن تتحمل مسؤولية سلامتك وسلامة طلبتك، وتقدم لهم قواعد السلامة لتجنب وقوع أي حادثة في المختبر ومنها:

1. يجب أن يستخدم مختبر الفيزياء للعمل الجاد.
2. لا تقم بإجراء أي من التجارب غير المصرح بها، واحصل دائمًا على إذن من معلمك.
3. ادرس التجربة قبل مجيئك إلى المختبر، واسأل معلمك إذا كان لديك شك أو استفسار حول أي خطوة.
4. استخدم أدوات السلامة المقدمة لك، واعرف مكان طفاية الحريق، والبطانية المقاومة للحريق، وقواطع الكهرباء وقائمة بمواد السلامة، وموقع غسل العيون، وصندوق الإسعافات الأولية.
5. ارتد دائمًا أدوات السلامة المناسبة كالنظارات الواقية، ومعطف المختبر، وانتعل أحذية السلامة.
6. بلّغ معلمك على الفورعن أيّ حادث أو إصابة أو أي خطأ في الخطوات.
7. أخمد النيران باستخدام بطانية مقاومة للحريق، وإذا تعرضت الملابس للحريق فأخمدها بالبطانية أو بمعطف، أو ضعها تحت الدش، دون أن تركض على الإطلاق.
8. تعامل مع المواد السامة والقابلة للاشتعال أو المشعّة بإشراف مباشر من معلمك. وإذا سكبت حامضًا أو مادة كيميائية تسبب التآكل فأزلها حالًا باستخدام الماء. ولا تتذوق أي مادة كيميائية، ولا تسحب أي مادة سامة بوساطة أنبوب زجاجي باستخدام الفم، واحفظ المواد القابلة للاشتعال بعيدًا عن مصادر اللهب.
9. ضع الزجاج المكسور والمواد الصلبة في الحاويات المخصصة لها. واحتفظ بالمواد غير الذائبة في الماء خارج المغسلة.
10. استخدم الأدوات الكهربائية تحت إشراف معلمك فقط. وتأكد أن المعلم قد تفحص الدائرة الكهربائية قبل أن تُغلقها.
11. تأكد من إغلاق صنبور الماء وأسطوانة الغاز، وفصل التوصيلات الكهربائية بعد الانتهاء من التجربة، ونظّف مكان عملك، وأعد جميع المواد التي استخدمتها إلى أماكنها المناسبة.



الإسعافات الأولية في المختبر

إذا كان مختبر الفيزياء يتطلب احتياطات سلامة خاصة به فسوف يشار إلى ذلك من خلال رموز السلامة، انظر رموز السلامة في بداية الكتاب.

اطلب إلى الطلبة تقديم تقرير بالحوادث والجروح والمواد المسكوبة جميعها أينما لزم.

وعلى الطالب أن يعرف:

- أساليب السلامة في العمل المختبري.
- كيفية تقديم تقرير بحادث، أو إصابة أو جرح أو مادة مسكوبة؟ ومتى يقدمه؟
- مكان مواد الإسعافات الأولية ومستلزماتها، وإنذار الحريق، والهاتف، والمسؤول في إدارة المدرسة.

الموقف	الاستجابة الآمنة
الحروق	سكب الماء على الإصابة بشكل كثيف.
الجروح والكدمات	اتباع التعليمات والإرشادات الموجودة في صندوق الإسعافات الأولية.
الصدمة الكهربائية	تزويد المصاب بالهواء المنعش، ووضعه بشكل مائل بحيث يكون رأس المصاب منخفضًا عن باقي الجسم، وإجراء عملية التنفس الاصطناعي إذا كان ذلك ضروريًا، وتغطية المصاب ببطانية ليبقى دافئًا.
الإغماء أو الانهيار	استدعاء الإسعاف فورًا.
الحريق	إغلاق صنابير الغاز وإخماد ألسنة اللهب جميعها، ولف الشخص المحترق ببطانية الحريق، واستعمال طفاية الحريق لإخماد النار. واستدعاء رجال الاطفاء إن لزم. لا يجب استخدام الماء لإطفاء الحريق. لأن الماء ربما يتفاعل مع المواد المحترقة مما يتسبب في ازدياد الحريق.
وجود مادة مجهولة في العين	اغسلها بكمية كبيرة من الماء مدة 15 دقيقة على الأقل، وقم بإرسال المصاب إلى المستشفى.
التسمم	ملاحظة العامل السام المشتبه به، والاتصال بمركز مراقبة السموم للحصول على مضاد التسمم (الترياق).
النزف الشديد	استخدام قفازات مطاطية خاصة، والضغط باليد أو بمادة ضاغطة مباشرة على الجرح، وطلب المساعدة الطبية في الحال.
الحروق الناتجة عن انسكاب مواد حامضية	غسل المنطقة المصابة بالحمض بكمية كبيرة من الماء، واستخدام رشاش ماء آمن، واستخدام كربونات الصوديوم، أو صودا الخبيز (بيكربونات الصوديوم $NaHCO_3$)
حروق قاعدة (القلويات)	استخدام حمض البوريك H_3BO_3، وغسل المنطقة بكمية كافية من الماء.
أجسام حادة تخترق الجلد	لا تنزع الجسم المخترق، واحفظ المصاب ساكنًا، وسيطر على النزف واطلب المساعدة الطبية.

قائمة التجهيزات

هـذه قوائم الأدوات التي يمكن أن تسـاعدك على إعداد مختبـرات الفيزياء لعام كامل. والكميات المذكورة في الجـدول أدناه لمختبر الفيزياء والتجربة والتجـارب الصغيـرة الإضافية، وهي الكميات القصوى اللازمة لمجموعة واحدة من الطلبة لعام كامل. والكميات الخاصة بالتجارب الاسـتهلالية هي الكميات القصوى التي سـتحتاج إليها لإجراء كافة العروض. الأجزاء (البنود) التي سـتحتاج إلى اسـتخدام الأداة فيها موضوعة بين قوسـين في القائمة. ارجع إلى مخطط الفصل قبل الحصول على قائمة بالأجهزة والأدوات لكل نشاط مختبري في كل فصل.

مواد غير مستهلكة

المادة الكمية لكل مجموعة أو تجربة عرض	مختبر الفيزياء	التجربة أو التجربة الإضافية أو العرض السريع	تجربة استهلالية
مصباح كهربائي شفاف مع قاعدته			ف(1)
مفتاح تحكم			ف(1)
ثلاث كرات فلزية	ف(1)		
مخزوز حيود		ف1 (1–1) ف2 (1–2) ف2 (2–2)	ف(1)
مجرى على شكل حرف u	ف(1)	ف1 (1–1)	
كتب مختلفة	ف(1)	ف1 (1–1)	
مسطرة مترية	ف(1) ف(2) ف(3)		
وعاء مخبري سعة 200 ml		ف1 (1–1)	
مصباح ضوئي		ف1 (1–1)	
مرشحات ضوئية حمراء، وخضراء، وزرقاء		ف1 (1–1)	
ميزان حساس		ف1 (1–1)	
جهاز عرض شرائح		ف2 (1–2)	
4 علب أفلام بلاستيكية صغيرة غير شفافة ومدرجة		ف1 (1–1)	
كشاف كهربائي		ف1 (1–1)	
شريط من الزنك أبعاده 2 cm و 10 cm		ف1 (1–1)	
مصدر ضوء فوق بنفسجي		ف1 (1–1)	
منشفة أو قطعة قماش كبيرة	ف(2)		
سكين		ف2 (1–2)	
شاشة		ف2 (2–1) ف2 (2–2)	
قطع نقدية معدنية مختلفة		ف1 (1–1)	ف(2)

المادة الكمية لكل مجموعة أو تجربة عرض	مختبر الفيزياء	التجربة أو التجربة الإضافية أو العرض السريع	تجربة استهلالية
كرة فولازية نصف قطرها 12mm		ف2 (1–2)	
أنابيب تفريق الغاز		ف2 (1–2)	
مروحة طاولة كهربائية		ف2 (1–2)	
مؤشر ليزر		ف2 (1–2)	
3–6 مغانط سيراميك اسطوانية			ف(3)
3–6 أقراص من الخشب أو الألومنيوم ذات حجم مماثل للمغناط			ف(3)
أنبوب جايجر مع العداد	ف(3)	ف3 (2–3)	
كأس كبير		ف3 (2–3)	
مصادر مشعة اصطناعية تعليمية (ألفا وبيتا وجاما)	ف(3)	ف3 (3–3)	
ساعة وقف	ف(3)		
حجرة ضباب صغيرة		ف3 (3–3)	
مصدر ألفا على إبرة		ف3 (3–3)	
مصدر قدرة		ف2 (1–2)	

مواد مستهلكة

المادة الكمية لكل مجموعة أو تجربة عرض	مختبر الفيزياء	التجربة أو التجربة الإضافية أو العرض السريع	تجربة استهلالية
أقلام ترقيم ملونة	ف(1)		
لاصقات ملونة	ف(1)		
كحول ايزوبروبيلي	ف(1)		
ماء		ف1 (1–1)	
فلورسين 10 g		ف1 (1–1)	
حلقات معدنية		ف1 (1–1)	
مواد لشحن الكشاف بشحنة موجبة وأخرى بشحنة سالبة		ف1 (1–1)	
كرة معدنية		ف1 (1–1)	
صندوق كرتون	ف(2)		
ثلاثة كؤوس ورقية صغيرة ومتماثلة	ف(2)		
200 كرة صغيرة	ف(2)		
قطع ورقية كبيرة مثل ورقة صحيفة طولها مثلي عرضها	ف(2)	ف1 (1–2)	
طبق قليل العمق		ف2 (1–2)	
شفافيات		ف1 (1–2)	
قطع من الورق المقوى		ف1 (1–2)	
شريط لاصق ذو وجهين		ف3 (1–3)	
ورق		ف3 (1–3)	
شريط لاصق	ف(3)	ف3 (1–3)	
صفيحة رقيقة من الألومنيوم والرصاص		ف3 (1–3)	
2 kg ثلج جاف		ف3 (1–3)	
أقلام رصاص ملونة		ف3 (1–3)	
كحول		ف3 (1–3)	

جدول توزيع الحصص لمقرر الفيزياء ٥

الفصل	الدروس	عدد الحصص	المجموع
الفصل الأول نظرية الكم	1-1النموذج الجسيمي للموجات	3	8
	1-2 موجات المادة	2	
	مختبر الفيزياء	1	
	تقويم الفصل	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
الفصل الثاني الذرة	2-1 نموذج بور الذري	3	8
	2-2 النموذج الكمي للذرة	2	
	مختبر الفيزياء	1	
	تقويم الفصل	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
الفصل الثالث الفيزياء النووية	3-1 النواة	2	9
	3-2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية	2	
	3-3 وحدات بناء المادة	2	
	مختبر الفيزياء	1	
	تقويم الفصل	1	
	كراسة التجارب العملية	1	
المجموع			25

قائمة المحتويات

الفصل 1

نظرية الكم ٨

تجربة استهلالية 9

ماذا يشبه طيف المصباح الكهربائي المتوهج؟

1-1 النموذج الجسيمي للموجات 9

1-2 موجات المادة 21

مختبر الفيزياء 24

نمذجة التأثير الكهروضوئي

الفصل 2

الذرة 32

تجربة استهلالية 33

كيف يمكن اختيار نوع قطعة نقدية فلزية تدور لتكون نموذجًا لتعرف نوع الذرات؟

2-1 نموذج بور الذري 33

2-2 النموذج الكمي للذرة 47

مختبر الفيزياء 54

إيجاد حجم الذرة

الفصل 3

الفيزياء النووية 62

تجربة استهلالية 63

كيف يمكنك عمل نموذج للنواة؟

3-1 النواة 63

3-2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية 70

3-2 وحدات بناء المادة 80

مختبر الفيزياء 90

استكشاف الإشعاع

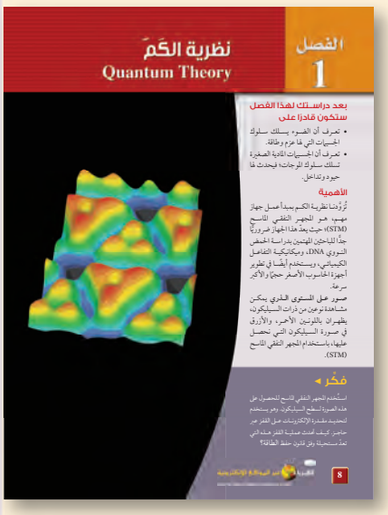
دليل الرياضيات 100

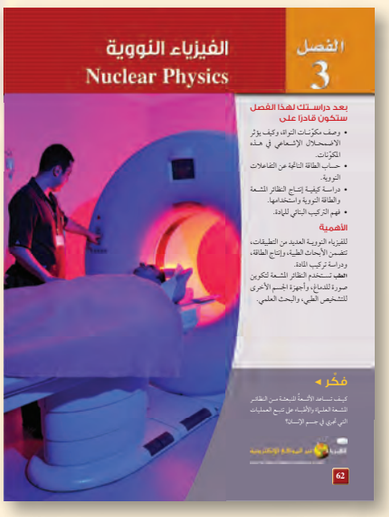
الجداول 119

حلول بعض المسائل التدريبية 123

المصطلحات 125

الجدول الدوري للعناصر 128





بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

الفصل 1

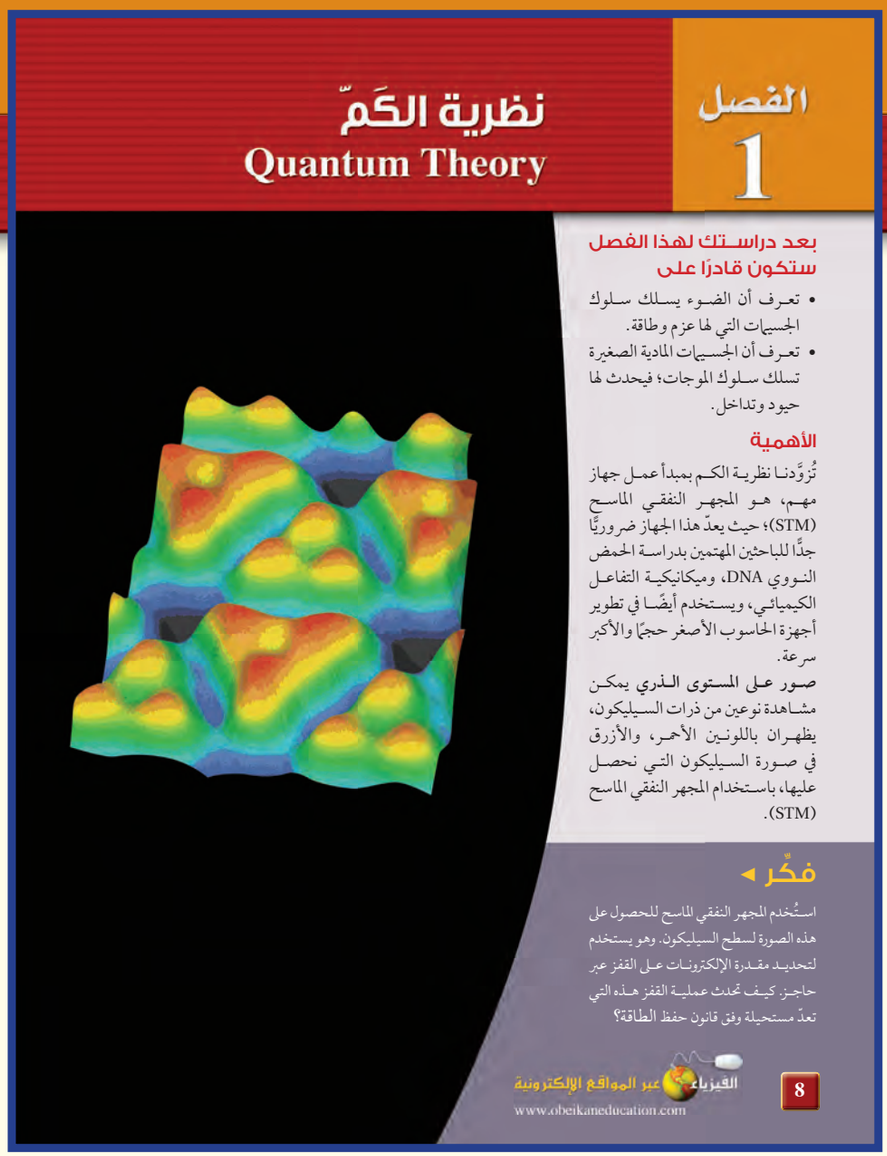
مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
1–1 النموذج الجسيمي للموجات 1. **تصف** الطيف المنبعث من جسم ساخن. 2. **تفسر** التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون. 3. **تحل** مسائل تتضمن التأثير الكهروضوئي.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** مصباح كهربائي شفاف مع قاعدته، ومفتاح تحكم، ومحزوز حيود، وأقلام ملونة. **تجربة** مخبار مدرج سعة 200 ml ، وماء، فلوروسين 10 g، مصباح كهربائي وماض، مرشحات ضوئية حمراء، وخضراء وزرقاء. **تجربة إضافيّة** ميزان حساس، 4 علب أفلام بلاستيكية صغيرة غير شفافة، حلقات معدنية. **عرض المعلم** **عرض سريع** مجرى على شكل حرف U طوله 1m، 14كتابًا متماثلًا، كرة معدنية. **عرض سريع** كشاف كهربائي، مواد لشحن الكشاف الكهربائي بشحنة موجبة وأخرى بشحنة سالبة، شريط من الزنك أبعاده 2 cm × 10 cm ، مصدر ضوء فوق بنفسجي.
1–2 موجات المادة 4. **تصف** دليلا على الطبيعة الموجية للمادة. 5. **تطبق** معادلة دي برولي في حل مسائل عددية. 6. **تصف** الطبيعة المزدوجة للموجات والجسيمات، وأهمية مبدأ عدم التحديد.	**تجارب الطالب** **مختبر الفيزياء** ثلاث كرات فولاذية، ومجرى أو مسار فيه اخدود (قناة) على شكل حرف U أو داعم رف، كتب، أقلام تخطيط حمراء، وبرتقالية، وصفراء، وخضراء، وزرقاء وبنفسجية أو (لاصقات ملونة)، ومسطرة مترية، وكحول إيزوبروبيلي.

طرائق تدريس متنوعة

م 1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م 1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م 3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الأول



نظرة عامة إلى الفصل

يعرض الجزء الأول مبدأ الكم وذلك بمناقشة طيف انبعاث الجسم المتوهج، والتأثير الكهروضوئي، وتشتت كومبتون واستخدمت لتعزيز نموذج الفوتون للضوء. واختتم الفصل بعرض دليل للخصائص الموجية للمادة ذات الحجم المتناهي في الصغر.

فكّر

يجعل جهاز ميكروسكوب المسح النفقي استخدام خصائص المادة متوقعًا من قبل ميكانيكا الكم التي تعتبر موجات المادة دوال رياضية تصف احتمالية وجود الاكترون عند أي موقع وعند أي زمن معين. والحاجز ليس حاجزًا ماديًا ولكنه حاجز لطاقة الجهد، والاشارة الضمنية لخصائص موجة الإلكترونات توحي بوجود احتمالية بعيدة لكنها محدودة لإمكانية عبور الإلكترون خلال حاجز الطاقة ليتم الكشف عنه.

المفردات الرئيسة

- طيف انبعاث
- مكماة
- التأثير الكهروضوئي (الانبعاث الكهروضوئي)
- تردد العتبة
- الفوتون
- اقتران (دالة) الشغل
- تأثير كومبتون
- طول موجة دي برولي
- مبدأ عدم التحديد

تجربة استهلالية

ماذا يشبه طيف المصباح الكهربائي المتوهّج؟

سؤال التجربة ما ألوان الضوء المرئي المنبعثة من مصباح كهربائي متوهج وساطع؟

الخطوات

1. ثبت المصباح الكهربائي المتوهج في قاعدته.
2. صل المصباح مع مصدر جهد كهربائي يمكن التحكم فيه بمفتاح تحكم، وأضئ المصباح بحيث يصدر ضوءًا خافتًا. تحذير: تجنب لمس المصباح المتوهج؛ لأنه يؤدي إلى إحداث حروق عندما يكون ساخنًا.
3. أطفئ المصابيح الأخرى في الغرفة الصفية أو اجعل إضاءتها خافتة.
4. قف على بُعد 1–2 m من المصباح الكهربائي، وأمسك بمحزوز حيود هولوجرافي، بحيث يكون قريبًا من عينك، وشاهد المصباح من خلاله. تحذير: لا تنظر مباشرة إلى المصباح الكهربائي الساطع دون استخدام محزوز الحيود؛ لأن ذلك يؤدي إلى إلحاق الأذى بقدرتك على الرؤية.
5. أنشئ رسومًا توضيحية علمية واستخدمها استعمل أقلام رصاص ملونة لعمل رسم توضيحي لما تشاهده.
6. أدِرْ مفتاح التحكم لزيادة سطوع المصباح الكهربائي إلى حدّه الأقصى.
7. أنشئ رسومًا توضيحية علمية واستخدمها استعمل أقلام رصاص ملونة لعمل رسم توضيحي لما تشاهده.

التحليل

صف الطيف المنبعث من المصباح الكهربائي. هل هو متصل أم سلسلة من الخطوط الملونة والمميّزة؟ صف كيف يتغير الطيف المشاهد عندما يزداد سطوع المصباح.

التفكير الناقد ما مصدر الضوء المنبعث من المصباح؟ ماذا يحدث لدرجة حرارة فتيلة المصباح عندما يزداد سطوع المصباح الكهربائي؟

1–1 النموذج الجسيمي للموجات
A Particle Model of Waves

الأهداف
- تصف الطيف المنبعث من جسم ساخن.
- تفسر التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون.
- تحل مسائل تتضمن التأثير الكهروضوئي.

المفردات

طيف انبعاث	مكمّاة
التأثير الكهروضوئي	تردد العتبة
(الانبعاث الكهروضوئي)	جهد الإيقاف
الفوتون	اقتران (دالة) الشغل
تأثير كومبتون	

تم إثبات صحة نظرية الموجات الكهرومغناطيسية للعالم ماكسويل، من خلال تجارب هينرش هيرتز التي أجراها عام 1889م. وقد اعتُبر الضوء بعد ذلك موجات كهرومغناطيسية. وبدا أن جميع الظواهر البصرية – ومنها التداخل والحيود والاستقطاب – قابلة للتفسير باستخدام نظرية الموجات الكهرومغناطيسية.

ورغم ذلك، فقد بقيت بعض المشكلات لدى الفيزيائيين بحاجة إلى حل؛ لأن ما أشارت إليه نظرية ماكسويل – أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية محضة – لم تستطع تفسير بعض الظواهر المهمة الأخرى. وتتعلق هذه المشكلات عمومًا بعملية امتصاص أو انبعاث الإشعاع الكهرومغناطيسي. ومن هذه المشكلات: الطيف المنبعث من جسم ساخن، وتفريغ الجسيمات المشحونة كهربائيًّا من سطح فلزي عند سقوط أشعة فوق بنفسجية عليه. وسوف تتعلم في هذا الفصل أن هاتين الظاهرتين يمكن تفسيرهما عندما تدرك أن الموجات الكهرومغناطيسية لها خصائص جسيمية إضافة إلى خصائصها الموجية.

9

1-1 النموذج الجسيمي للموجات

1. التركيز

نشاط محفز

تحذير: يجب أن يحذر الطلبة لمس مصابيح الإضاءة الساخنة.

الضوء واللون صل مصباح إضاءة عادي وشفاف بغض النظر عن حجمه بمصدر قدرة متناوب AC، ثم زد الجهد، واطلب الى الطلبة ملاحظة التغير في لون الفتيل من اللون الأحمر الخافت أولاً، ومن ثم التغير التدريجي في اللون ليصبح أبيض. اسأل الطلبة أن يتذكروا تغيرات اللون في الحلقات المعدنية المستخدمة في اختبارات اللهب عند دراسة الكيمياء في الصفوف السابقة. يتكون لديهم فكرة عن تغيرات لون الضوء المنبعث من الفتيلة بتغير درجة حرارتها.

الإجابة المحتملة: يتغير لون الضوء من الأحمر إلى الأبيض باستمرار زيادة ارتفاع درجة حرارة الفتيل.

م 2 بصري–مكاني

الربط مع المعرفة السابقة

التأثير الكهروضوئي درس الطلبة سابقًا موجات الضوء، والعلاقة بين الشغل، والشحنة، وفرق الجهد. سوف يستخدم الطلبة هذه المعرفة في تفسير التأثير الكهروضوئي.

تجربة استهلالية

الهدف ملاحظة التغيرات على طيف الانبعاث للمصباح المتوهج بزيادة قدرته.

المواد والأدوات مصباح كهربائي شفاف مع قاعدته، ومفتاح تحكم، ومحزوز حيود، وأقلام ملونة.

استراتيجيات التدريس إن محزوزات الحيود الهيلوجرافية أكثر سهولة في الاستخدام لمشاهدة الطيف من السبكتروسكوب التقليدي.

النتائج المتوقعة يجب أن يشاهد الطلبة طيف الضوء المرئي كاملا.

التحليل الطيف متصل وشدة سطوع الألوان تزداد عند نهاية الأزرق–البنفسجي للطيف.

التفكير الناقد مصدر الطاقة هو الأيونات المهتزة في المعدن والتي يتكوّن منها فتيل المصباح، والتي تزيد درجة حرارة المصباح الكهربائي.

2. التدريس

تجربة

التوهج في الظلام

الهدف ملاحظة تأثيرات الأطوال الموجية المختلفة للضوء على الفلوروسين.

المواد والأدوات مخبار مدرج سعة 200 ml ماء، فلوروسين 10 g، ومصباح كهربائي وماض، ومرشحات ضوئية حمراء، وخضراء، وزرقاء.

النتائج المتوقعة لا يتسبب الضوء الاحمر في توهج محلول الفلوروسين، بينما يسبب ذلك كل من اللونين الأخضر والأزرق.

التحليل والاستنتاج

7. للضوء الساقط طول موجي مساويًا أو أقل من الطول الموجي للضوء الأخضر الذي لديه طاقة كافية ليحدث التوهج في الفلوروسين.

استخدام الشكل 1–1

اطلب الى الطلبة الاجابة عن الأسئلة الآتية: كيف يرتبط الطول الموجي مع الطاقة العظمى لكل منحنى بتغير درجة حرارة الجسم المتوهج؟ يقل الطول الموجي بزيادة درجة الحرارة. كيف يتغير مدى الطول الموجي للطاقة المنبعثة من الجسم المتوهج بتغير درجة الحرارة؟ يزداد المدى بزيادة درجة الحرارة. كيف تتغير شدة الإشعاع المرتبط بتردد الطاقة العظمى بتغير درجة الحرارة؟ تزداد شدة الإشعاع بزيادة درجة الحرارة.

التفكير الناقد

الإشعاع الكهرومغناطيسي اسأل الطلبة السؤال الآتي: إذا أضيء الجسم المتوهج باللون الأحمر، فإن معظم طاقته تنبعث كنوع من الإشعاع الكهرومغناطيسي، ما نوع هذا الاشعاع؟ أشعة تحت الحمراء م2

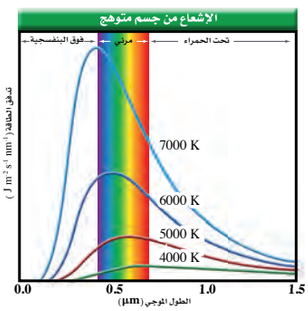
الإشعاع من الأجسام المتوهجة
Radiation from Incandescent Bodies

لماذا حيّر الإشعاع المنبعث من الجسم الساخن الفيزيائيين؟ لاحظ أنه يجب التعامل مع المشكلة من حيث شدة، وتردد الإشعاع المنبعث عند درجات حرارة مختلفة. لم تستطع نظرية الموجات الكهرومغناطيسية لماكسويل تفسير الإشعاعات المشاهدة المنبعثة من الأجسام الساخنة. إذن فما طبيعة الإشعاع المُنبعث من الأجسام الساخنة؟

يعدّ المصباح الكهربائي الذي شاهدته في التجربة الاستهلالية في بداية الفصل مثالاً على الجسم الساخن. وكما يتوقع بناءً على النظرية الكهرومغناطيسية، تبعث الجسيمات المشحونة المهتزة في فتيلة المصباح الكهربائي الضوءَ المرئي والأشعة تحت الحمراء، حيث تضيء الفتيلة؛ لأنها ساخنة، ويقال إنها توهّجت، لذا يوصف المصباح الكهربائي بالمتوهّج. وتعتمد الألوان التي تراها على الشدة النسبية للموجات الكهرومغناطيسية المنبعثة ذات الترددات المختلفة، وعلى حساسية عينيك لهذه الموجات.

عندما يُستخدم مفتاح التحكم لزيادة الجهد المسلط على المصباح، فإن درجة حرارة الفتيلة المتوهجة تزداد. ونتيجة لذلك، فإن اللون يتغير من الأحمر الداكن إلى البرتقالي، ثم إلى الأصفر، وأخيرًا إلى الأبيض. ويحدث تغير اللون هذا لأن الفتيلة ذات درجة الحرارة الأعلى تبعث إشعاعًا بتردد أعلى (طول موجي أقل). إن الإشعاع ذا التردد الأعلى يَنتج عن التردد الأعلى للطيف المرئي (اللون البنفسجي)، وهذا يؤدي إلى أن تظهر الفتيلة بيضاء.

ماذا تتوقع أن تشاهد إذا نظرت إلى الفتيلة المتوهجة من خلال محزوز حيود؟ عندما تنظر إليها بهذه الطريقة فإنه يمكنك مشاهدة جميع ألوان قوس المطر. ويبعث المصباح في الوقت نفسه أشعة تحت حمراء وأخرى فوق بنفسجية لا يمكنك رؤيتهما، ويعبر الرسم البياني لشدة الضوء المنبعث من جسم ساخن على مدى من الأطوال الموجية عن **طيف الانبعاث**، ويوضح **الشكل 1–1** أطياف الانبعاث لجسم متوهج عند درجات الحرارة 4000 K و 5000 K و 6000 K و 7000 K، لاحظ أنه عند كل درجة حرارة هناك طول موجي تنبعث عنده كمية عظمى من الطاقة. وإذا قمت بمقارنة موقع قمة كل منحنى، فستلاحظ أنه كلما ازدادت درجة الحرارة، فإن الطول الموجي الذي تنبعث عنده القيمة العظمى من الطاقة يقل.



الشكل 1–1 يوضح الرسم البياني أطياف الانبعاث لجسم متوهج عند درجات حرارة مختلفة.

إن القدرة الكلية المنبعثة من جسم ساخن تزداد أيضًا بازدياد درجة حرارته؛ إذ تتناسب قدرة (الطاقة المنبعثة في كل ثانية) الموجات الكهرومغناطيسية طرديًّا مع درجة حرارة الجسم الساخن بوحدة كلفن، مرفوعة للقوة الرابعة؛ لذا تشع الأجسام الأسخن،

تجربة

التوهج في الظلام

أسدل الستائر، وأطفئ المصابيح في الغرفة، ثم سلِّط ضوء مصباح يدوي على إناء يحتوي على مادة الفلوريسين. ضع الآن مرشح ضوء أحمر على المصباح اليدوي لكي يسقط ضوء أحمر فقط على الإناء.

1. صف النتائج.
2. توقع كيف تتأثر النتائج عند استعمال مرشح ضوء أخضر بدلاً من المرشح الأحمر؟
3. اختبر توقعاتك.
4. فسّر النتائج.
5. توقع ما إذا كان الفلوريسين سيتوهج عند استعمال مرشح ضوء أزرق مع وضع تفسير لتوقعك.
6. اختبر توقعاتك.

التحليل والاستنتاج

7. اكتب تفسيرًا مختصرًا، تلخص وتوضح فيه مشاهداتك.

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

درجة الحرارة ولون اللهب يمكن أن يخبرنا لون اللهب عن درجة حرارته. فاللهب الأكثر سخونة يشع مزيد من الضوء الأخضر والأزرق. والمنطقة الصفراء في اللهب درجة حرارتها 400 °C تقريبًا، بينما درجة حرارة المنطقة البرتقالية من 500°C إلى 800°C تقريبًا. والمناطقة الزرقاء أكثر سخونة فتكون درجة حرارتها أكثر من 1100°C، تلك هي قمة لون الضوء الذي تشع بوساطة الجسم الأسود المثالي عند تلك الدرجات للحرارة. يطلق اللهب ضوءًا بكل الترددات، ولكن قمة طيفه لا ترتبط مع المنحنيات في الشكل 1–1؛ لأن اللهب ليس جسمًا أسود مثاليًّا، وعلى الأغلب يتم وصف المصدر المشع غير المثالي بوساطة لون درجة حرارته. لكن لبعض مصادر الضوء فإن درجة الحرارة الحقيقية أقل من درجة حرارة اللون، فدرجة حرارة اللون للشمعة 1650°C تقريبًا. ولكن درجة حرارة القمة الحقيقية 1400°C تقريبًا.

قدرة أكبر مقارنة بالأجسام الأبرد. وتعد الشمس من أكثر الأمثلة شيوعًا على الأجسام الساخنة التي تشع كمية كبيرة من الطاقة؛ إذ تعد كرة كثيفة من الغازات الساخنة جدًا والمتوهجة؛ وذلك بسبب الطاقة الناتجة عن التفاعلات النووية فيها. وتبلغ درجة حرارة سطح الشمس 5800 K، وتشع قدرة مقدارها 4×10^{26} W وهي كمية هائلة جدًا. وفي المتوسط يستقبل كل متر مربع من سطح الأرض 1000 J من الطاقة في كل ثانية؛ أي قدرة مقدارها 1000 W، وتكون هذه الكمية كافية لإضاءة عشرة مصابيح كهربائية قدرة كل منها 100 W

الربط مع الفلك

فرضية التكميم لبلانك: تكمن المشكلة بالنسبة للنظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل أنها غير قادرة على تفسير شكل الطيف الموضّح في **الشكل 1–1**. وقد حاول كثير من الفيزيائيين خلال الفترة 1887 و 1900م تفسير شكل هذا الطيف باستخدام النظريات الفيزيائية الكلاسيكية التي كانت موجودة آنذاك، ولكنها فشلت جميعًا. وفي عام 1900م وجد الفيزيائي الألماني ماكس بلانك أن باستطاعته حساب الطيف اعتمادًا على فرضية قدّمها تنص على أن الذرات غير قادرة على تغيير طاقتها بشكل مستمر. وأن طاقة اهتزاز الذرات في الجسم الصلب لها ترددات محددة فقط، كما هو موضح في المعادلة التالية:

طاقة الاهتزاز $E = nhf$

طاقة الذرة المهتزة تساوي حاصل ضرب عدد صحيح في ثابت بلانك وفي تردد الاهتزاز.

يمثل الرمز f تردد اهتزاز الذرة، و h ثابت بلانك ومقداره 6.626×10^{-34} J/Hz، ويُقرّب الثابت h عادة إلى 6.63×10^{-34} J/Hz لتبسيط إجراء الحسابات، و n عدد صحيح يعرف بالعدد الكمي مثل 0 و1 و2 و3 و...

$$n = 0:\ E = (0)\ hf = 0$$
$$n = 1:\ E = (1)\ hf = hf$$
$$n = 2:\ E = (2)\ hf = 2\ hf$$
$$n = 3:\ E = (3)\ hf = 3\ hf \quad \text{وهكذا}$$

لذا فإن الطاقة E يمكن أن يكون لها المقادير hf و $2hf$ و $3hf$ ... وهكذا، ولكن لن يكون لها المقدار $\frac{2}{3}hf$ أو $\frac{3}{4}hf$، أي أن الطاقة **مكمّاة**؛ بمعنى أنها توجد فقط على شكل حزم أو كميات معينة.

واقترح بلانك أيضًا أن الذرات لا تشع دائمًا موجات كهرومغناطيسية عندما تكون في حالة اهتزاز– كما توقع ماكسويل– إلا أن الذرات تبعث إشعاعًا فقط عندما تتغير طاقة اهتزازها. فإذا تغيرت طاقة اهتزاز ذرة مثلاً من $3\ hf$ إلى $2\ hf$ فإن الذرة تبعث إشعاعًا. والطاقة المنبعثة تساوي التغير في طاقة اهتزاز الذرة، وهي تساوي hf في هذه الحالة.

وجد بلانك أن الثابت h له قيمة صغيرة جدًا، وهذا يعني أن مقادير تغير الطاقة صغيرة جدًا، بحيث لا يمكن ملاحظتها في الأجسام العادية. وبقي تقديم مفهوم تكمية الطاقة يمثل مشكلة كبيرة للفيزيائيين، وخصوصًا لبلانك نفسه. وكانت هذه أول إشارة إلى أن الفيزياء الكلاسيكية لنيوتن، وماكسويل قد تكون صحيحة تحت ظروف خاصة فقط. وتم تكريم العالم بلانك لنظريته في تكمية الطاقة؛ وذلك بحصوله على جائزة نوبل عام 1918م من خلال طابع بريدي صدر في الآونة الأخيرة، كما هو موضح في **الشكل 2–1**.

تطبيق الفيزياء

درجة حرارة الكون

الكون مليء بالإشعاع الذي بعثه عندما كان جسمًا ساخنًا جدًا. وفي الوقت الحالي، فإن طيف الانبعاث للكون مماثل لطيف الانبعاث لجسم درجة حرارته 2.7 K، وهو بهذا يعدّ باردًا جدًا. وكما تعلم فإن 0 K تمثل أقل درجة حرارة ممكنة في مقياس كلفن وتسمى الصفر المطلق.

الشكل 2–1 يخلّد هذا الطابع إنجاز العالم ماكس بلانك، ويوضح إشارة الثابت h الذي يحمل اسم بلانك. ويستخدم ثابت بلانك، ومقداره 6.626×10^{-34} J/Hz في كثير من المعادلات المتعلقة بفيزياء الكم.

تطبيق الفيزياء

في عام 1963م تم الكشف عن إشعاع أساسي من رتبة 10^{-2} m، والمنبعث من جميع الاتجاهات في الكون. مثل هذه القياسات للاشعاع تماثل تلك القياسات للجسم المتوهج عند درجة حرارة 2.7 K، قراءة درجة الحرارة هذه عززت نموذج الكون المتمدد في علم الفلك، واعتبرت كدليل على نظرية الانفجار الأعظم المتعلقة بتكوين الكون. اطلب الى الطلبة استخدام مخطط الطيف الكهرومغناطيسي في الفصل 6 من كتاب الفيزياء 4 وذلك لتصنيف الموجات الكهرومغناطيسية وفق الأطوال الموجية من رتبة 10^{-2} m موجات الميكروويف م 1

التفكير الناقد

اللون ودرجة الحرارة اسأل الطلبة فيما إذا كانت الجمرة البيضاء الساخنة أقل حرارة من الجمرة الحمراء الساخنة. يحتوي الطيف الكهرومغناطيسي المنبعث من الجمرة البيضاء الساخنة على كثافات ضوئية لها ترددات أكبر من طيف الجمرة الحمراء الساخنة. لذلك فإن منحنى الشدة– التردد للضوء المنبعث من الجمرة البيضاء الساخنة، سوف يقع أبعد لجهة اليمين من الضوء المنبعث من الجمرة الحمراء الساخنة، وهذا يشير إلى درجة حرارة أعلى. م 1

نشاط

المنحنى البياني

اطلب الى الطلبة تقريب الطول الموجي المقابل للقيمة العظمى للإشعاع المنبعث من فتيل مصباح ضوئي عند درجة حرارة 5600 K، اقترح على الطلبة استخدام المنحنى الخطي أو الاستقراء لتعيين قيمة الطول الموجي الذي يحدث عنده شدة عظمى للاشعاع من البيانات الموضحة في **الشكل 1–1**.

0.4×10^{-6} m تقريباً

م 3 منطقي - رياضي

الفيزياء في الحياة

معلومة للمعلم

تحليل تركيب مادة باستخدام التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء لتحليل طيف الامتصاص للأشعة تحت الحمراء للمعادن أهمية في اكتساب المعرفة عن تركيب الجزئيات. فعندما تسقط حزمة من الأشعة تحت الحمراء من مصدر متوهج على محلول سائل من المادة المراد تحليلها، يقوم المنشور بفصل الأطوال الموجية للأشعة بعد عبورها خلال المحلول فيتحرك الكاشف عبر الطيف المتكوّن ليسجل الأطوال الموجية التي عندها يمتص المحلول الطاقة تحت الحمراء. تعتمد الطاقة الممتصة والتي تزيد من الطاقة الاهتزازية للجزيئات على كتل الذرات في الجزيئات وعلى قوة الروابط التي تربط بينها. عادة تستخدم الأطوال الموجية من 5 μm إلى 10 μm

عرض سريع

تكمية طاقة الوضع

الزمن المقدّر 10 دقائق

المواد والأدوات مجرى على شكل حرف U طوله 1m و 14 كتابًا متماثلًا، وكرة فولاذية.

الخطوات اسند إحدى نهايتي المجرى U على أربعة كتب لصنع منحدر. ثم اصنع منحدرًا آخر على شكل درجات بوضع كتابًا واحدًا ثم كتابين، ثم ثلاثة كتب وأخيرا اربعة كتب جنبًا إلى جنب لتصنع مجموعة من الدرجات التنازلية. ضع كرة عند اعلى المنحدر الأول واطلب الى الطلبة مشاهدة الكرة عندما تطلقها من أعلى المنحدر. ساعد الطلبة للتوصل إلى أن طاقة الوضع التجاذبية لكرة تتناقص بانتظام على طول المنحدر. الآن انتقل للمنحدر الثاني (الدرجات). ادفع الكرة بلطف على الدرجة الأولى له، لتنحدر على الدرجات. اطلب إلى الطلبة مشاهدة الكرة، وأن يفكروا بطاقة الوضع للكرة على طول المنحدر الجديد. ناقش الطلبة بأن طاقة الوضع التجاذبية للكرة تبقى ثابتة على كل طول أفقي لكل درجة، لأن الدرجة مستوية، والكرة تبقى عند الارتفاع نفسه، ولأن كل درجة تقع على ارتفاع مختلف فإن للكرة طاقة وضع تختلف بعد أن تسقط من درجة الى أخرى، وبسبب ثبات الارتفاع بين كل درجة والأخرى، فإن التغير في طاقة الوضع لكل درجة حرارة ثابتًا. أشر إلى أن طاقة الإلكترونات والأيونات الاهتزازية في الجسم الساخن ليست مستمرة، ولكنها على شكل سلسلة من القيم الثابتة والتي تختلف بقيمة محددة.

استخدام النماذج

طاقة الالكترون أشر إلى أن نموذج الكرة- على الدرجات- للطاقات الاهتزازية للإلكترون محددة لأن للكرة مدى مستمر من طاقة الوضع PE عندما تتحرك من درجة لأخرى. وعندما ينتقل الإلكترون من مستوى طاقة اهتزازية الى أخرى، فإن التغير في طاقته هي مقادير محددة من الطاقة وليست سلسلة متصلة من الطاقة.

التأثير الكهروضوئي (الانبعاث الكهروضوئي)

The Photoelectric Effect

واجه الفيزيائيون في بداية القرن العشرين أيضًا، بعض التحديات المتعلقة ببعض النتائج العملية التي لا يمكن تفسيرها من خلال النظرية الموجية لماكسويل؛ حيث لوحظ أنه عند سقوط أشعة فوق بنفسجية على لوح زنك مشحون بشحنة سالبة، فإنه يفقد شحنته. أما عند سقوط ضوء مرئي عادي على اللوح المشحون نفسه، فإنه لا يفقد شحنته. وهذه النتيجة مناقضة للنظرية الكهرومغناطيسية؛ حيث إن كلًّا من الأشعة فوق البنفسجية والضوء المرئي يتكونان من إشعاع كهرومغناطيسي، فلماذا إذًا يفقد لوح الزنك شحنته بأحدهما، ولا يفقدها بالآخر؟ ولماذا لا يفقد لوح الزنك الموجب الشحنة شحنته بطريقة مماثلة؟ وقد بيّنت دراسات إضافية أن لوح الزنك السالب الشحنة يفقد شحنته نتيجة انبعاث أو فقد إلكترونات. ويسمى انبعاث إلكترونات عند سقوط إشعاع كهرومغناطيسي على جسم **التأثير الكهروضوئي**.

يمكن دراسة التأثير الكهروضوئي باستخدام خلية كهروضوئية، كتلك الموضحة في **الشكل 3–1**؛ حيث تحتوي الخلية على قطبين كهربائيين فلزيين في أنبوب مخلخل من الهواء ومحكم الإغلاق. والهدف من هذا الأنبوب منع تأكسد سطحي الفلزين، ومنع الإلكترونات من التباطؤ أو التوقف نتيجة تصادمها مع الجسيمات الموجودة في الهواء. وعادة يطلى القطب الأكبر (المهبط) المكون من صفيحة مقعرة بمادة السيزيوم، أو أي فلز قلوي آخر، في حين يصنع القطب الأصغر (المصعد) من سلك رفيع؛ لكي يحجب كمية قليلة فقط من الإشعاع. ويصنع الأنبوب عادة من الكوارتز؛ لكي يسمح للأشعة فوق البنفسجية بالنفاذ من خلاله. ويؤدي تطبيق فرق جهد على القطبين (المصعد والمهبط) إلى جذب الإلكترونات في اتجاه المصعد.

الشكل 3–1 في الخلية الكهروضوئية الموضحة، تتدفق الإلكترونات المحررة من المهبط إلى المصعد، ومن ثم تكتمل الدائرة الكهربائية، ويتولد تيار كهربائيّ (a). يعمل مقياس الضوء اليدوي بسبب التأثير الكهروضوئي، ويستخدمه مصورو الفوتوجرافيا لقياس مستويات الضوء (b).

عندما لا يسقط إشعاع على المهبط (القطب السالب) لا يسري تيار في الدائرة الكهربائية، لكن عندما يسقط الإشعاع عليه ينتج تيار كهربائيّ يتم قياسه بالجلفانومتر، كما هو موضح في **الشكل 3–1**. وينتج هذا التيار لأن التأثير الكهروضوئي أدّى إلى تحرير إلكترونات – تسمى أيضًا الإلكترونات الضوئية – من المهبط في اتجاه المصعد (القطب الموجب)، وتدفق الإلكترونات هذا عبارة عن تيار كهربائي في الدائرة.

تردد العتبة لا يتولد تيار كهربائي، عند سقوط أي إشعاع على المهبط، ولكن تنطلق الإلكترونات من المهبط فقط، عندما يكون تردد الإشعاع الساقط أكبر من قيمة صغرى معينة، تسمى **تردد العتبة** f_o، ويتغير تردد العتبة بتغير نوع الفلز. فمثلاً تُحرر كل الأطوال

الخلفية النظرية للمحتوى

معلومة للمعلم

مكتشف التأثير الكهروضوئي اكتشف هنرش هيرتز في عام 1887م التأثير الكهروضوئي في أثناء إجراء تجاربه على الموجات الكهرومغناطيسية، فقد لاحظ أن توليد ومضة بين كرتين معدنيتين مفصولتين بفجوة صغيرة من الهواء، أكثر سهولة عندما يشع ضوءًا فوق بنفسجيًا على القطب السالب. ولأن هيرتز ركّز اهتمامه على ظاهرة انتقال موجات الراديو، فلم يولي هذا الاكتشاف أهمية كبيرة.

الموجية للضوء المرئي – ما عدا الضوء الأحمر – إلكترونات من السيزيوم، بينما لا يُحرر أي طول موجي للضوء المرئي إلكترونات من الزنك؛ حيث إننا نحتاج إلى الأشعة فوق البنفسجية، ذات التردد العالي لحدوث التأثير الكهروضوئي في الزنك.

يكون الإشعاع الساقط على فلز غير قادر على تحرير إلكترونات منه مهما كانت شدة هذا الإشعاع إذا كان تردده أقل من تردد العتبة. في حين يؤدي سقوط إشعاع شدته قليلة جدًّا ولكن تردده مساوٍ أو أكبر من تردد العتبة إلى تحرير إلكترونات من الفلز مباشرة. عندما يكون تردد الإشعاع الساقط مساويًا أو أكبر من تردد العتبة، فإن زيادة شدة هذا الإشعاع تؤدي إلى زيادة تدفق الإلكترونات الضوئية.

كيف تفسّر نظرية الموجات الكهرومغناطيسية التأثير الكهروضوئي؟ إنها غير قادرة على ذلك؛ فبناءً على هذه النظرية فالمجال الكهربائي يسرّع الإلكترونات من الفلز، وترتبط شدة المجال الكهربائي مع شدة الإشعاع (لا مع تردده). ولذلك تحتاج الإلكترونات في الفلز إلى أن تمتص طاقة من مصدر ضوء خافت فترة زمنية طويلة جدًّا قبل أن تتحرر. ولكن تبين المشاهدات أن الإلكترونات تنطلق مباشرة حتى عندما يسقط على الفلز إشعاع ذو شدة منخفضة تردده مساوٍ أو أكبر من تردد العتبة.

الفوتونات وتكمية الطاقة نشر العالم أينشتاين في عام 1905م نظرية تفسر التأثير الكهروضوئي. وبناءً على هذه النظرية، يتكون الضوء والأشكال الأخرى من الإشعاع الكهرومغناطيسي من حزم (مكماة) ومنفصلة من الطاقة، سُمّي كل منها فيما بعد **الفوتون**، وتعتمد طاقة الفوتون على تردده.

طاقة الفوتون $E = hf$

طاقة الفوتون تساوي حاصل ضرب ثابت بلانك في تردد الفوتون.

تمثل f التردد بوحدة Hz، و h ثابت بلانك، ولأن $\text{Hz} = 1/\text{s}$ فإن وحدة J/Hz لثابت بلانك مكافئة أيضًا للكمية J.s، ولأن وحدة الجول وحدة طاقة كبيرة جدًّا، لاستخدامها في الأنظمة ذات الحجم الذري، لذا فالوحدة الأكثر شيوعًا للطاقة هي وحدة الإلكترون فولت (eV)، ويعرّف الإلكترون فولت بأنه طاقة إلكترون يتسارع عبر فرق جهد مقداره فولت واحد.

$$1\,\text{eV} = (1.60\times10^{-19}\,\text{C})(1\,\text{V})$$
$$= 1.60\times10^{-19}\,\text{C.V}$$
$$= 1.60\times10^{-19}\,\text{J}$$

ويمكن إعادة كتابة معادلة طاقة الفوتون في شكل مبسّط، كما هو موضح أدناه:

طاقة الفوتون $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(1240\ \text{eV.nm})}{\lambda}$

تساوي طاقة الفوتون (eV) حاصل قسمة 1240 eV.nm على الطول الموجي للفوتون (nm).

توضح استراتيجيات حل المسألة في الصفحة التالية عملية اشتقاق هذه المعادلة وكيفية استخدامها.

نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

قياسات الكتلة المكماة باستخدام البيانات من التجربة الإضافية، اطلب الى الطلبة رسم منحنى بياني بالأعمدة لتمثيل كتل العلب الصغيرة الأربعة بترتيب تصاعدي، وارمز للعلب باستخدام الأحرف A وB وC و D على الترتيب على الرسم البياني. واطلب اليهم تذكر افتراضات النشاط: كل علبة تحتوي على قطعتين أو أكثر من القطع المعدنية، وعلى الأقل علبة واحدة تحتوي على عدد زوجي وعلبة أخرى تحتوي على عدد فردي من القطع المعدنية. واطلب اليهم ملاحظة الفرق في ارتفاعات أعمدة التمثيل البياني فذلك يقودهم لإدراك أن كل تغير في الإرتفاع يمثل كتلة قطعة واحدة، أو قطعتين أو عدد من آخر من القطع المعدنية. م 1 **بصري مكاني**

تجربة إضافية

نمذجة التكمية

الهدف استخدام نموذج التكميم في قياس كتل القطع النقدية من خلال العمل في مجموعات صغيرة.

المواد والأدوات زودّ كل مجموعة بميزان حساس بالإضافة إلى أربعة علب بلاستيكية غير شفافة صغيرة. يجب أن تحتوي كل علبة صغيرة على عدد مختلف من القطع المعدنية (على الأقل إثنتان). يجب أن تحتوي واحدة على الأقل على عدد فردي وأخرى على عدد زوجي من القطع النقدية، ويجب كتابة كتلة كل علبة على غطائها.

الخطوات

1. اطلب من الطلبة عدم فتح العلب الصغيرة. واطلب اليهم قياس وزن كل علبة وتحديد الكتلة الكلية للقطع النقدية بداخلها.
2. اطلب الى كل مجموعة استخدام بياناتهم لحساب كتلة القطعة النقدية الواحدة.

التقويم يقوم الطلبة بمناقشة كيفية تكمية الكتلة في العلبة الصغيرة حيث أنها تتواجد في حزم منفصلة والكتلة الكلية تساوي العدد الكلي للقطع مضروبًا في كتلة كل قطعة. أشر إلى أنه في المستوى الذري فإن الطاقة أيضًا مكماة وتوجد على شكل حزم منفصلة تسمى الكمات.

استخدام التشابه

موجات الماء قد يفهم الطلبة ظاهرة التأثير الكهروضوئي بصورة أفضل بمقارنتها مع تأثير موجات الماء. افترض أن مويجات صغيرة في بحيرة تصطدم بكرة شاطئ على سطح الماء. ستتوقع أن التأثير على الكرة سيكون قليلاً. الآن تخيّل أن موجات كبيرة ناتجة عن حركة زورق ذو محرك تصطدم بكرة الشاطئ نفسها، ستتوقع أن التأثير على الكرة سيكون كبيرًا، وهو كذلك. وهذا ما يمكن أن يتوقعه الطلبة بديهيًا بالنسبة للضوء، ولكن الضوء يسلك طريقة مختلفة في التأثير الكهروضوئي، فزيادة شدة الضوء تستطيع زيادة عدد الإلكترونات المنبعثة، ولكن جميع الإلكترونات التي تبدأ عند نفس مستوى الطاقة تمتلك نفس المقدار من طاقة الحركة بعد الانبعاث، بغض النظر عن شدة الضوء الساقط.

عرض سريع

الظاهرة الكهروضوئية

الزمن المقدّر 15 دقيقة

المواد والأدوات كشاف كهربائي، ومواد لشحن الكشاف الكهربائي بشحنة موجبة وأخرى بشحنة سالبة. وشريط من الزنك أبعاده 2 cm × 10 cm، ومصدر ضوء فوق بنفسجي.

الخطوات علِّق شريط الزنك بشكل آمن بنهاية الكشاف الكهربائي. اشحن الكشاف الكهربائي والشريط المعلّق بشحنة موجبة، ثم سلّط الضوء فوق البنفسجي على الشريط.

تحذير: الضوء فوق البنفسجي مضر للعين، لا تسمح لأي شخص بالنظر مباشرة إلى مصدر الضوء. فرّغ الشحنة ومن ثم اشحن الشريط بشحنة سالبة، ومن ثم سلّط الضوء فوق البنفسجي عليه. إن الشريط المشحون بشحنة موجبة لا يفرّغ، بينما الشريط المشحون بشحنة سالبة يفرغ، بحيث يجعل ورقتي الكشاف تتلاصق. يسبب الضوء فوق البنفسجي انبعاث الإلكترونات من سطح شريط الزنك المشحون بشحنة سالبة.

استراتيجيات حل المسألة

وحدات *hc* وطاقة الفوتون

يُزوِّدنا تحويل الكمية hc إلى وحدة eV.nm بمعادلة مبسطة يمكن أن تستخدم لحل المسائل التي تتضمن الطول الموجي للفوتون.

1. تعطى طاقة فوتون طوله الموجي λ بالمعادلة $E = hf$
2. لأن $f = c/\lambda$، فإنه يمكن كتابة هذه المعادلة على شكل $E = hc/\lambda$
3. عند استخدام المعادلة $E = hc/\lambda$، إذا كان مقدار *hc* بوحدة eV.nm مقسومًا على λ بوحدة nm فسوف تحصل على الطاقة بوحدة eV. لذا فإنه من المفيد أن تعلم مقدار *hc* بوحدة eV.nm.
4. يتم تحويل وحدة قياس *hc* إلى وحدة eV.nm كما يلي:

$$hc = (6.626\times10^{-34}\ \text{J/Hz})\ (2.998\times10^{8}\ \text{m/s})$$

$$\left(\frac{(1\ \text{eV})}{(1.602\times10^{-19}\ \text{J})}\right)\frac{10^{9}\ \text{nm}}{1\ \text{m}} = 1240\ \text{eV.nm}$$

5. بتعويض $hc = 1240\ \text{eV.nm}$ في معادلة طاقة الفوتون تحصل على المعادلة التالية؛ حيث λ بوحدة nm والطاقة E بوحدة eV:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(1240\ \text{eV.nm})}{\lambda}$$

6. استخدم المعادلة أعلاه لحل مسائل طاقة الفوتون عندما تكون الطاقة مطلوبة بوحدة eV.

من المهم ملاحظة أن نظرية أينشتاين للفوتون أشمل وأعم من نظرية بلانك للإشعاع المنبعث من الأجسام الساخنة. فبينما توقع بلانك أن الذرات المهتزة تبعث إشعاعًا كهرومغناطيسيًّا بطاقة تساوي *nhf*، فإنه لم يتوقع أن الضوء والأشكال الأخرى للإشعاع الكهرومغناطيسي تسلك سلوك الجسيمات. أما نظرية أينشتاين للفوتون فتعيد تفسير نظرية بلانك للإشعاع المنبعث من الأجسام الساخنة وتوسعها.

ليتم تحرير الكترون من سطح الفلز؛ فإننا نحتاج إلى فوتون يكون تردده على الأقل مساويًا لتردد العتبة للفلز f_0، فإذا سقط فوتون تردده أكبر أو يساوي تردد العتبة للفلز، ستتحرر الكترونات من سطح الفلز بطاقة حركية تعطى من العلاقة التالية:

الطاقة الحركية لإلكترون كهروضوئي $KE = hf - hf_0$

الطاقة الحركية للإلكترون المتحرر تساوي الفرق بين طاقة الفوتون الساقط *hf*، والطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون من الفلز hf_0.

نشاط

تحدٍّ

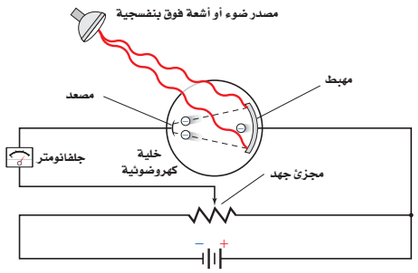
اقتران الشغل وطاقة التأين اطلب إلى الطلبة استخدام بعض المراجع العلمية مثل "كتب الكيمياء والفيزياء" للتعرف على اقتران الشغل وطاقة التأين لبعض العناصر مثل الصوديوم والباريوم والنحاس والذهب، والزنك، ثم عمل مقارنة بين القيم وتفسير الفروقات بين تلك القيم. طاقات التأين تقاس بصورة أساسية للذرات المنفردة في الحالة الصلبة. لكن اقترانات الشغل تقاس للعناصر في الحالة الصلبة. لأن الذرات في الحالة الصلبة تتفاعل مع الذرات المجاورة، فإن مستويات طاقة الإلكترون تتغير. م 3 **منطقي-رياضي**

تطوير المفهوم

طاقة الفوتون وضح أنه في ظاهرة التأثير الكهروضوئي الموضحة في الشكل 4–1 فإن العديد من الفوتونات المنبعثة من مصدر الضوء، لا تمتلك طاقة كافية لتسبب انبعاث إلكترونـات، وهذه الفوتونات تحول الطاقة الى طاقة حرارية.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

جائـزة نوبل لألبرت أينشتاين اطلب إلى الطلبة البحث عن العمل الذي قام به أينشتاين وحاز بسببه على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1921م. سيجيب معظم الطلبة بأنه كان على نظريته في النسبية. وضح أن هذه النظرية كانت إنجازًا جريئًا جدًّا في تلك الفترة. لقد حاز على جائزته على تفسيره لظاهرة التأثير الكهروضوئي. فعـلى الرغم من أنها كانـت مثيرة للجدل–إلا أنه تم تأكيدها عمليًا من قبل العالم روبرت مليكان. م 2



الشكل 4–1 يمكن قياس الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة من المهبط باستخدام هذا الجهاز؛ حيث يقيس الجلفانومتر التيار المار في الدائرة. وبتعديل مجزئ الجهد، يمكن للشخص الذي يجري التجربة تحديد فرق الجهد الذي يصبح عنده التيار المار في الدائرة صفرًا. عندها يمكن حساب الطاقة الحركية العظمى الممكنة للإلكترونات المتحررة.

اختبار النظرية الكهروضوئية كيف يمكن اختبار نظرية أينشتاين؟ يمكن قياس الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة بطريقة غير مباشرة، بوساطة جهاز خاص بذلك، كالموضح في **الشكل 4–1**. يستخدم مجزئ الجهد لتعديل فرق الجهد السالب المطبق بين قطبي الخلية الكهروضوئية، وبالتالي فإن الإلكترونات المتحررة تخسر طاقة للوصول إلى المصعد، وسيصل إليه فقط الإلكترونات المتحررة من المهبط ذات الطاقة الحركية العالية.

وكما هو موضح في **الشكل 4–1**، عند سقوط ضوء بتردد معين (أكبر من تردد العتبة) على المهبط وبزيادة سالبية جهد المصعد تدريجيًا، فإن عدد الإلكترونات التي تصل إلى المصعد يقل. وعند جهد معين لا تتمكن الإلكترونات ذات الطاقة الحركية العظمى من الوصول إلى المصعد، وعندها يتوقف التيار ويسمى هذا **جهد الإيقاف أو القطع**.

عند جهد الإيقاف تكون الطاقة الحركية للإلكترونات عند المهبط مساوية للشغل المبذول من المجال الكهربائي لإيقافها. ويعبر عن هذا بالمعادلة: $KE = -qV_0$، حيث تمثل V_0 مقدار جهد الإيقاف بوحدة الفولت J/C، و q شحنة الإلكترون، وتساوي -1.60×10^{-19} C، لاحظ أن الإشارة السالبة في المعادلة، والمقدار السالب للشحنة q ينتجان مقدارا موجبًا للطاقة الحركية KE.

تطبيقات يستخدم التأثير الكهروضوئي في التطبيقات اليومية المختلفة؛ فالخلايا الشمسية الموضحة في **الشكل 5–1** تستخدم التأثير الكهروضوئي، لتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية، كما تحتوي فاتحات باب الموقف (الكراج) على حزم من الأشعة تحت الحمراء، تنشئ تيارًا في المستقبِل من خلال التأثير الكهروضوئي. فإذا قُطعت حزمة الضوء هذه بجسم في أثناء إغلاق باب الموقف، فإن التيار يتوقف في المستقبِل، مما يؤدي إلى فتح الباب، ويستخدم التأثير الكهروضوئي أيضًا في التحكم في إضاءة مصابيح الشوارع وإطفائها آليًّا يطلق عليها المفاتيح الإلكترونية؛ وذلك اعتمادًا على ما إذا كان الوقت نهارًا أو ليلاً.

الشكل 5–1 تستخدم الألواح الشمسية على هذا المبنى التأثير الكهروضوئي لتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية.

15

نشاط — مشروع فيزياء

الخلايـا الكهروضوئيـة اطلب إلى الطلبة البحث في الأدوات والاجهزة التي توظف الخلايا الكهروضوئية. اقترح بأن يقوم الطلبة بإجراء عصف ذهني بحيث يذكروا الحالات التي تستخدم فيها هذه الخلايا وما وظيفتها في الأجهزة. بعد تحديد الجهاز الذي يستخدم الخلية الكهروضوئية، اطلب اليهم البحث في آلية عمل الخلايا. يستطيع الطلبة أن يعرضوا ما توصلوا اليه كتقارير مكتوبة، أوملصقات، أو نماذج. في جميع الحالات فإن أهمية الخلية في تشغيل الجهاز يجب أن تحدد بوضوح. م 2 منطقي

مثال صفي

سؤال إذا كان جهد الإيقاف (القطع) لمهبط بوتاسيوم 2.24 eV فما هي الطاقة القصوى للإلكترونات المتحررة بفعل الضوء الساقط (بوحدة الجول)؟

الجواب

$$KE = -qV_0$$
$$= -(1.60 \times 10^{-19}\text{C})(2.24\text{ V})$$
$$= 3.58 \times 10^{-19}\text{ J}$$

مسائل تدريبية

1. 3.7×10^{-19} J
2. 1.1×10^{2} eV
3. 5.7 eV
4. 5.1×10^{-19} J

مناقشة

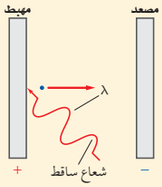
سؤال لماذا يُتوقع أن استخدام الفلزات لتوضيح التأثير الكهروضوئي، أفضل من استخدام المواد الصلبة البلّورية؟

الإجابة قوة ربط الإلكترونات في الفلزات أقل منها في المواد الصلبة البلّورية. م 2

مثـــال 1

الطاقة الحركية لإلكترون كهروضوئي إذا كان جهد الإيقاف لخلية ضوئية معينة 4.0 V، فما مقدار الطاقة الحركية التي يُكسبها الضوء الساقط للإلكترونات المتحررة؟ عبّر عن إجابتك بوحدتي الجول والإلكترون فولت.

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم المهبط والمصعد، والإشعاع الساقط، واتجاه حركة الإلكترون المتحرر.

لاحظ أن جهد الإيقاف، يحول دون تدفق الإلكترونات عبر الخلية الضوئية.

المعلوم	المجهول
$V_0 = 4.0\text{ V}$	KE (J و eV بوحدة)=؟
$q = -1.60 \times 10^{-19}\text{ C}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

يبذل المجال الكهربائي شغلاً على الإلكترونات عندما يكون الشغل المبذول W يساوي سالب الطاقة الحركية الابتدائية KE فإن الإلكترونات لا تمر عبر الخلية الضوئية.

$KE + W = 0\text{ J}$

حل المعادلة لحساب الطاقة الحركية KE.

$KE = -W$

بالتعويض عن $W = qV_0$

$= -qV_0$

بالتعويض عن $V_0 = 4.0\text{ V}, q = -1.60 \times 10^{-19}\text{ C}$

$= -(-1.60 \times 10^{-19}\text{ C})(4.0\text{ V})$

$= +6.4 \times 10^{-19}\text{ J}$

حوّل وحدة قياس الطاقة الحركية من جول إلى إلكترون فولت

$KE = (+6.4 \times 10^{-19}\text{J})\left(\frac{1\text{ eV}}{1.60 \times 10^{-19}\text{ J}}\right)$

$= 4.0\text{ eV}$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الجول والإلكترون فولت كلاهما وحدات قياس للطاقة.
- **هل للإشارات معنى؟** الطاقة الحركية دائمًا موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** الطاقة بوحدة الإلكترون فولت تساوي في المقدار فرق جهد الإيقاف بوحدة فولت.

مسائل تدريبية

1. ما طاقة إلكترون بوحدة الجول إذا كانت طاقته 2.3 eV؟
2. إذا كانت سرعة إلكترون $6.2 \times 10^{6}\text{ m/s}$، فما طاقته بوحدة الإلكترون فولت؟
3. إذا كان جهد الإيقاف لخلية كهروضوئية 5.7 V، فاحسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة بوحدة eV.
4. يلزم جهد إيقاف مقداره 3.2 V لمنع سريان التيار الكهربائي في خلية كهروضوئية. احسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المتحررة بوحدة الجول.

16

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

أهمية التأثير الكهروضوئي كان اكتشاف ظاهرة التأثير الكهروضوئي مهمًا لعدة أسباب. أولاً: زودتنا بمعلومات أكثر عن الإشعاع الكهرومغناطيسي، وساعدت في ترسيخ مفهومه وبينت أن الإشعاع يتكون من جسيمات منفصلة، أو كمّات تسمى فوتونات تشع طاقتها فقط في كمات أو قيم منفصلة. ثانيًا: كانت دليلاً آخر على وجود الإلكترونات في الفلزات. فقد بيّن أينشتاين أن لكل فلز حد أدنى لتردد الضوء الساقط عليه، تكون طاقة الكم له تساوي اقتران الشغل للفلز، وأنه مهما كان الضوء ساطعًا، فإن الضوء ذو التردد الأقل من ذلك التردد، لن يسبب انبعاث ضوئي. ثالثًا: يساعد على التحقق من صحة نظرية الكم. فقد أكد روبرت مليكان النظرية الكمية وذلك بقياس ثابت بلانك في مدى 0.5 %.

مسألة تحدٍ

افترض أن قطعة نقدية كتلتها 5.0 g معلقة بنابض تهتز إلى أعلى وإلى أسفل، وكانت السرعة القصوى لهذه القطعة في أثناء اهتزازها 1.0 cm /s، اعتبر أن قطعة النقد المهتزة تُنمذج الاهتزازات الكمية للإلكترونات في الذرة، حيث تعطى طاقة الاهتزازات بالمعادلة $E = nhf$

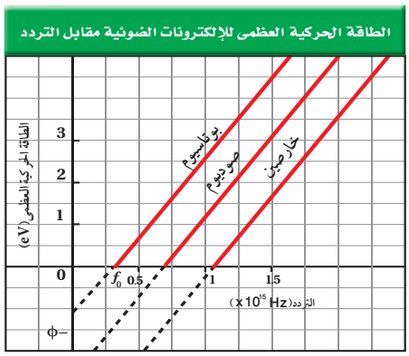
1. احسب الطاقة الحركية العظمى للجسم المهتز.
2. يبعث الجسم المهتز طاقة على شكل ضوء بتردد 5.0×10^{14} Hz إذا كانت هذه الطاقة تُبعث في مرحلة واحدة فاحسب الطاقة التي يفقدها الجسم.
3. حدد عدد المراحل التي ستقل فيها طاقة الجسم بمقادير متساوية من أجل أن يفقد طاقته كلها.

يمثل الرسم البياني طاقات حركة الإلكترونات التي تتحرر من فلز، مقابل ترددات الفوتونات الساقطة عبارة عن خط مستقيم، كما هو موضح في **الشكل 6–1**. للفلزات جميعها رسوم بيانية متشابهة لها الميل نفسه، وهذا الميل يساوي النسبة بين ارتفاع الخط المستقيم وامتداده الأفقي، والذي يساوي ثابت بلانك h.

$$\text{الميل} = \frac{\text{الرأسي}}{\text{الأفقي}} = \frac{\text{التغير في الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المحررة}}{\text{التغير في تردد الإشعاع الساقط}}$$

$$h = \frac{\Delta KE}{\Delta f}$$

تختلف الرسوم البيانية للفلزات المختلفة فقط في تردد العتبة اللازم لتحرير الإلكترونات. في **الشكل 6–1** تردد العتبة f_0 هو النقطة التي تكون عندها $KE = 0$. وفي هذه الحالة تقع f_0 على نقطة تقاطع الخط المستقيم مع المحور x، ويرتبط تردد العتبة مع اقتران (دالة) الشغل للفلز. **واقتران الشغل** لفلز هو الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون الأضعف ارتباطًا بالنواة أو بالفلز، ويرمز لها بالرمز ϕ ومقداره يساوي hf_0، وتقع ϕ على نقطة تقاطع الخط المستقيم مع المحور y، وعندما يسقط فوتون تردده f_0 على فلز تكون طاقته كافية لتحرير الإلكترون فقط، دون تزويده بأي طاقة حركية.



الشكل 6–1 يوضح الرسم البياني العلاقة بين تردد الضوء والطاقة الحركية العظمى لعدة فلزات.

أجرى العالم الأمريكي روبرت مليكان بين عامي 1905 و 1916م مجموعة من التجارب، حاول من خلالها أن يدحض النظرية الكهروضوئية لأينشتاين، ومع أن نتائج تجاربه أكدت صحة معادلة أينشتاين، إلا أنه لم يقبل فكرة أينشتاين عن الفوتون. وقد ساهمت تجارب مليكان في حصول أينشتاين على جائزة نوبل عام 1921م عن النظرية الكهروضوئية. وفي عام 1923م حصل مليكان أيضًا على جائزة نوبل عن تجربته لحساب شحنة الإلكترون، وعن أبحاثه في التأثير الكهروضوئي.

تطوير المفهوم

الشدة والتيار الكهروضوئي إن زيادة شدة الضوء (عدد الفوتونات) من المصدر الضوئي (اعتبر أن التردد أعلى من تردد العتبة) لا يزيد من طاقة الإلكترونات المنبعثة. لكن زيادة شدة الضوء تزيد التيار الكهروضوئي الذي يمثل معدل انبعاث الإلكترونات. فمثلاً الضوء الأزرق الخافت يسبب انبعاث إلكترونات ضوئية طاقتها أكبر من طاقة الإلكترونات المنبعثة بوساطة الضوء الأحمر الساطع إذا كان تردده اعلى من تردد العتبة للفلز المستخدم. ومع ذلك، فإن الضوء الأحمر الأكثر سطوعًا سوف يتسبب في انبعاث الإلكترونات الضوئية بمعدل أكبر.

تطوير المفهوم

حفظ الطاقة أكد على أن حفظ الطاقة في ظاهرة التأثير الكهروضوئي، تبدأ بالتأكيد على أن الإشعاع الساقط هو السبب، بينما انبعاث الإلكترونات يمثل النتيجة. بعد ذلك اكتب عبارة كالعبارة التالية على السبورة: $E_{\text{ناتج}} = E_{\text{ساقط}}$.

اطلب الى الطلبة، تعريف الطاقة الساقطة بالمقدار hf وتمثل طاقة الفوتون. ثم اسألهم ما تأثير هذه الطاقة على الإلكترون الموجود في المادة؟ هذه الطاقة تساوي مجموع الطاقة اللازمة لانبعاث الإلكترون من الفلز وطاقة الحركة له بعد أن يتحرر. فإذا كانت الطاقة التي تحرر الإلكترون وهي اقتران الشغل تمثل بالصيغة hf_0، فإن: $hf = hf_0 + KE$ م 2 لغوي

مسألة تحد

1. $KE = (\frac{1}{2})mv^2$

$= (\frac{1}{2})(5.0\times10^{-3}\text{ kg})$

$(1.0\times10^{-2}\text{ m/s})^2$

$= 2.5\times10^{-7}\text{ J}$

2. $E = hf$

$= (6.63\times10^{-34}\text{ J/Hz})$

$(5.0\times10^{14}\text{ Hz})$

$= 3.3\times10^{-19}\text{ J}$

3. $\frac{2.5\times10^{-17}\text{ J}}{3.3\times10^{-19}\text{ J/مرحلة}}$

$= 7.6\times10^{11}\text{ مرحلة}$

استخدام التشابه

انماط السلوك المزدوج من الأفضل أن يفهم الطلبة النمط المزدوج للسلوك إذا اعتبروا أن الماء أيضًا يمكن أن يسلك كجسيم أو كموجة. إذا شاهد الطلبة تدفق الماء باستخدام ضوء ستروب ومّاض. فإنهم سيشاهدون الطبيعة الجسيمية للماء وطبعا تظهر موجات الماء التي تظهر بوضوح أن الماء يسلك سلوكًا موجيًا.

مثال صفي

سؤال إذا كان اقتران الشغل لمهبط من البوتاسيوم 2.24 eV فما مقدار طاقة الإلكترونات الضوئية بوحدة eV إذا أضيء المهبط بضوء طوله الموجي 425 nm؟

الجواب

$$E = 1240\ \text{eV·nm}/\lambda$$
$$= 1240\ \text{eV·nm}/425\ \text{nm}$$
$$= 2.92\ \text{eV}$$
$$\text{KE} = E - \phi = 2.92\ \text{eV} - 2.24\ \text{eV}$$
$$= 0.68\ \text{eV}$$

مسائل تدريبية

5. 9.7×10^{14} Hz ،4.0 eV
6. 0.96 eV
7. 276 nm

مثـــال 2

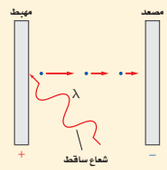
اقتران الشغل والطاقة تستخدم خلية ضوئية مهبطًا من الصوديوم. فإذا كان طول موجة العتبة λ_0 لمهبط الصوديوم 536 nm

a. احسب اقتران الشغل للصوديوم بوحدة eV .

b. إذا سقط إشعاع فوق بنفسجي طوله الموجي 348 nm على الصوديوم فما طاقة الإلكترونات المتحررة بوحدة eV؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم المصعد والمهبط، والإشعاع الساقط، واتجاه الإلكترون المتحرر.



المعلوم	المجهول
$\lambda_0 = 536$ nm	$\phi = ?$
$hc = 1240$ eV.nm	KE = ?

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. مستخدمًا ثابت بلانك وطول موجة العتبة لإيجاد اقتران الشغل.

بالتعويض عن $\lambda_0 = 536$ nm, $hc = 1240$ eV.nm

$$\phi = hf_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$$
$$= \frac{1240\ \text{eV.nm}}{536\ \text{nm}}$$
$$= 2.31\ \text{eV}$$

b. استخدم معادلة التأثير الكهروضوئي لأينشتاين لحساب طاقة الإشعاع الساقط.

بالتعويض عن $\lambda = 348$ nm

$$E = \frac{1240\ \text{eV.nm}}{\lambda}$$
$$= \frac{1240\ \text{eV.nm}}{348\ \text{nm}}$$
$$= 3.56\ \text{eV}$$

لحساب طاقة الإلكترون المتحرر اطرح اقتران الشغل من طاقة الإشعاع الساقط.

بالتعويض عن $\phi = \frac{hc}{\lambda_0}$, $E = \frac{hc}{\lambda}$

بالتعويض عن $E = 3.56$ eV ،$\phi = 2.31$ eV

$$\text{KE} = hf - hf_0 = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_0}$$
$$= E - \phi$$
$$= 3.56\ \text{eV} - 2.31\ \text{eV}$$
$$= 1.25\ \text{eV}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** إجراء التحليل البعدي على الوحدات يؤكد أن وحدة eV هي الوحدة المناسبة للطاقة الحركية KE.
- **هل للإشارة معنى؟** الطاقة الحركية موجبة دائمًا.
- **هل الجواب منطقي؟** ينبغي أن تكون الطاقات مقادير قليلة من الإلكترون فولت.

مسائل تدريبية

5. احسب تردد العتبة للزنك بوحدة Hz، واقتران الشغل بوحدة eV، إذا كان طول موجة العتبة للزنك 310 nm
6. ما مقدار الطاقة الحركية بوحدة eV للإلكترونات المتحررة من السيزيوم، عندما يسقط عليه ضوء بنفسجي طوله الموجي 425 nm، إذا كان اقتران الشغل له 1.96 eV
7. إذا كان اقتران الشغل لفلز 4.50 eV، فما مقدار أكبر طول موجي للإشعاع الساقط عليه، بحيث يكون قادرًا على تحرير إلكترونات منه؟

18

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

التحكم الآلي للأبواب الكثير من أبواب المجمعات التجارية تفتح آليًا عندما يقترب منها الناس. تعمل هذه الأبواب على الأغلب بوساطة دوائر إلكترونية تحتوي على خلايا كهروضوئية. فعند التشغيل تُشع حزمة ضوئية على الخلية الكهروضوئية فينتج تيارًا كهربائيًا في الدائرة. تحتوي الدائرة على أداة للتحكم الآلي (مُرحِّل) وهي عبارة عن مغناطيس كهربائي يتحكم في مفتاح الدائرة الثانية التي تفتح الأبواب. وعندما تتم مغنطة المغناطيس الكهربائي فإنه يجذب ذراع المفتاح الذي يبقي الدائرة الثانية مفتوحة والأبواب مغلقة. وعندما يتم قطع الشعاع الضوئي فإن التيار يتوقف والمغناطيس الكهربائي يفقد مغناطيسيته فيتوقف عن جذب ذراع المفتاح، فيعمل نابض على سحب ذراع المفتاح الذي يغلق الدائرة الثانية وعندها تفتح الأبواب.

تأثير كومبتون The Compton Effect

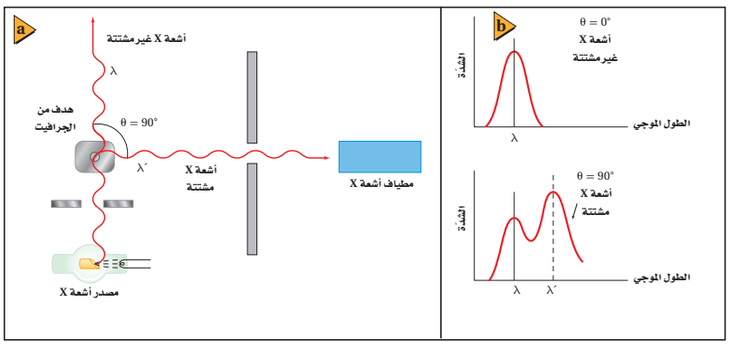
يُظهر التأثير الكهروضوئي أن للفوتون – رغم أنه ليس له كتلة – طاقة حركية تمامًا كما للجسيمات، وفي عام 1916م اقترح أينشتاين أن الفوتون يجب أن يكون له خاصية جسيمية أخرى، هي الزخم (كمية التحرك). وبيّن أن زخم الفوتون يجب أن يساوي E/c، ولأن $E = hf$ و $f/c = 1/\lambda$، فإن زخم الفوتون يعطى بالمعادلة.

زخم الفوتون $$p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

زخم الفوتون يساوي حاصل قسمة ثابت بلانك على الطول الموجي للفوتون.

اختبرت تجارب أجراها الفيزيائي الأمريكي أرثر هولي كومبتون عام 1922م نظرية أينشتاين. وقد دعمت نتائج تجارب كومبتون النموذج الجسيمي للضوء. حيث سلّط كومبتون أشعة X ذات طول موجي معلوم على هدف من الجرافيت، كما هو موضح في **الشكل 7a–1**، وقاس الأطوال الموجية لأشعة X التي شتتها الهدف. لاحظ كومبتون أن بعض أشعة X المُشَتَّتة لم يتغير طولها الموجي، في حين أصبح لبعضها الآخر طول موجي أكبر مما للإشعاع الساقط. **والشكل 7b–1** يوضح هذه النتائج. ويلاحظ من الشكل أن الطول الموجي المقابل لأكبر شدة لأشعة X غير المشتتة يتطابق مع مثيله لأشعة X الساقطة، بينما الطول الموجي المقابل لأكبر شدة لأشعة X المشتتة، أكبر من مثيله لأشعة X الساقطة.

وبما أن معادلة طاقة الفوتون $E = hf$ فإنه يمكن كتابتها أيضًا على شكل $E = hc/\lambda$، وتبين هذه المعادلة أن طاقة الفوتون تتناسب عكسيًّا مع طوله الموجي. فالزيادة في الطول الموجي الذي لاحظه كومبتون، تعني أن فوتونات أشعة X قد فقدت طاقة وزخمًا. وتسمى الإزاحة في طاقة الفوتونات المشتتة **تأثير كومبتون**. وهذه الإزاحة في الطاقة صغيرة جدًّا، ولها تأثير قابل للقياس عند استخدام أشعة X بأطوال موجية في حدود 10^{-2} nm أو أقل.



الشكل 7–1 استخدم كومبتون أدوات مشابهة لهذه الأدوات في دراسة طبيعة الفوتونات (**a**). زيادة الطول الموجي للفوتونات المشتتة دليل على أن فوتونات أشعة X قد فقدت طاقة (**b**).

تعزيز الفهم

تغيرات زخم الفوتون يفقد الإلكترون جزءًا من زخمه عندما يتباطأ، لكن الفوتون لا يتباطأ، لأنه ينتقل بسرعة الضوء في ذلك الوسط. ولكن زخمه يتناقص عندما يزداد طوله الموجي.

استخدام التشابه

تأثير كومبتون يدرس الطلبة التشابه الميكانيكي التالي لتأثير كوميتون: إن تفاعل فوتون أشعة X والذرة يشبه إرتداد حبة البازيلا عن كرة البولينغ. حيث يكون تأثر كرة البولينغ قليلاً نتيجة التصادم بسبب كتلتها الكبيرة جدًا بالنسبة لحبة البازيلاء. لكن التفاعل بين فوتون أشعة X، والإلكترون يشبه كثيرًا التصادم بين كرتا بلياردو، حيث أن زخم كل منهما له المقدار نفسه.

تطوير المفهوم

- **دلالة الفوتون** الظاهرة الكهروضوئية وتأثير كومبتون هما الظاهرتان الرئيستان اللتان تُظهران الخصائص الجسيمية للإشعاع الكهرومغناطيسي. إن مبدأ التكمية الذي قدمه بلانك كحل رياضي لهذه المسألة المحيّرة كان قد استخدمه أينشتاين للتعبير عن النموذج الجسيمي للضوء.
- **اسهامات كومبتون في الحرب العالمية الثانية** كان العالم كومبتون أحد العلماء القياديين في مشروع منهاتن لتطوير القنبلة الذرية. فقد أشرف كومبتون على البحث في الطرائق الخاصة لإنتاج البلوتونيوم.

نشاط — مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

منحنى (الشدة-التردد) لتأثير كومبتون لمساعدة الطلبة على فهم أن الفوتونات المتشتتة، تمتلك طاقة أقل من الفوتونات غير المتشتتة. ارسم المنحنيين البيانيين الموضحين في الشكل 7–1 كمنحنى (الشدة–التردد)، اقترح على الطلبة مناقشة تفسير هذه المنحنيات. واطلب اليهم ملاحظة أن التردد الذي تنبعث عنده أقصى كمية من الطاقة، بوساطة فوتونات أشعة X التي تتشتت عند زاوية 90° أقل من التردد الذي عنده تنبعث الكمية العظمى من الطاقة بوساطة فوتونات أشعة X، التي تتشتت عند زاوية 0°، وذلك لأن طاقة فوتون أشعة X ترتبط مباشرة مع الطول الموجي لأشعة X، وطاقة الفوتونات المتشتتة أقل من طاقة الفوتونات غير المتشتتة. م 1 **بصري-مكاني**

مناقشة

سؤال هل تشبه الطبيعة النظرية للضوء حقيقة حدوث المد والجزر؟

الإجابة نعم، لان المد والجزر لا يحدثان في الوقت والمكان نفسيهما.

3. التقويم

التحقّق من الفهم

ظاهرة التأثير الكهروضوئي اسأل الطلبة الأسئلة التالية: إذا شع مصدر ضوئي أحادي التردد على سطح حساس للضوء، فإنه يولّد تيارًا من الإلكترونات المنبعثة، ماذا يحدث للتيار إذا ازدادت شدة المصدر الضوئي؟ يزداد التيار أيضًا. إذا نقص تردد الضوء الذي يشع على السطح، ماذا يحدث للتيار؟ سيقل. وعند تردد معين، يسمى تردد العتبة، فإن التيار الضوئي ينخفض إلى الصفر بشكل مفاجئ. م2

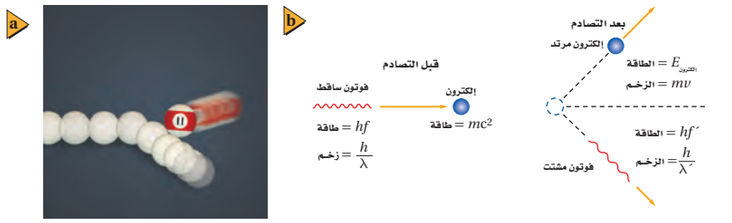
إعادة التدريس

حفظ الطاقة ذكّر الطلبة بأن الطاقة محفوظة في التأثير الكهروضوئي، واكتب العبارة التالية: الطاقة الداخلة تساوي الطاقة الناتجة. أشر إلى أن الطاقة الداخلة هي طاقة الفوتون hf. ثم اطلب الى الطلبة تحديد الطاقة الناتجة. الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون (اقتران الشغل، hf_0) والطاقة الحركية للإلكترون المتحرر KE.

$$E_{\text{داخلة}} = E_{\text{ناتجة}}$$

$$hf = hf_0 + KE$$

م1 **لغوي**



الشكل 8–1 تصادم كرتي بلياردو (a) يشبه تمامًا ما يحدث عند اصطدام فوتون بإلكترون؛ حيث إن الطاقة والزخم اللذين يكتسبهما الإلكترون يساويان الطاقة والزخم اللذين يفقدهما الفوتون (b).

في تجارب لاحقة، لاحظ كومبتون تحرر إلكترونات من حاجز الجرافيت خلال إجراء التجربة. فاقترح أن فوتونات أشعة X اصطدمت بالإلكترونات الموجودة في هدف الجرافيت، ونقلت الطاقة والزخم إليها. اعتقد كومبتون أن تصادمات الفوتون– إلكترون هذه مشابهة تمامًا للتصادمات المرنة في كرات البلياردو، كما هو موضح في **الشكل 8–1**. واختبر هذه الفكرة من خلال قياس طاقة الإلكترونات المتحررة، ووجد كومبتون، أن الطاقة والزخم اللذين تكتسبها الإلكترونات يساويان الطاقة والزخم اللذين تفقدهما الفوتونات، لذا فإن الفوتونات تحقق قانوني حفظ الزخم والطاقة عندما تصطدم بجسيمات أخرى.

1–1 مراجعة

8. **التأثير الكهروضوئي** لماذا يكون الضوء ذو الشدة العالية والتردد المنخفض غير قادر على تحرير إلكترونات من فلز، في حين أن الضوء ذا الشدة المنخفضة والتردد العالي يستطيع ذلك؟ فسّر إجابتك.
9. **تردد إشعاع الجسم الساخن وطاقته** كيف يتغير تردد الإشعاع المقابل لأعلى شدة عندما ترتفع درجة حرارة الجسم؟ وكيف تتغير الكمية الكلية للطاقة المنبعثة؟
10. **التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون** سلّط عالمٌ أشعةَ X على هدف، فانطلق إلكترون من الهدف دون أن ينبعث أي إشعاع آخر. وضّح ما إذا كان هذا الحدث ناتجًا عن التأثير الكهروضوئي، أم عن تأثير كومبتون.
11. **التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون** ميّز بين التأثير الكهروضوئي، وتأثير كومبتون.
12. **التأثير الكهروضوئي** اصطدم ضوء أخضر λ=532 nm بفلز ما، فحرر إلكترونات منه. إذا تم إيقاف هذه الإلكترونات باستخدام فرق جهد 1.44 V، فما مقدار اقتران الشغل للفلز بوحدة eV؟
13. **طاقة فوتون** تنبعث فوتونات طولها الموجي 650 nm من مؤشر ليزر. ما مقدار طاقة هذه الفوتونات بوحدة eV؟
14. **التأثير الكهروضوئي** امتُصّت أشعة X في عظم، وحررت إلكترونًا. إذا كان الطول الموجي لأشعة X 0.02 nm تقريبًا، فاحسب طاقة الإلكترون بوحدة eV.
15. **تأثير كومبتون** أُسقطت أشعة X على عظم، فاصطدمت بإلكترون فيه وتشتت. كيف تقارن بين الطول الموجي لأشعة X المشتتة، والطول الموجي لأشعة X الساقطة؟
16. **التفكير الناقد** تخيل أن تصادم كرتَيْ بلياردو ينمذج التفاعل الذي يحدث بين فوتون وإلكترون خلال تأثير كومبتون. افترض أن بروتونًا– وكتلته أكبر كثيرًا من كتلة الإلكترون– وُضع بدلاً من الإلكترون، فهل تكون الطاقة التي يكتسبها البروتون نتيجة التصادم مساوية لتلك التي يكتسبها الإلكترون؟ وهل تكون الطاقة التي يفقدها الفوتون مساوية لتلك التي يفقدها عندما يتصادم بالإلكترون؟

1-1 مراجعة

8. ترتبط الطاقة مباشرة مع التردد، لا يمتلك الضوء ذو التردد المنخفض طاقة كافية لتحرير إلكترون، بينما الضوء ذو التردد العالي يستطيع تحقيق ذلك.
9. إن كل من تردد قمة الشدة والطاقة الكلية المنبعثة تزداد. تزداد قمة الشدة بدلالة T، بينما تزداد الطاقة الكلية بدلالة T^4.
10. إنها نتيجة التأثير الكهروضوئي، وهي عبارة عن التقاط فوتون بوساطة إلكترون في المادة، وانتقال طاقة الفوتون إلى الإلكترون.
11. تأثير كومبتون عبارة عن تشتت الفوتون بوساطة المادة، والناتج فوتون بطاقة قليلة وبزخم قليل أيضًا. التأثير الكهروضوئي عبارة عن انبعاث الإلكترونات من الفلز عندما يسقط عليه إشعاع ذو طاقة كافية.
12. 0.89 eV
13. 1.9 eV
14. 6×10^4 eV
15. أشعة X المتشتتة لها طول موجة كبير من الاشعة الساقطة.
16. إن الإجابة على السؤالين هي لا، تستطيع كرة التنس نقل طاقة حركية أكثر للكرة اللينة أكثر من الطاقة التي تنقلها لكرة البولينغ.

1-2 موجات المادة

1. التركيز

نشاط محفّز

خصائص الموجات اطلب الى الطلبة عنونة ثلاثة أعمدة: خصائص الجسيمات، وخصائص الموجات، وخصائص جسيمية للموجات. ثم كتابة أمثلة تحت كل عنوان. وبعد مناقشة قوائم الأمثلة، أشر إلى أن العمود الثالث يتضمن تصنيف آخر يعتمد على العمودين الأول والثاني: خصائص موجية للجسيمات. وأخبر الطلبة بأن هذا الجزء من الفصل يهتم بهذه الخصائص.

م1 لغوي

الربط مع المعرفة السابقة

الحيود– دليل السلوك الموجي درس الطلبة عن العلاقة بين الحيود والطول الموجي، والعلاقة بين الطول الموجي وزخم الفوتونات. سيستخدم الطلبة هذه المعرفة للتحقق من نتائج حيود الجسيمات.

2. التدريس

التفكير الناقد

التداخل اسأل الطلبة لماذا سيكون من الصعب مشاهدة أنماط تداخل الشق المفرد لكرات السلة. يجب أن يكون عرض الشق في المدى 10^{-34}–10^{-32} m، والذي هو أصغر بكثير جدًا جدًا (أصغر من 10^{31}–10^{33} مرة تقريبًا) من قطر كرة السلة. م3

تطوير المفهوم

الطاقة والزخم وضح للطلبة أن كلًّا من الجسيمات والموجات الكهرومغناطيسية يمكن أن تمتلك طاقة وزخمًا. فبالنسبة للجسيمات، فإن كلًّا منهما مرتبط بالكتلة، أما في الموجات، فإن كلًّا منهما مرتبط بالمجال الكهرومغناطيسي.

استخدام الشكل 9–1

وضّح أن هذا النمط من التداخل الثنائي الأبعاد للإلكترون، ينتج لأن ترتيب الذرات في البلّورة يشبه حيود المحزوز ثلاثي الأبعاد.

الأهداف
- **تصف** دليلًا على الطبيعة الموجية للمادة.
- **تطبق** معادلة دي برولي في حل مسائل عددية.
- **تصف** الطبيعة المزدوجة للموجات والجسيمات، وأهمية مبدأ عدم التحديد.

المفردات
طول موجة دي برولي
مبدأ عدم التحديد

لقد أظهر كل من التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون، أن للموجات الكهرومغناطيسية العديمة الكتلة زخمًا وطاقة كالجسيمات. وإذا كان للموجات الكهرومغناطيسية خصائص جسيمية، فهل يمكن للجسيمات أن تسلك سلوك الموجات، وذلك بأن تظهر التداخل والحيود؟ وبعبارة أخرى: هل للجسيمات خصائص موجية؟ توقع العالم دي برولي عام 1923م، أن للجسيمات المادية خصائص موجية. وكان هذا التوقع غير عادي، وقد قوبل بالرفض من علماء آخرين حينها، حتى قرأ أينشتاين أبحاث دي برولي العلمية وأيده في ذلك.

موجات دي برولي De Broglie Waves

تذكر أن زخم الجسم الخطي يساوي كتلته مضروبة في سرعته $p = mv$، وقياسًا على زخم الفوتون $p = h/\lambda$ ، توقع دي برولي أن زخم الجسيم يعبر عنه بالمعادلة التالية:

$$p = mv = \frac{h}{\lambda}$$

يمثل الطول الموجي λ في العلاقة أعلاه الطول الموجي المصاحب للجسيم المتحرك، ويسمى **طول موجة دي برولي**. وتعطي المعادلة التالية طول موجة دي برولي مباشرة.

طول موجة دي برولي $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$

طول موجة دي برولي المصاحبة لجسيم متحرك تساوي حاصل قسمة ثابت بلانك على زخم الجسيم.

اعتمادًا على نظرية دي برولي، ينبغي أن تُظهر جسيمات مثل الإلكترونات والبروتونات خصائص موجية، إلا أنه لم يسبق أن لوحظ لها تأثيرات موجية مثل التداخل والحيود. لذا كان إنجاز دي برولي عظيمًا، رغم وجود شك كبير في نظريته. وفي عام 1927م أجريت تجربتان مستقلتان أثبتت نتائجهما أن الإلكترونات تحيد تمامًا كالضوء. ففي إحدى التجربتين سلّط العالم الإنجليزي جورج تومسون حزمة من الإلكترونات على بلورة رقيقة جدًّا؛ وذلك لأن ذرات البلورات مرتبة بنمط منتظم يجعلها تعمل عمل محزوز حيود. وكوّنت الإلكترونات حيودًا بالأنماط نفسها، التي تكوّنها أشعة X التي لها الطول الموجي نفسه. ويوضح **الشكل 9–1** النمط الذي يكوّنه حيود الإلكترونات. وفي الولايات المتحدة الأمريكية أجرى كلينتون دافيسون، ولاستر جيرمر تجربة مشابهة، مستخدمين إلكترونات منعكسة عن بلورات سميكة. ولقد أثبتت التجربتان أن للجسيمات المادية خصائص موجية.

إن الطبيعة الموجية للأجسام التي تراها، وتتعامل معها يوميًّا، لا يمكن ملاحظتها، لأن أطوالها الموجية قصيرة جدًّا. فمثلاً، عند دراسة طول موجة دي برولي المصاحبة لكرة قدم كتلتها 0.145 kg، وسرعتها 38 m/s، نجد أن طولها الموجي:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{J.s}}{(0.145\ \text{kg})(38\ \text{m/s})} = 1.2 \times 10^{-34}\ \text{m}$$

وكما يلاحظ، فإن هذا الطول الموجي أصغر كثيرًا من أن يكون له تأثيرات ملاحظة. لكن كما سترى في المثال التالي، للجسيمات الصغيرة جدًّا – كالإلكترون مثلاً – فإن الطول الموجي يمكن ملاحظته وقياسه.

الشكل 9–1 تُظهر أنماط حيود الإلكترونات – كهذا النمط الخاص ببلورة زركونيوم مكعبة – الخصائص الموجية للجسيمات.

تعزيز الفهم

دليل السلوك الموجي اسأل الطلبة ما تفاعل الموجات الذي يسبب نمط الحلقات المضيئة والمعتمة في الشكل 9–1. التداخل. م2 **بصري مكاني**

مثال صفي

سؤال ما هو طول موجة دي برولي (بوحدة النانوميتر) لإلكترون يتسارع خلال فرق جهد مقداره 0.90 V؟

الجواب

$$\frac{1}{2}mv^2 = -qV$$
$$\frac{1}{2}(9.11 \times 10^{-31}\ \text{kg})(v^2)$$
$$= (1.60\times10^{-19}\ \text{C})(0.90\ \text{V})$$
$$v = 5.6 \times 10^{5}\ \text{m/s}$$
$$p = mv$$
$$= (9.11 \times 10^{-31}\ \text{kg})(5.6 \times 10^{5}\ \text{m/s})$$
$$p = 5.1 \times 10^{-25}\ \text{kg·m/s}$$
$$\lambda = \frac{h}{p}$$
$$= 6.63 \times 10^{-34}\ \text{J·s}/5.1\times 10^{-25}\ \text{kg·m/s}$$
$$\lambda = 1.3 \times 10^{-9}\ \text{m} = 1.3\ \text{nm}$$

مسائل تدريبية

17. a. 1.1×10^{-35} m

b. الطول الموجي قصير جدًّا لإحداث تأثيرات يمكن مشاهدتها.

18. 96.5 V

19. 4.2×10^{-2} eV

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

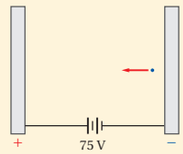
الموجة والجسيم اسأل الطلبة فيما إن كان صحيحًا القول: إن إلكترون جسيم تحت بعض الظروف، وموجة تحت ظروف أخرى. لا. يجب اعتبار الخصائص الجسيمية والموجية معًا، ومجرد ظروف معينة هي التي تُظهر إحدى الخاصيتين أكثر من الأخرى.

مثـــال 3

طول موجة دي برولي إذا تسارع إلكترون خلال فرق جهد 75 V، فما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة له؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ضمّن رسمك اللوحين الموجب والسالب.



المعلوم	المجهول
$V = 75\ \text{V}$ $m = 9.11\times10^{-31}\ \text{kg}$	$\lambda = ?$
$h = 6.63\times10^{-34}\ \text{J.s}$	
$q = -1.6\times10^{-19}\ \text{C}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

اكتب علاقتين لطاقة حركة الإلكترون؛ الأولى بدلالة فرق الجهد، والأخرى بدلالة الحركة، واستخدمهما لحساب سرعة الإلكترون.

$\text{KE} = -qV$ ،$\text{KE} = \frac{1}{2}mv^2$

ساوِ بين علاقتي الطاقة الحركية KE.

$\frac{1}{2}mv^2 = -qV$

حل بالنسبة إلى المتغير v

$v = \sqrt{\frac{-2qV}{m}}$

بالتعويض عن $m = 9.11\times10^{-31}\ \text{kg}$
$q = -1.60\times10^{-19}\ \text{C}$ ،$V = 75\ \text{V}$

$= \sqrt{\frac{-2(-1.60\times10^{-19}\ \text{C})(75\ \text{V})}{(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})}}$

$= 5.1\times10^{6}\ \text{m/s}$

حل بالنسبة إلى الزخم

$p = mv$

بالتعويض عن $m = 9.11\times10^{-34}\ \text{kg}$
$v = 5.1\times10^{6}\ \text{m/s}$

$= (9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(5.1\times10^{6}\ \text{m/s})$

$= 4.6\times10^{-24}\ \text{kg.m/s}$

حل بالنسبة إلى طول موجة دي برولي

$\lambda = \frac{h}{p}$

بالتعويض عن $h = 6.63\times10^{-34}\ \text{J.s}$
$p = 4.6\times10^{-24}\ \text{kg. m/s}$

$= \frac{6.63\times10^{-34}\ \text{J.s}}{4.6\times10^{-24}\ \text{kg.m/s}}$

$= 1.4\times10^{-10}\ \text{m} = 0.14\ \text{nm}$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** التحليل البعدي للوحدات يثبت أن وحدة m/s للسرعة v، ووحدة nm للطول الموجي λ.
- **هل للإشارات معنى؟** القيم الموجبة متوقعة لكل من v و λ.
- **هل الجواب منطقي؟** الطول الموجي قريب من 0.1 nm، والذي يقع في منطقة الطول الموجي لأشعة X في الطيف الكهرومغناطيسي.

مسائل تدريبية

17. تتدحرج كرة بولنج كتلتها 7.0 kg بسرعة 8.5 m/s، أجب عما يلي:
a. ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للكرة؟ **b.** لماذا لا تُظهر كرة البولنج سلوك موجي ملاحظ؟

18. ما مقدار فرق الجهد اللازم لمسارعة إلكترون بحيث يكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 0.125 nm؟

19. طول موجة دي برولي للإلكترون في المثال 3 يساوي 0.14 nm، ما مقدار الطاقة الحركية بوحدة eV لبروتون ($m = 1.67\times10^{-27}\ \text{kg}$) إذا كان له الطول الموجي نفسه؟

22

طرائق تدريس متنوعة

نشاط

ضعاف السمع لتوضيح مبدأ عدم التحديد، اطلب الى الطلبة ضعاف السمع محاولة تحديد مواقع لأجسام مختلفة صغيرة، وخفيفة الوزن وغير قابلة للكسر، وذلك بدحرجة كرة مطاطية على سطح الأرض باتجاهها. عندما تصطدم الكرة بجسم وتدفعه بعيدًا عن موقعها السابق، اسأل الطلبة ماالذي كشفه تفاعل الكرة والجسم بالنسبة لموقع الجسم. إنه يكشف أين كان موقع الجسم قبل التأثير عليه، وليس أين هو الآن. فسّر التماثل التالي: عند محاولة تحديد موقع جسيم ذري بدقة باستخدام الضوء، فإن تفاعل الجسيم مع فوتون نشط يسبب عدم تحديد في قياس آخر للجسم، وهو زخمه. م2 **حركي**

تطوير المفهوم

مبدأ عدم التحديد في القياسات مبدأ عدم التحديد لهيزنبرغ الذي حصل من خلاله على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1932م ينص على أن حاصل ضرب الخطأ في قياس أزواج معينة من الكميات الفيزيائية كالزخم والموقع، أو الطاقة والزمن، يساوي تقريبًا ثابت بلانك.

3. التقويم

التحقق من الفهم

موجات المادة اسأل الطلبة لماذا لا نرى أمثلةً على السلوك الشبيه بالسلوك الموجي للأجسام التي نتعامل معها يوميًا. لأن أطوال موجة دي برولي لتلك الأجسام صغيرةً جدًّا، بحيث لا يمكن كشف تأثيرها على سلوك المادة. م 2

التوسع

عدم التحديد اقترح على الطلبة الرجوع إلى كتاب مبدأ عدم التحديد أو أي موقع إلكتروني يبحث في الموضوع لدراسة عدم التحديد وشخصيات وتاريخ من درسه.

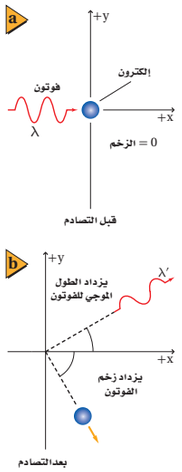
م 1 **بصري–مكاني**

الجسيمات والموجات Particles and Waves

هل الضوء جسيم أم موجة؟ تشير الدلائل إلى أن كلًّا من النموذج الجسيمي، والنموذج الموجي يلزمان لتفسير سلوك الضوء. وقد قادت نظرية الكم والطبيعة المزدوجة للإشعاع الكهرومغناطيسي إلى مبادئ علمية وتطبيقات رائعة، ومنها المجهر النفقي الماسح (STM).

تحديد الموقع والزخم وفقًا للنموذج الجسيمي فإنه عند تحديد موقع جسيم وسرعته في لحظة زمنية معينة، فلابد من وجود أخطاء تجريبية، تُعزى إلى أدوات القياس أو الشخص الذي يقيس، ويمكن تقليل هذه الأخطاء إلى درجة تكون فيها هذه القياسات دقيقة. ولكن حسب نظرية الكم فإنه لتحديد موقع الجسيم فإننا نسلط ضوءًا عليه ثم تجمع الضوء المنعكس عنه، إلا أنه بسبب تأثيرات الحيود، فإن الضوء ينتشر؛ مما يجعل من المستحيل تحديد موقعه بدقة، ولكن استخدام ضوء ذي طول موجي أقصر، يقلل من تأثيرات الحيود ويسمح بتحديد موقع الجسيم بدقة أكبر، إلا أنه في الوقت نفسه يزداد الخطأ في تحديد زخم الجسيم.

مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج من نتائج تأثير كومبتون أنه عندما يصطدم إشعاع طوله الموجي قصير، وطاقته عالية بجسيم، فإن زخم الجسيم يتغير، كما في **الشكل 10–1**. وبناء على ذلك، يؤثر تحديد موقع الجسيم بدقة في تغير زخمه. وكلما زادت الدقة في تحديد موقع جسيم زاد عدم التحديد في قياس زخمه. وبالطريقة نفسها إذا تم قياس زخم الجسيم بدقة، فإن موقعه يتغير ويصبح أقل تحديدًا. لُخِّصت هذه الحالة في **مبدأ عدم التحديد**، والذي ينص على أنه من غير الممكن قياس زخم جسيم وتحديد موقعه بدقة في الوقت نفسه. إن هذا المبدأ – والذي سمّي باسم الفيزيائي الألماني فيرنر هيزنبرج – هو نتيجة للطبيعة المزدوجة للضوء والمادة. ويخبرنا مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج أن هناك حدًّا للدقة في قياس الموقع والزخم.



الشكل 10–1 يمكن أن يرى الجسيم فقط عندما يتشتت الضوء عنه. لذا فإن الإلكترون يبقى غير محدد (a) حتى يصطدم به فوتون (b). يُشتت التصادم كلًا من الفوتون، والإلكترون ويغير من زخميهما.

1–2 مراجعة

20. **الخصائص الموجية** صف التجربة التي أثبتت أن للجسيمات خصائص موجية.
21. **الطبيعة الموجية** فسّر لماذا لا تظهر الطبيعة الموجية للمادة؟
22. **طول موجة دي برولي** ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون يتسارع خلال فرق جهد 125 V؟
23. **الأطوال الموجية للمادة والإشعاع** عندما يصطدم إلكترون بجسيم ثقيل، فإن سرعة الإلكترون، وطول موجته يتناقصان. بناء على ذلك، كيف يمكن زيادة الطول الموجي لفوتون؟
24. **مبدأ عدم التحديد** عندما يمر ضوء أو حزمة من ذرات خلال شق مزدوج، فإنه يتكون نمط تداخل. وتحدث كلتا النتيجتين حتى عندما تمر الذرات أو الفوتونات خلال الشقين في الوقت نفسه. كيف يفسر مبدأ عدم التحديد ذلك؟
25. **التفكير الناقد** ابتكر الفيزيائيون مؤخرًا محزوز حيود للموجات الضوئية الموقوفة (المستقرة). وتكوّن الذرات التي تمر خلال المحزوز نمط تداخل. إذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقوق $\frac{1}{2}\lambda$ (250 nm تقريبًا)، فما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للذرات تقريبًا؟

1-2 مراجعة

20. عندما تسقط حزمة من الإلكترونات على قطعة من الكريستال، فإن الكريستال يعمل كمحزوز حيود. بحيث يجعل الإلكترونات تشكل نمط حيود. إن حيود الإلكترونات (الجسيمات) يشبه حيود الضوء (الموجات) خلال المحزوز.
21. الأطوال الموجية لمعظم الأجسام أصغر جدًّا من أن يتم الكشف عنها.
22. 0.110 nm
23. إذا كان الفوتون يخضع لتشتت كومبتون مع هدف ثابت، فإن الطول الموجي للفوتون سيزداد.
24. إذا استطعت تحديد الموقع الدقيق لفوتون أو ذرة عندما تعبر خلال الشق، فإنك لن تستطيع معرفة زخمه بدقة. لذلك، فإنك لن تكون متأكدًا أي من الشقوق قد عبرت من خلالها الحزمة، والناتجة عن توزيع الفوتونات أو الذرات التي يمكن مشاهدته في نمط التداخل.
25. لمحزوز الحيود، فإن $\lambda = d \sin\theta$ حيث تمثل d البعد بين الشقوق وθ الفصل الزاوي بين القمم المتتالية. لذلك فإن طول موجة دي برولي $\lambda = (250\text{ nm}) \sin\theta$. إذا اعتبرنا أن $\sin\theta$ يساوي 0.1 تقريبًا، فإن طول موجة دي برولي تساوي بضع العشرات من النانومتر.

الزمن المقدر حصة مختبر واحدة. (حصتي مختبر إذا طُبقت كتجربة استقصاء بديلة).

المهارات العملية الملاحظة، والاستنتاج، والمقارنة، وتفسير البيانات، والتنبؤ.

احتياطات السلامة تأكد من أن الطلبة يستخدمون القفازات، والنظارات الواقية ومعطف المختبر.

المواد والأدوات البديلة يمكن أن تستخدم الكرات الرخامية بدلاً من الكرات الفولاذية.

استراتيجيات التدريس

- **ذكّر الطلبة بألا يدفعوا الكرة إلى أسفل المسار.**
- **اطلب إلى الطلبة بأن يناقشوا محددات هذا النموذج، فمثلاً، يمثل النموذج إلكترونات التكافؤ لذرة مفردة، بدلاً من إلكترونات التوصيل في الفلزات والتي تتحرك بحرية في الفلز.**

التحليل

1. أخضر، أزرق، بنفسجي.
2. لا، حتى البنفسجي يحرر إلكترون واحد فقط.
3. تحت الحمراء.
4. فوق البنفسجي.
5. لا، حيث يتضمن الضوء المرئي أجزاء صغيرة جدًّا فقط من الطيف الكهرومغناطيسي. الضوء ذو التردد العالي، مثل الضوء فوق البنفسجي يستطيع تحرير إلكترون من المواد ولذلك يجب أخذه بعين الاعتبار.
6. تتناسب طاقة فوتونات الضوء تحت الحمراء، والمرئي، وفوق البنفسجي طرديًا مع تردد الضوء. فكلما ازداد التردد تزداد بالمقابل طاقة الفوتونات. الفوتونات عالية الطاقة لها أكثر احتمالية بان تحرر إلكترونات ضوئية.

مختبر الفيزياء

نمذجة التأثير الكهروضوئي Madeling the Photoelectric Effect

تعرف عملية انبعاث الإلكترونات من جسم عندما يسقط إشعاع كهرومغناطيسي عليه بالتأثير الكهروضوئي. وتتحرر الإلكترونات من الجسم فقط عندما يكون تردد الإشعاع أكبر من أو يساوي قيمة محددة تسمى تردد العتبة. ستنمذج في هذا الاستقصاء التأثير الكهروضوئي، باستعمال كرات فولاذية. وسوف تختبر لماذا تحرر أنواعٌ محددة فقط من الإشعاع الكهرومغناطيسي إلكترونات ضوئية.

سؤال التجربة

كيف يمكن استعمال كرات فولاذية لنمذجة التأثير الكهروضوئي؟

الأهداف

- **تصمم نموذجًا** لاستقصاء التأثير الكهروضوئي.
- **تصف** كيف ترتبط طاقة الفوتون مع تردده.
- **تستخدم التفسيرات العلمية** لتفسير لماذا لا تستطيع الظواهر الجاهرية (الماكروسكوبية) تفسير السلوك الكمي للذرة.

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

ثلاث كرات فولاذية، ومجرى أو مسار فيه أخدود (قناة على شكل حرف U)، وكتب، وأقلام تخطيط حمراء، وبرتقالية، وصفراء، وخضراء، وزرقاء، وبنفسجية (أو لاصقات ملّونة)، ومسطرة مترية.

الخطوات

1. شكّل المجرى أو القناة كما هو موضح في الصورة، واستعمل عدة كتب لدعمها كما هو موضح. تأكد أن الكتب لا تغلق نهايتي المجرى.
2. اكتب الحرف R باستعمال قلم التخطيط الأحمر على القناة على ارتفاع 4 cm، فوق الطاولة كما هو موضح. تمثل R الأحمر.
3. اكتب الحرف V باستعمال قلم التخطيط البنفسجي على القناة على ارتفاع 14 cm، فوق الطاولة كما هو موضح. يمثل V البنفسجي. استعمل أقلام التخطيط الملوّنة الأخرى لوضع علامات للأزرق B، وللأخضر G، وللأصفر Y، وللبرتقالي O على مسافات متساوية بين العلامتين R و V، كما هو موضح في الصورة
4. ضع كرتين فولاذيتين عند أخفض نقطة على القناة. تمثل هاتان الكرتان إلكتروني التكافؤ للذرة.
5. أمسك كرة فولاذية، وضعها عند الموقع R على القناة. تمثل هذه الكرة الفوتون الساقط للضوء الأحمر. لاحظ أن طاقة فوتون الضوء الأحمر أقل من طاقة ألوان الضوء الأخرى التي تم نمذجتها.

24

عيّنة بيانات

اللون أو طاقة الفوتون	ملاحظات
أحمر	تتحرك كرة واحدة، لكنها لا تغادر المسار
برتقالي	تتحرك كرة واحدة، لكنها لا تغادرالمسار
أصفر	تتحرك كرة واحدة، لكنها لا تغادر المسار
أخضر	كرة واحدة تغادر المسار، ولكن الكرة الأخرى تبقى على المسار
أزرق	كرة واحدة تغادر المسار، ولكن الكرة الأخرى تبقى على المسار
بنفسجي	كرة واحدة تغادر المسار، ولكن الكرة الأخرى تبقى على المسار
أقل من الأحمر	كرة واحدة تتحرك قليلاً، ولكنها لا تغادر المسار
أعلى من البنفسجي	كرة واحدة تغادر المسار، ولكن الكرة الأخرى تبقى على المسار

جدول البيانات	
لون أو طاقة الفوتون	ملاحظات
أحمر	
برتقالي	
أصفر	
أخضر	
أزرق	
بنفسجي	
أقل من الأحمر	
أكبر من البنفسجي	

6. أفلت الكرة الفولاذية (الفوتون)، ولاحظ ما إذا كان لها طاقة كافية لتحرير إلكترون تكافؤ من الذرة؛ أي راقب ما إذا أفلتت أيًّا من الكرتين من القناة. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.
7. أزل الكرة الفولاذية التي تمثل الفوتون الساقط من الجزء السفلي من القناة. وأعد الكرتين الفولاذيتين اللتين استعملتها لتمثيل إلكترونات التكافؤ إلى مكانيهما (أخفض نقطة على القناة).
8. كرّر الخطوات 5–7 لكل لون من الألوان التي حددتها على القناة. تأكد دائمًا عندما تكرر الخطوات أن تكون الكرتان الفولاذيتان عند أخفض نقطة على القناة. لاحظ أن طاقة فوتون الضوء البنفسجي أكبر من طاقة ألوان الضوء الأخرى التي تم نمذجتها. سجّل مشاهدات في جدول البيانات.
9. كرّر الخطوات 5 إلى 7، ولكن أفلت الكرة الفولاذية التي تمثل الفوتون الساقط من نقطة أخفض قليلاً من الموقع R. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.
10. كرّر الخطوات 5 إلى 7، ولكن أفلت الكرة الفولاذية التي تمثل الفوتون الساقط من نقطة أعلى قليلاً من الموقع V. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.
11. أجب عن السؤال 1 في بند الاستنتاج والتطبيق، ثم اختبر توقعك.
12. عندما تنتهي من تنفيذ التجربة أعد جميع المواد إلى الأماكن التي حددها لك معلمك.

التحليل

1. **فسّر البيانات** أي ألوان فوتونات الضوء حرّرت إلكترونًا واحدًا على الأقل في نموذجك؟
2. **فسّر البيانات** هل لأيّ من الفوتونات طاقة كافية لتحرير أكثر من إلكترون واحد؟ إذا كان كذلك فحدّد لون الفوتون.
3. **استخدم النماذج** في الخطوة 9، ما نوع الفوتون الذي تمثله الكرة الفولاذية؟
4. **استخدم النماذج** في الخطوة 10، ما نوع الفوتون الذي تمثله الكرة الفولاذية؟
5. **فسّر** هل فوتونات الضوء المرئي فقط هي التي تؤخذ بعين الاعتبار عند دراسة التأثير الكهروضوئي؟ لماذا؟
6. **لخّص** نص مشاهداتك بدلالة طاقة الفوتونات.

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** ماذا يحدث إذا اصطدم فوتونًا ضوء أحمر بإلكترونَيْ تكافؤ في اللحظة نفسها؟ اختبر توقعك.
2. **التفكير الناقد** تكون قوة ارتباط إلكترونات التكافؤ في ذرات بعض المواد أكبر من قوة ارتباطها في ذرات مواد أخرى. كيف يمكنك أن تُعدّل النموذج لبيان ذلك؟
3. **استخلص النتائج** في هذا النموذج، ماذا يحدث لطاقة الفوتون، عندما يصطدم بإلكترون، ولا يستطيع تحريره من الذرة؟

التوسع في البحث

استخدم الصيغة $E = hf$، حيث تمثل h ثابت بلانك، و f تردد الإشعاع الكهرومغناطيسي، لحساب طاقة فوتون الضوء الأحمر، قارنها بطاقة فوتون الضوء الأزرق.

الفيزياء في الحياة

يستخدم مصورو الفوتوجرافيا عادةً إضاءة حمراء في غرفهم المظلمة، فلماذا لا يستخدمون الضوء الأزرق؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات عن نظرية الكم ارجع إلى الموقع الالكتروني

www.obeikaneducation.com

25

الاستنتاج والتطبيق

1. يحرّك التصادم كلاً من الكرتين الفولاذيتين، ولكنهما يبقيان على المسار.
2. جد طريقة لربط الكرتين الفولاذيتين معًا برفق في النهاية السفلى للمسار، أو اجعل النهاية السفلى للمسار أكثر طولاً أو شديدة الانحدار.
3. تتحول الطاقة إلى حرارة تُسخِّن المادة.

التوسع في البحث

الأحمر:

$f = 4.5 \times 10^{14}\ \text{Hz}, E = hf = 3.0 \times 10^{-19}\ \text{J}$

الأزرق:

$f = 7.5 \times 10^{14}\ \text{Hz}, E = hf = 5.0 \times 10^{-19}\ \text{J}$

الفيزياء في الحياة

يستخدم المصورون الفوتوجرافيون الضوء الأحمر، لأن فوتونات الضوء الأحمر تمتلك طاقة قليلة، بحيث لا تسبب إحداث تفاعل كيميائي في الفيلم المعرض للضوء. أما فوتونات الضوء الأزرق فتمتلك طاقة أكبر من شأنها أن تُحدث تفاعل كيميائي في الفيلم.

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية اسأل الطلبة، كيف يمكنهم نمذجة التأثير الكهروضوئي. اطلب إليهم اختيار المواد الخاصة بهم، ويطوّروا خطوات عملية لإيجاد حلول للمسائل أعلاه. يجب أن يناقش الطلبة خطتهم واحتياطات السلامة الضرورية معك قبل البدء، واسمح لهم بحصة مختبر أخرى لإكمال التجربة.

الهدف

يتعلم الطلبة كيف يوظف المجهر النفقي الماسح الخصائص الكمية للإلكترونات

الخلفيّة النظرية

الإلكترون المرتبط بالذرة يكون مستقرًا، لأن طاقة وضعه تكون عند الحد الأدنى في مستواه. وبناءً على النموذج الجسيمي للإلكترون، فإن وجوده يكون مقتصرًا على هذه المنطقة من الفراغ، لأنه لا يمتلك الطاقة الكافية لينتقل إلى مستوى طاقة أعلى، أو أن يتحرر من الذرة. لذلك، فإن احتمالية وجود الإلكترون خارج مستواه تكون صفرًا.

بناءً على نموذج ميكانيكا الكم للإلكترون في الذرة، فإن المستوى هو منطقة فراغ تكون احتمالية وجود الإلكترون فيها كبيرة. وبرغم الاحتمالية القليلة لتواجد الإلكترون خارج مستواه إلا أنها موجودة. فعندما يبتعد رأس المجهر النفقي مسافة 1 nm تقريبًا عن سطح الذرات، فإنه يمكن للمجهر الكشف عن وجود الإلكترونات خلف هذه المستويات تمامًا.

التعليم البصري

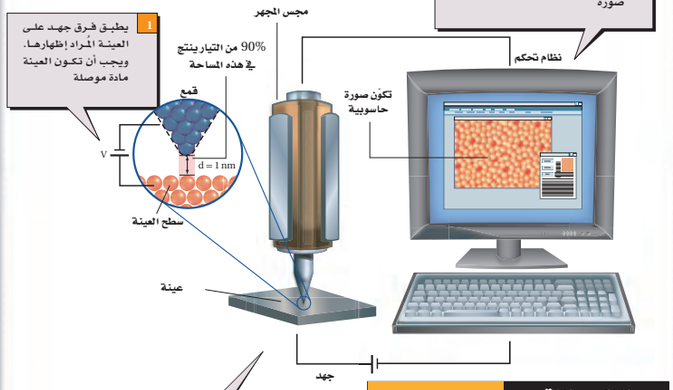
وفر خرائط طوبوجرافية للطلبة لتفحصها. اربط بين الخطوط الكنتورية في الخرائط الطوبوجرافية مع الخطوط الكنتورية الظاهرة في المجهر النفقي الماسح.

التوسع

اطلب الى الطلبة دراسة مبادئ وعمليات كل من مجهر النقل الإلكتروني ومجهر المسح إلكتروني والمقارنة بينهما وبين المجهر النفقي الماسح. سيكون من المفيد مقارنة الصور المتكونة باستخدام الأنواع الثلاثة المختلفة من أجهزة المجهر.

كيف يعمل
How it Works
المجهر النفقي الماسح؟
Scanning Tunneling Microscope?

اخترع العالمان جيرد بينج وهنرش روهرير عام 1981م المجهر النفقي الماسح (STM)، وحصلا بعد خمس سنوات على جائزة نوبل في الفيزياء. والمجهر النفقي الماسح قادر على تصوير سطوح المواد بقوة تمييز تصل إلى المستوى الذري. وقد مكّن هذا العلماء من تكوين صور للذرات، كصورة ذرات السيليكون الظاهرة على الشاشة أدناه. كيف يعمل STM؟



التفكير الناقد

1. **احسب** إذا كان التيار الكهربائي المتولد بين رأس المجس وسطح العينة 1.0×10^{-9} A، فما عدد الإلكترونات المتدفقة إلى رأس المجس خلال ثانية واحدة؟
2. **قوّم** تُعطى العلاقة بين التيار I والمسافة d بين رأس المجس والعينة في مجهر STM بالمعادلة $I = I_0 e^{-kd}$، حيث I_0 و k ثوابت. استخدم عينة قيم لتتحقق من أن التيار يتناقص عندما تزداد المسافة.
3. **صمم تجربة** ماذا تفعل إذا أردت استعمال مجهر STM لتدرس عينة غير موصلة؟

التفكير الناقد

1. $I = \frac{q}{t}$; $q = It = (1.0 \times 10^{-9}\ A)(1\ (C/s)/A)(1\ s) = 1 \times 10^{-9}\ C)$
   $(6.25 \times 10^{18}\ e^-/C)\ q = 6 \times 10^9\ e^-$
2. $I = I_0 e^{-kd} = \frac{I_0}{e^{kd}}$ بصورة عامة إذا كانت k و $I_0 > 0$ فإذا ازدادت d فإن e^{kd} تزداد؛ لذا فإن $\frac{I_0}{e^{kd}}$ تقل.
3. يؤين المادة.

الأفكار الرئيسة

يمكـن أن يسـتخدم الطلبـة العبـارات التلخيصيـة لمراجعة المفاهيم الرئيسة في الفصل.

قم بزيارة الموقع الإلكتروني التالي:
www.obeikaneducation.com

الفصل 1
دليل الدراسة

1–1 النموذج الجسيمي للموجات Aparticle Model of Waves

المفردات

- طيف انبعاث
- مكمّاة
- التأثير الكهروضوئي
- تردد العتبة
- جهد الإيقاف
- الفوتون
- اقتران الشغل
- تأثير كومبتون

الأفكار الرئيسة

- تبعث الأجسام التي تسخن لدرجة التوهج ضوءًا بسبب اهتزازات الجسيمات المشحونة الموجودة في ذراتها.
- يُغطي طيف الأجسام المتوهجة، مدًى واسعًا من الأطوال الموجية. ويعتمد الطيف على درجة حرارة الأجسام المتوهجة.
- فسّر العالم بلانك طيف الجسم المتوهج، مفترضًا أن للجسيمات مقادير محددة من الطاقة فقط، وهي تساوي مضاعفات ثابت بلانك.

$$E = nhf$$

- فسّر أينشتاين التأثير الكهروضوئي، مفترضًا أن الضوء موجود على شكل حزم من الطاقة تسمى الفوتونات.

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(1240\,\text{eV.nm})}{\lambda(\text{nm})}$$

- التأثير الكهروضوئي هو انبعاث إلكترونات من فلزات معينة، عندما تتعرض لإشعاع كهرومغناطيسي.

$$KE = hf - hf_o$$

- تمكن العلماء من حساب قيمة ثابت بلانك h اعتمادًا على التأثير الكهروضوئي.
- يقاس اقتران الشغل – والذي يكافئ طاقة ربط الإلكترون – باستخدام تردد العتبة في التأثير الكهروضوئي.
- يبيّن تأثير كومبتون أن للفوتون زخمًا كما توقع أينشتاين.

$$p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

- تتحرك الفوتونات بسرعة الضوء. ورغم أنه ليس لها كتلة إلا أن لها طاقة وزخمًا.

1–2 موجات المادة Matter Waves

المفردات

- طول موجة دي برولي
- مبدأ عدم التحديد

الأفكار الرئيسة

- اقترح العالم دي برولي الطبيعة الموجية للجسيمات المادية، وتم التحقق منها عمليًّا عن طريق حيود الإلكترونات خلال البلورات. ولكل الجسيمات المتحركة طول موجي، يعرف بطول موجة دي برولي.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

- تتكامل الطبيعتان الجسيمية والموجية معًا لوصف الطبيعة الكاملة لكل من المادة والطاقة.
- ينص مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج على أنه من غير الممكن تحديد موقع وزخم أي جسيم ضوئي أو مادي بدقة عالية في آن واحد.

التقويم

خريطة المفاهيم

26. انظر الصفحة المقابلة من كتاب الطالب والمتضمنة في هذا الدليل.

إتقان المفاهيم

27. يصبح الضوء أكثر احمرارًا.

28. تكمية الطاقة تعني أن الطاقة يمكن أن تتواجد على شكل مضاعفات صحيحة لكمية ما.

29. إن الطاقة الاهتزازية للذرات المتوهجة مكمّاة.

30. الفوتون.

31. كل فوتون يحرر إلكترون ضوئي. الضوء ذو الشدة العالية يحتوي على فوتونات أكثر لكل ثانية؛ وبالتالي يتسبب بتحرير عدد إلكترونات ضوئية أكثر لكل ثانية.

32. الفوتونات ذات التردد الأقل من تردد العتبة لا تمتلك طاقة كافية لتحرير إلكترون. إذا ازدادت شدة الضوء. فإن عدد الفوتونات يزداد، ولكن طاقتها لا تزداد، وتبقى الفوتونات غير قادرة على تحرير إلكترون.

33. فوتونات الضوء الأحمر لا تمتلك طاقة كافية لإحداث تفاعل كيميائي للفيلم الذي يتعرض له.

34. تنقل التصادمات المرنة كل من الزخم والطاقة، فقط إذا كانت الفوتونات تمتلك زخمًا يمكنها من تحقيق المعادلات.

35. لا. لأن استخدام هذه المعادلة تجعل زخم الفوتون صفرًا لأن الفوتونات مهملة الكتلة. وهذه النتيجة غير صحيحة لان الفوتونات مهملة الكتلة زخمها ليس صفرًا.

36. a. وازن بين قوة الجذب مع قوة المجال الكهربائي المؤثرتان في الشحنة.

b. وازن بين قوة المجال الكهربائي مع قوة المجال المغناطيسي لإيجاد m/q، وبعد ذلك استخدم قيمة q المقاسة.

c. شتت الإلكترونات عن سطح الكريستال وقم بقياس زوايا الحيود.

الفصل 1
التقويم

خريطة المفاهيم

26. أكمل خريطة المفاهيم أدناه، باستخدام المصطلحات التالية: *الطبيعة المزدوجة، الكتلة، الخصائص الموجية، الزخم، الحيود.*

إتقان المفاهيم

27. الضوء المتوهج يضبط مصباح كهربائي متوهج باستخدام مفتاح تحكم. ماذا يحدث للون الضوء الصادر عن المصباح عند إدارة مفتاح التحكم إلى أقل قراءة؟

28. وضّح مفهوم تكمية الطاقة.

29. ما الذي تم تكميته في تفسير ماكس بلانك لإشعاع الأجسام المتوهجة؟

30. ماذا تسمى كمّات الضوء؟

31. سُلّط ضوء على مهبط خلية ضوئية، وكان تردد الضوء أكبر من تردد العتبة لفلز المهبط. كيف تفسر نظرية أينشتاين للتأثير الكهروضوئي حقيقة زيادة تيار الإلكترونات الضوئية كلما زادت شدة الضوء؟

32. وضح كيف فسّرت نظرية أينشتاين حقيقة أن الضوء الذي تردده أقل من تردد العتبة لفلز لا يحرر إلكترونات ضوئية منه، بغض النظر عن شدة الضوء؟

33. الفيلم الفوتوجرافي لأن أنواعًا معينة من أفلام الأبيض والأسود ليست حساسة للضوء الأحمر، فإنه يمكن تحميضها في غرفة مظلمة مضاءة بضوء أحمر. فسّر ذلك بناءً على نظرية الفوتون للضوء.

34. كيف أظهر تأثير كومبتون أن للفوتونات زخمًا، كما أن لها طاقة؟

35. الزخم p لجسيم مادي يعطى بالمعادلة $p = mv$ هل تستطيع حساب زخم فوتون مستخدمًا المعادلة نفسها؟ وضح إجابتك.

36. وضح كيف يمكن قياس الخصائص التالية للإلكترون:

a. الشحنة **b.** الكتلة **c.** الطول الموجي

37. وضح كيف يمكن قياس الخصائص التالية للفوتون:

a. الطاقة **b.** الزخم **c.** الطول الموجي .

تطبيق المفاهيم

38. استخدم طيف الانبعاث لجسم متوهج عند ثلاث درجات حرارة مختلفة كما في **الشكل 1–1** وأجب عن الأسئلة الآتية:

a. عند أي طول موجي تكون شدة الانبعاث أكبر ما يكون لكل من درجات الحرارة؟

b. ماذا تستنتج عن العلاقة بين التردد الذي تكون عنده شدة الإشعاع المنبعث أكبر ما يمكن، وبين درجة حرارة الجسم المتوهج؟

39. وضع قضيبان من الحديد في النار، فتوهج أحدهما باللون الأحمر الداكن، بينما توهج الآخر باللون البرتقالي الساطع. أي القضيبين:

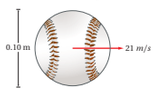
a. أكثر سخونة؟ **b.** يشع طاقة أكبر؟

40. هل يحرر ضوء تردده كبير عددًا أكبر من الإلكترونات من سطح حساس للضوء مقارنة بضوء تردده أقل، مع افتراض أن كلا الترددين أكبر من تردد العتبة؟

41. تنبعث إلكترونات ضوئية من البوتاسيوم عندما يسقط عليه ضوء أزرق، في حين تنبعث إلكترونات ضوئية من التنجستن عندما يسقط عليه أشعة فوق بنفسجية. أي الفلزين:

a. له تردد عتبة أكبر؟ **b.** له اقتران شغل أكبر؟

42. قارن طول موجة دي برولي المصاحبة لكرة البيسبول، الموضحة في **الشكل 11–1** بقطر الكرة.



الشكل 11–1

37. a. قس الطاقة الحركية KE للإلكترونات المتحررة من الفلز بطولين موجيين إثنين مختلفين على الأقل. أو قس الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة من فلز معلوم عند طول موجي واحد فقط.

b. قس التغير في الطول الموجي لأشعة X المشتتة بوساطة المادة.

c. قس زاوية الحيود عندما ينفذ الضوء خلال شقين أو محزوز حيود، وقس عرض نمط الحيود للشق المفرد، أو قس الزاوية التي ينحرف الضوء عندها عند نفاذه خلال المنشور.

تطبيق المفاهيم

38. a. 4000 K: ~.6 μm, 5000 K: ~.5 μm,6000 K:~.49 μm 7000 K: ~.48 μm.

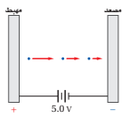
b. يزداد تردد الذروة بزيادة درجة الحرارة.

تقويم الفصل 1

إتقان حل المسائل

1–1 النموذج الجسيمي للموجات

43. اعتمادًا على نظرية بلانك، كيف يتغير تردد اهتزاز ذرة إذا بعثت طاقة مقدارها 5.44×10^{-19} J عندما تغيّرت قيمة n بمقدار 1؟
44. ما مقدار فرق الجهد اللازم لإيقاف إلكترونات طاقتها الحركية العظمى 4.8×10^{-19} J؟
45. ما زخم فوتون الضوء البنفسجي الذي طوله الموجي 4.0×10^{2} nm؟
46. جهد الإيقاف لإلكترونات فلز معين موضح في **الشكل 12–1**. ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية؟ بدلالة الوحدات التالية:
a. الإلكترون فولت. b. الجول.



الشكل 12–1

47. تردد العتبة لفلز معين 3.00×10^{14} Hz، ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة إذا أضيء الفلز بضوء طوله الموجي 6.50×10^{2} nm؟
48. ما مقدار الشغل اللازم لتحرير إلكترون من سطح الصوديوم إذا كان تردد العتبة له 4.4×10^{14} Hz؟
49. إذا سقط ضوء تردده 1.00×10^{15} Hz على الصوديوم في المسألة السابقة، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية؟
50. **مقياس الضوء** يستعمل مقياس الضوء الفوتوجرافي خلية كهروضوئية، لقياس الضوء الساقط على الجسم المراد تصويره. كم يجب أن يكون اقتران الشغل لمادة المهبط حتى تكون الخلية الكهروضوئية حساسة للضوء الأحمر ($\lambda = 680$ nm) كما للألوان الأخرى للضوء؟

2–1 موجات المادة

51. ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون يتحرك بسرعة 3.0×10^{6} m/s؟
52. ما مقدار السرعة التي يجب أن يتحرك بها إلكترون لتكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 3.0×10^{-10} m؟
53. يتسارع إلكترون في أنبوب أشعة مهبطية من السكون، خلال فرق جهد 5.0×10^{3} V، أوجد ما يأتي:
a. سرعة الإلكترون.
b. الطول الموجي المصاحب للإلكترون.
54. احتُجز نيوترون طاقته الحركية 0.025 eV، أوجد ما يأتي:
a. سرعة النيوترون.
b. طول موجة دي برولي المصاحبة للنيوترون.
55. إذا كانت الطاقة الحركية لإلكترون ذرة الهيدروجين 13.65 eV، فاحسب:
a. مقدار سرعة الإلكترون.
b. مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للإلكترون.
c. محيط ذرة الهيدروجين ثم قارنه بطول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون الذرة. علمًا بأن نصف قطر ذرة الهيدروجين 0.519 nm
56. إذا كان طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون 0.18 nm، فأجب عما يأتي:
a. ما مقدار فرق الجهد الذي تحرك خلاله إذا بدأ الحركة من السكون؟
b. إذا كان طول موجة دي برولي المصاحبة لبروتون 0.18 nm، فما مقدار فرق الجهد الذي تحرك خلاله إذا بدأ الحركة من السكون؟

مراجعة عامة

57. إذا كان تردد العتبة لفلز ما 8.0×10^{14} Hz، فما اقتران الشغل له؟
58. إذا سقط ضوء تردده 1.6×10^{15} Hz على الفلز في المسألة السابقة، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية؟

التقويم

إتقان حلّ المسائل

1-1 النموذج الجسيمي للموجات

43. 8.21×10^{14} Hz
44. 3.0 V
45. 1.7×10^{-27} kg. m/s
46. a. 5.0 eV b. 8.0×10^{-19} J
47. 1.07×10^{-19} J
48. 2.9×10^{-19} J
49. 3.7×10^{-19} J
50. 1.8 eV

1-2 موجات المادة

51. 0.24 nm
52. 2.4×10^{6} m/s
53. a. 4.2×10^{7} m/s
b. 1.7×10^{-11} m = 0.017 nm
54. a. 2.2×10^{3} m/s
b. 1.8×10^{-10} m
55. a. 2.19×10^{6} m/s
b. 0.332 nm
c. 3.26 nm المحيط يساوي تقريبًا 10 أطوال موجية مكتملة.
56. a. 47 V
b. 0.025 V

مراجعة عامة

57. 5.3×10^{-19} J
58. 5.3×10^{-19} J

39. a. البرتقالي الساطع
b. البرتقالي الساطع

40. ليس ضروريًا، يتناسب عدد الإلكترونات المنبعثة طرديًا مع عدد الفوتونات الساقطة أو مع شدة الضوء، وليس تردده.

41. a. الضوء الأزرق يمتلك تردد وطاقة أقل من الضوء فوق البنفسجي، لذلك فإن التنجستون له تردد عتبة أكبر.
b. التنجستون.

42. قطر كرة البيسبول 0.10 m تقريبًا، بينما طول موجة دي برولي 10^{-34} m، وبذلك تكون كرة البيسبول أكبر بمقدار 10^{33} مرة من الطول الموجي.

التقويم

59. 8.0×10^{-12} m

60. a. 2.6×10^{2} nm

b. 3.6 eV

61. 501 nm

62. a. 1.82×10^{3} m/s

b. $9.43 \times^{-6}$ eV

63. 3.77×10^{-3} eV

64. a. 2.5×10^{-7} m

b. 8.0×10^{-19} J

c. 2.4 eV

التفكير الناقد

65. a. 3.14×10^{-19} J

b. فوتون/ ثانية 2×10^{15}

66. a. 5.8×10^{-16} W

b. فوتون/ ثانية 1600

الكتابة في الفيزياء

67. اعتبارًا من عام 2003م، الأكبر هو مبلمر بكي بول، الذي يحتوي كل جزيء منه على C_{60}. تستخدم مخزوزات الحيود المعدنية من رتبة النانو كمخزوز حيود.

59. احسب طول موجة دي برولي المصاحبة لديوترون (نواة نظير الهيدروجين $^{2}_{1}H$) كتلته 3.3×10^{-27} kg ويتحرك بسرعة 2.5×10^{4} m/s.

60. إذا كان اقترانا الشغل للحديد 4.7 eV، فأجب عما يأتي:

a. ما مقدار طول موجة العتبة له؟

b. إذا أُسقط إشعاع طوله الموجي 150 nm على الحديد، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة بوحدة eV؟

61. إذا كان اقتران الشغل للباريوم 2.48 eV، فما أكبر طول موجي للضوء يستطيع تحرير إلكترونات منه؟

62. طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون 400.0 nm، وهي تساوي أقصر طول موجي للضوء المرئي. احسب مقدار:

a. سرعة الإلكترون. **b.** طاقة الإلكترون بوحدة eV.

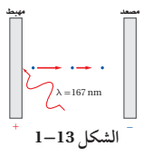
63. **المجهر الإلكتروني** يعدّ المجهر الإلكتروني مفيدًا؛ لأنه يمكن جعل الأطوال الموجية لموجات دي برولي المصاحبة للإلكترونات أقصر من الطول الموجي للضوء المرئي. ما مقدار الطاقة (بوحدة eV) اللازم تزويدها لإلكترون حتى يكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 20.0 nm؟

64. يسقط إشعاع على قصدير، كما في **الشكل 13–1**. إذا كان تردد العتبة للقصدير 1.2×10^{15} Hz، فما مقدار:

a. طول موجة العتبة للقصدير؟

b. اقتران الشغل للقصدير؟

c. الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة بوحدة eV، إذا كان الطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط 167 nm؟



الشكل 13–1

التفكير الناقد

65. **تطبيق المفاهيم** يبعث مصدر ليزر هيليوم– نيون فوتونات طولها الموجي 632.8 nm، أجب عما يأتي:

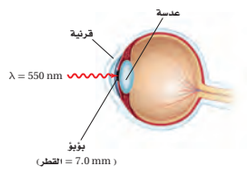
a. احسب مقدار الطاقة بوحدة الجول لكل فوتون يُبعث من الليزر.

b. إذا كانت قدرة مصدر ليزر صغير تقليدي 0.5 mW (تكافئ 5×10^{-4} J/s)، فما عدد الفوتونات المنبعثة من مصدر الليزر في كل ثانية؟

66. **تطبيق المفاهيم** يدخل الضوء المرئي الذي شدته 1.5×10^{-11} W/m^2 بصعوبة إلى عين إنسان، كما في **الشكل 14–1**.

a. إذا سلط هذا الضوء على عين الإنسان، ومر خلال بؤبؤ عينه، فما مقدار القدرة التي تدخل عينه بوحدة الواط؟

b. استخدم الطول الموجي المُعطى للضوء المرئي والمعلومات المُعطاة في الشكل 14–1، لحساب عدد الفوتونات التي تدخل العين في كل ثانية.



الشكل 14–1

الكتابة في الفيزياء

67. ابحث عن أثقل جسيم يمكن ملاحظة تأثيرات التداخل له. صف التجربة وكيف يحدث التداخل؟

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. يتغير مستوى الطاقة لذرة عندما تمتص، أو تبعث طاقة. أي الخيارات الآتية لا يمكن أن يمثل مستوى طاقة لذرة؟

Ⓐ $\frac{3}{4}hf$ Ⓑ hf Ⓒ $3\,hf$ Ⓓ $4\,hf$

2. كيف يرتبط تردد العتبة مع التأثير الكهروضوئي؟

Ⓐ أنه أقل تردد للإشعاع الساقط اللازم لتحرير الذرات من مصعد الخلية الضوئية.

Ⓑ أنه أكبر تردد للإشعاع الساقط اللازم لتحرير الذرات من مصعد الخلية الضوئية.

Ⓒ أنه تردد الإشعاع الساقط، الذي يحرر إلكترونات من الذرة عند ترددات أقل منه.

Ⓓ أنه أقل تردد للإشعاع الساقط اللازم، لتحرير إلكترونات من الذرة.

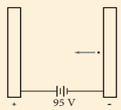
3. ما طاقة فوتون تردده 1.14×10^{15} Hz؟

Ⓐ 5.82×10^{-49} J Ⓑ 7.55×10^{-19} J Ⓒ 8.77×10^{-16} J Ⓓ 1.09×10^{-12} J

4. يسقط إشعاع طاقته 5.17 eV على خلية ضوئية، كما هو موضح في الشكل أدناه. إذا كان اقتران الشغل لمادة المهبط 2.31 eV، فما مقدار طاقة الإلكترون المتحرر؟

Ⓐ 0.00 eV Ⓑ 2.23 eV Ⓒ 2.86 eV Ⓓ 7.48 eV

5. يتسارع إلكترون خلال فرق جهد 95.0 V، كما هو موضح في الشكل أدناه. ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للإلكترون؟



Ⓐ 5.02×10^{-22} m Ⓑ 1.26×10^{-10} m Ⓒ 2.52×10^{-10} m Ⓓ 5.10×10^{6} m

6. ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون، يتحرك بسرعة 391 km/s؟ (كتلة الإلكترون 9.11×10^{-31}kg)

Ⓐ 3.5×10^{-25} m Ⓑ 4.79×10^{-15} m Ⓒ 4.8×10^{-15} m Ⓓ 1.86×10^{-9} m

7. ما اقتران الشغل لفلز؟

Ⓐ مقياس لمقدار الشغل الذي يستطيع أن يبذله إلكترون متحرر من الفلز.

Ⓑ يساوي تردد العتبة.

Ⓒ مقدار الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون الداخلي لذرة الفلز.

Ⓓ مقدار الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون الأضعف ارتباطًا في الذرة.

الأسئلة الممتدة

8. تحرك جسم بسرعة 45 m/s، فكان طول موجة دي برولي المصاحبة له 2.3×10^{-34} m، ما كتلة الجسم بوحدة kg؟

إرشاد

ارتد ساعة

إذا كنت تخضع لاختبار ذي وقت محدد فنظّم وقتك. لا تقض وقتًا كبيرًا جدًّا في مسألة واحدة. اترك المسائل الصعبة، ثم عد إليها بعد أن تجيب عن المسائل السهلة.

سلّم تقدير

يمثّل الجدول الآتي نموذجًا لسلم تقدير لإجابات الأسئلة الممتدة.

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملًا لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، فيمكن أن تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائية التي درسها، والاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًّا، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا للمواضيع الفيزيائية، وربما يكون قد استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلًّا صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلًّا غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

أسئلة اختيار من متعدد

1. A **2.** D **3.** B
4. C **5.** B **6.** D
7. D

الأسئلة الممتدة

8. $\lambda = h/mv$

$$m = h/\lambda v$$

$$= \frac{(6.63\times10^{-34}\ \text{J·s})}{(2.3\times10^{-34}\text{m})\ (45\ \text{m/s})}$$

$$= 0.064\ \text{kg}$$

الفصل 2

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
2–1 نموذج بور الذري 1. **تصف** تركيب نواة الذرة 2. **تقارن** بين طيف الانبعاث المستمر، وطيف الانبعاث الخطي. 3. **تحل** مسائل باستخدام نصف قطر المستوى، ومعادلات مستويات الطاقة.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** قطع نقدية معدنية مختلفة. **تجربة إضافيّة** قطع ورقية كبيرة مثل ورقة صحيفة طولها ضعفي عرضها، وعاء صغير قليل العمق، 10–20 كرة فولاذية نصف قطرها 12 mm **تجربة** أنابيب تفريغ غاز، ومصدر طاقة لتفريغ الغاز، ومجموعة من محزوزات الحيود. **عرض المعلم** **عرض سريع** جهاز عرض شرائح، وشفافيات، وقطع من الورق المقوى، وسكين، وشاشة، ومحزوز حيود. **عرض سريع** مروحة مكتب كهربائية.
2–2 النموذج الكمي للذرة 4. **تصف** أوجه القصور في نموذج بور الذري. 5. **تصف** النموذج الكمي للذرة. 6. **توضح** كيف يعمل الليزر. 7. **تصف** خصائص ضوء الليزر.	**تجارب الطالب** **تجربة إضافية** مؤشر ليزر أو أي مصدر ليزر منخفض الطاقة، ومحزوز حيود، وشاشة بيضاء. **مختبر الفيزياء** صندوق كرتون، وثلاثة كؤوس ورقية صغيرة ومتماثلة، و 200 كرة صغيرة، ومسطرة ، ومنشفة أو قطعة قماش كبيرة.

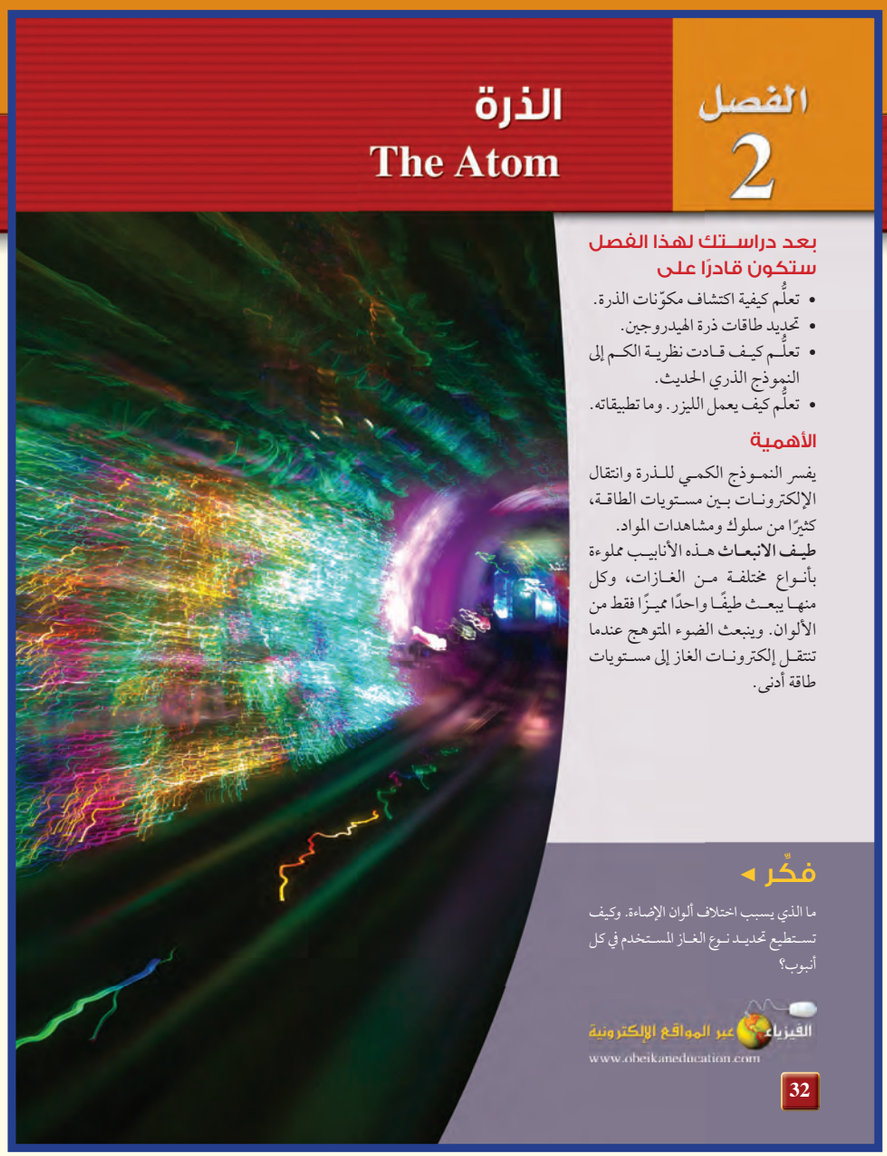
طرائق تدريس متنوعة

م 1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م 2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م 3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الثاني

الفصل 2

الذرة



نظرة عامة إلى الفصل

يبدأ الفصل بمناقشة نموذجين قديمين للذرة: نموذج تومسون الذري، ونموذج رذرفورد النووي. كما يناقش نموذج بور للذرة المرتبط بأطياف العناصر، والذي يستخدم في إجراء حسابات متعددة. يركز الجزء الثاني من الفصل على النموذج الكمي الحديث للذرة، والليزرات.

فكّر

اطلب الى الطلبة ملاحظة أن أطياف الانبعاث الموضحة هنا غير متصلة، فهي تتضمن أطوالا موجية محددة فقط. تختلف الأطياف الخطية من عنصر لاخر، بسبب اختلاف مستويات طاقة إلكترون ذرات الغازات المستخدمة في انابيب التفريغ من عنصر الى آخر. ويمكن تعرف نوع الغاز المستخدم في كل أنبوب باستخدام الطيف المميز المنبعث من كل عنصر.

المفردات الرئيسة

- جسيمات ألفا
- نيوكليون
- طيف الامتصاص
- مستوى الطاقة
- حالة الاستقرار
- حالة الإثارة
- عدد الكم الرئيس
- النموذج الكمي
- السحابة الإلكترونية
- ميكانيكا الكم
- الضوء المترابط
- الضوء غير المترابط
- الانبعاث المستثار
- الليزر

2-1 نموذج بور الذري

1. التركيز

نشاط محفز

نموذج بور للذرة لمساعدة الطلبة على تصوّر نموذج بور للذرة، اطلب إليهم رسم النظام الشمسي (الشمس والكواكب من حولها). اطلب اليهم إعتبار الشمس كنواة موجبة الشحنة والكواكب كإلكترونات سالبة الشحنة. وضح لهم أنه على الرغم من أن كل من الكواكب يتخذ مسارا إهليلجيًا محددًا أثناء دورانه حول الشمس، الا أن وجود الإلكترون لا يقتصر على مستوى واحد فقط. ارسم المسارات الإضافية على السبورة.

م2 بصري–مكاني

الربط مع المعرفة السابقة

ذرة بور إن مفاهيم تكمية الطاقة، وانبعاث وامتصاص الفوتون، وجهاز المطياف التي سبقت دراستها سوف تستخدم في تطوير نموذج بور للذرة لتفسير خصائص الفوتونات المنبعثة والممتصة، ولحساب انصاف أقطار مستويات الطاقة التي يتواجد فيها الإلكترون، وحساب طاقة المستويات ، وطاقة الفوتون المنبعث، وطول موجته.

2–1 نموذج بور الذري The Bohr Model of the Atom

الأهداف
- **تصف** تركيب نواة الذرة.
- **تقارن** بين طيف الانبعاث المستمر، وطيف الانبعاث الخطي.
- **تحل** مسائل باستخدام نصف قطر المستوى. ومعادلات مستويات الطاقة.

المفردات
جسيمات ألفا
نيوكليون
طيف الامتصاص
مستوى الطاقة
حالة الإستقرار
حالة الإثارة
عدد الكم الرئيس

بنهاية القرن التاسع عشر، اتفق معظم العلماء على وجود الذرات، وقد أعطى اكتشاف تومسون للإلكترون دليلاً مقنعًا على أن الذرة تتكون من جسيمات دون ذرية. وقد وجد أن كل ذرة اختبرها تومسون تحتوي على إلكترونات سالبة الشحنة، وأن لهذه الإلكترونات كتلة صغيرة جدًّا. وعند مقارنة كتل الذرات بكتل مكوناتها من الإلكترونات وجد أن هناك كتلة مفقودة، لذا بدأ العلماء بالبحث عن الكتلة المفقودة التي يجب أن تكون جزءًا من كتلة الذرة الكلية. ما طبيعة الكتلة التي سيتم اكتشافها لاحقًا بوصفها جزءًا من الذرة؟ وكيف تتوزع هذه الكتلة داخل الذرة؟

إضافة إلى ذلك، فمعلوم أن الذرة متعادلة كهربائيًّا، وحتى تلك الفترة تم تحديد إلكترونات سالبة الشحنة داخل الذرة، فكيف تتوزع الإلكترونات سالبة الشحنة في الذرة؟ وما مصدر تعادل الذرة؟ وهل هناك جسيمات موجبة الشحنة أيضًا في الذرة؟ كان فهم العلماء الكامل عن الذرة لا يزال بعيدًا قبل الإجابة على تلك التساؤلات. من هنا بدأ العلماء في البحث عن إجابة على العديد من الأسئلة التي وضعتهم في تحدٍّ.

33

تجربة استهلالية

كيف يمكن اختيار نوع قطعة نقدية فلزية تدور لتكون نموذجًا لتعرّف نوع الذرات؟

سؤال التجربة أثناء دوران أي من القطع النقدية من فئات 5 فلسات أو10 فلسات أو25 فلسًا أو 50 فلسًا، أو 100 فلس، على سطح الطاولة، ما الخصائص التي تمكنك من تعرّف نوع القطعة النقدية التي تدور؟

الخطوات

1. ضع قطعة نقدية فلزية من فئة 100 فلس رأسيًّا على سطح طاولة. ولتثبيتها المسها بطرف إصبعك ثم انقر طرفها بسبابتك لتجعلها تدور بسرعة. ولاحظ مظهر القطعة الدوّارة وصوتها إلى أن تقترب من التوقف عن الدوران على سطح الطاولة.
2. كرر الخطوة 1 ثلاثة مرات مستخدمًا قطعًا من فئات (5 و10 و25 و50) فلسًا على التوالي.
3. اطلب إلى زميلك تدوير القطع النقدية، قطعة واحدة في كل مرة وبترتيب عشوائي. شاهد كل قطعة في أثناء دورانها فقط، ثم حاول تحديد نوع تلك القطعة.
4. كرر الخطوة 3، وحاول تحديد نوع كل من القطع النقدية الدوّارة على أن تكون عيناك مغمضتين.

التحليل

ما مدى نجاحك في تحديد نوع القطع النقدية من خلال الاستماع إلى الأصوات التي تصدرها هذه القطع؟ ما خصائص القطعة الدوّارة التي يمكن أن تستخدم لتحديد نوعها؟ ما الأدوات التي يمكن أن تجعل عملية تحديد نوع القطعة النقدية أكثر سهولة؟

التفكير الناقد تبعث الذرات المثارة لعنصر ما في أنبوب غاز التفريغ طاقةً عن طريق انبعاث الضوء. كيف يمكن للضوء المنبعث أن يساعدك على تحديد نوع الذرة في أنبوب التفريغ؟ وما الأدوات التي يمكن أن تساعدك على ذلك؟

تجربة استهلالية

الهدف نمذجة الطاقة الصوتية المنبعثة من قطعة نقد دوّارة، وطاقة الضوء المنبعثة بوساطة ذرات مثارة.

المواد والأدوات قطع نقدية معدنية مختلفة.

استراتيجيات التدريس

- استخدم القطع النقدية لتبين أنه بالإمكان إنتاج طيف متسع من الأصوات.
- أشر إلى أنه يمكن دراسة الذرات بالرغم من أن الذرة صغيرة جدًّا وغير مرئية.

النتائج المتوقعة يتوصل الطلبة إلى تحديد نوع القطعة النقدية عن طريق درجة (حدة) الصوت الذي تصدره القطعة النقدية عندما تدور. صنف القطع النقدية بناءً على زيادة درجة الصوت كما يأتي: (5، 10، 15، 25، 50) فلس.

التحليل ستختلف الإجابات. فكل من لون القطعة، وحجمها، والصوت الصادر عنها، عندما تدور يمكن أن يساعد في تحديد نوعها. ويمكن استخدام جهاز راسم الذبذبات ومضخم صوت للمساعدة على قياس درجة الصوت للقطع النقدية.

التفكير الناقد يمكن استخدام الأطوال الموجية المميزة للضوء المنبعث للتعرف على نوع الذرة المثارة. ويمكن استخدام المطياف لقياس الأطوال الموجية لخطوط الطيف.

2. التدريس

تجربة إضافية

الفضاء الفارغ في الذرة

الهدف بناء نموذج لتصادم جسيمات ألفا مع النواة لفهم تجربة صفيحة الذهب لرذرفورد.

المواد والأدوات قطع ورقية كبيرة مثل ورقة صحيفة طولها ضعفي عرضها، ووعاء صغير قليل العمق، 10–20 كرة فولاذية نصف قطرها 12 mm

الخطوات

1. أبسط قطعة الورق الكبيرة (تمثل صفيحة الذهب) على طاولة كبيرة أو على الأرض فوق الطبق الصغير قليل العمق المقلوب (يمثل النواة).
2. دحرج الكرات الفولاذية (تمثل جسيمات ألفا) على قطعة الورق (يلتقط الطلبة الكرات التي تعبر الصفحة الورقية).

التقويم معظم الكرات الفولاذية ستعبر الصفحة الورقية دون انحراف، وبعض الكرات ستنحرف بوساطة الإناء. ناقش مشاهداتك. بينما معظم جسيمات ألفا (الكرات الفولاذية) تعبر خلال الفضاءات الفارغة في الذرة (الورقة)، فإن بعضها تنحرف بوساطة البروتونات الموجودة في النواة (الوعاء).

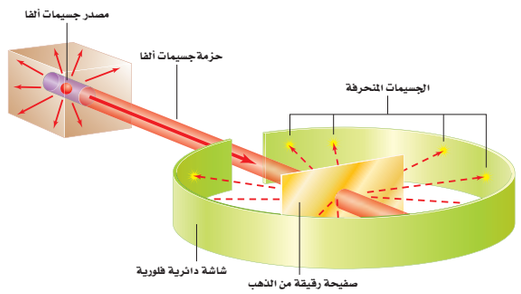
The Nuclear Model النموذج النووي

كثير من التساؤلات واجهت الباحثين حول طبيعة الذرة. ما الذي يسبب انبعاث ضوء من الذرات؟ كيف تتوزع الإلكترونات في الذرة؟ بحث فيزيائيون وكيميائيون من دول مختلفة عن إجابات لهذه الأسئلة. لم تزودنا النتائج التي توصلوا إليها بالمعرفة عن تركيب الذرة فقط، ولكنها زودتنا بنهج جديد لفهم كل من الفيزياء والكيمياء. وأصبح تاريخ البحث في طبيعة الذرة من أكثر القصص إثارةً في القرن العشرين.

اعتقد توموسون أن المادة الثقيلة الموجبة الشحنة تملأ الذرة. وقد صوّر الإلكترونات السالبة الشحنة على أنها تتوزع خلال هذه المادة الموجبة الشحنة، تمامًا مثل حبات الزبيب في الفطيرة المسطحة. شارك العالم إرنست رذرفورد كلًّا من هانز جايجر وإرنست ماردسن، في إجراء سلسلة من التجارب، أظهرت نتائجها أن للذرة تركيبًا مختلفًا تمامًا.

أجريت تجربة رذرفورد باستخدام عناصر مشعة تصدر أشعة نافذة، وقد وجد أن بعض هذه الانبعاثات جسيمات موجبة الشحنة وثقيلة، وتتحرك بسرعات عالية. هذه الجسيمات سميت فيما بعد جسيمات ألفا، ورُمز لها بالرمز α. ويمكن الكشف عن هذه الجسيمات في تجربة رذرفورد، بوساطة ومضات ضوئية تنبعث عندما تصطدم الجسيمات مع شاشة مطلية بطبقة من كبريتات الزنك. كما يتضح من **الشكل 1–2**، فقد قذف رذرفورد حزمة من جسيمات ألفا على صفيحة رقيقة جدًّا من الذهب، وكان رذرفورد مهتمًّا بنموذج توموسون للذرة، وتوقع حدوث انحرافات بسيطة جدًّا فقط لجسيمات ألفا عندما تعبر خلال صفيحة الذهب الرقيقة، واعتقد أن مسار جسيمات ألفا الثقيلة ذات السرعة العالية سوف يتغير بمقدار ضئيل، عندما يعبر خلال الشحنة الموجبة الموزعة بانتظام والتي تكوّن كل ذرة الذهب.

وكانت نتائج التجربة مدهشة؛ فقد عبَر معظم جسيمات ألفا خلال صفيحة الذهب دون انحراف، أو مع انحراف قليل عن مسارها، إلا أن بعضها ارتدّ بزوايا كبيرة جدًّا (تزيد عن 90°). والرسم التوضيحي لهذه النتائج موضح في **الشكل 2–2**. وقد شبه رذرفورد نتائج هذه التجربة بارتداد قذيفة مدفع عند اصطدامها بمنديل ورقي.



الشكل 1–2 بعد قذف رقيقة الذهب بجسيمات ألفا، استنتج فريق رذرفورد أن معظم كتلة الذرة كانت متمركزة في النواة.

34

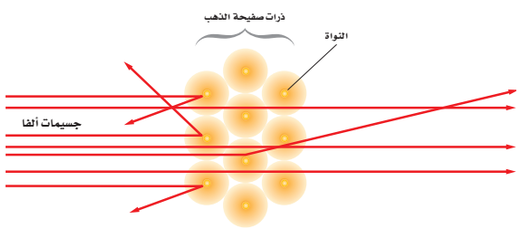
نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

تفسير نتائج رذرفورد إذا وجد الطلبة صعوبة في تنفيذ تجربة رذرفورد، فيمكن مساعدتهم على تفسير النتائج باستخدام القانونين الثاني والثالث لنيوتن في الحركة. فاعتمادًا على القانون الثالث، فإن القوة التي تؤثر بها جسيمات ألفا في نواة الذهب تساوي القوة التي تؤثر بها نواة الذهب في جسيمات ألفا. ولكن اعتمادًا على القانون الثاني، فإن تسارع جسيمات ألفا أكبر بكثير، لأن كتلتها أقل كثيرًا من كتلة أنوية الذهب. نتيجة لذلك، فإن جسيمات ألفا يمكن أن تنحرف بزاوية كبيرة، بينما تبقى معظم أجزاء صفيحة الذهب دون تغير نتيجة التصادمات. م ١ **لغوي**

استخدام التشابه

حركة جسيم ألفا إن حركة جسيم ألفا في تجربة صفيحة الذهب، تشبه حركة كرة رخامية على سطح فيه تلة شديدة الارتفاع. كرة الرخام التي تمر بعيدا عن التلة تتدحرج إلى مسافة كبيرة خاضعة لانحراف بسيط أو لا تنحرف. أما الكرة التي تتحرك مباشرةً باتجاه مركز التلة، فإنها تتدحرج عائدة إلى مسارها (إذا كان النقص في طاقتها الحركية كافيا لمقاومة ارتفاعها). ويمكن نمذجة ارتفاع التلة h، بالعلاقة $h \alpha 1/r$ حيث r المسافة من مركز التلة. فعندما تقترب r من الصفر، فإن ارتفاع هذه التلة يصبح لانهائي. والكرة الرخامية لا تستطيع أن تتدحرج إلى ارتفاع التلة اللانهائي.

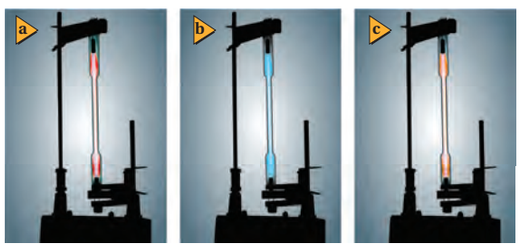


الشكل 2–2 معظم جسيمات ألفا الموجهة إلى صفيحة رقيقة من الذهب عبرت خلالها دون انحراف. وجسيم واحد من كل 20,000 يرتد بزاوية كبيرة.

مستخدمًا قانون القوة لكولوم، وقوانين نيوتن في الحركة، استنتج رذرفورد أن النتائج يمكن تفسيرها فقط، إذا كانت شحنة الذرة الموجبة متمركزة في حيز صغير وثقيل، يسمى الآن النواة. لذلك سمي نموذج رذرفورد للذرة النموذج النووي. وقد حدّد مجموعة من العلماء أن الشحنة الموجبة للذرة وأكثر من 99.9% من كتلة الذرة موجودة في النواة. أما الإلكترونات التي لا تساهم بكمية كبيرة من كتلة الذرة فتكون موزعة خارجًا وبعيدًا عن النواة. لذلك فإن الفراغ الذي تشغله الإلكترونات يحدد الحجم الكلي أو قطر الذرة. ولأن قطر الذرة أكبر 10,000 مرة تقريبًا من قطر النواة، فإن معظم حجم الذرة يكون فراغًا.

طيف الانبعاث كيف تتوزع الإلكترونات حول نواة الذرة؟ تم التوصل إلى أحد مفاتيح الإجابة عن هذا السؤال، من خلال دراسة الضوء المنبعث من الذرات. تذكّر – من الفصل السابق – أن مجموعة الأطوال الموجية الكهرومغناطيسية التي تنبعث من الذرة تسمى طيف الانبعاث الذري.

يوضح **الشكل 3–2**، التوهج المميز المنبعث عن بعض الغازات، فعند استخدام ذرات غازٍ ما وتطبيق فرق جهد عال عبر أنبوب تفريغ الغاز، نلاحظ أن الغاز بدأ بالتوهج، كما نلاحظ أن كل غاز يتوهج بضوء مختلف، وتُعد إشارات النيون الملونة التي تستخدم في بعض اللوحات الإعلانية تطبيقًا للمبادئ التي تعمل عليها أنابيب تفريغ الغاز.



الشكل 3–2 عند تطبيق فرق جهد عال على عينة غاز يبعث الغاز ضوءًا ذا توهج خاص به. يتوهج غاز الهيدروجين بضوء أحمر مزرق (a)، ويتوهج غاز الزئبق بضوء أزرق (b)، ويتوهج غاز النيتروجين بضوء برتقالي– وردي اللون (c).

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

تجربة التشتت إن أصل تجارب تشتت جسيمات ألفا كان نتيجة بحث مقترح قدمه رذرفورد الى مهتمين طلبوا الاطلاع على موضوع البحث لمساعدته، حيث سأل رذرفورد رفيقه هانز جايجر "لماذا لا ندعه يرى ما إذا كان باستطاعة أي من جسيمات ألفا أن تتشتت بزوايا كبيرة"، بعد ذلك نقل جايجر السؤال إلى مساعده أرنست مارسدن. ثم أجرى جايجر ومارسدن عدة تجارب، فوجدوا بأنهم قادرين على "... الحصول على بعض جسيمات ألفا المرتدة ...".

تطوير المفهوم

الحيود اطلب الى الطلبة يتذكروا أن الضوء الذي يمر من خلال الشقوق الضيّقة لمحزوز الحيود يتداخل لتكوين طيف.

عرض سريع

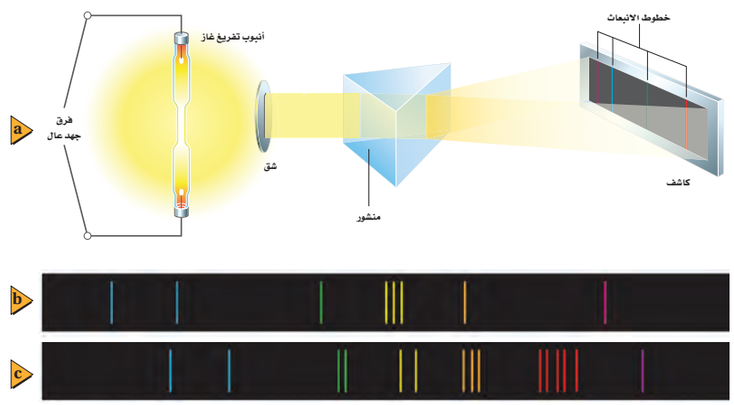
الطيف المتصل

الزمن المقدّر 10 دقائق

المواد والأدوات جهاز عرض شرائح، وشفافيات، وقطع من الورق المقوى، وسكين، وشاشة، ومحزوز حيود.

الخطوات قبل إجراء التجربة، اصنع شق عرضه 2 mm في قطعة الكرتون، وثبت تلك القطعة على جهازعرض الشرائح، ثم عتّم الغرفة. قم بتشغيل جهاز العرض ووجّه الضوء على الشاشة أو على الحائط. إذا كانت هناك ضرورة عدّل وضعيتها لكي يصنع الضوء النافذ من الشق الضيّق خطًا أبيض عموديًا على الشاشة أو الحائط. اطلب الى الطلبة مشاهدة الشاشة أثناء تثبيتك لمحزوز الحيود أمام جهاز العرض، فقد تحتاج إلى تعديل وضع المحزوز لمشاهدة الطيف على الحائط (وليس على السقف أو على الأرض)، عندما يعبر الضوء الأبيض الساقط من جهاز العرض خلال الشق على قطعة الكرتون وعند وضع محزوز الحيود أمام جهاز العرض، يتحلل الضوء القادم من جهاز العرض إلى الألوان التي يتكوّن منها، منتجًا طيفًا متصلاً على كلا جانبي الخط الأبيض على الشاشة أو على الحائط.

أشر إلى أن الطيف المنبعث من الجسم المتوهج كفتيلة مصباح جهاز العرض، يتضمن ضوءًا بمدى من الأطوال الموجية التي تقع في الطيف المرئي وفي المنطقة تحت الحمراء، ثم اسأل الطلبة ماذا يستنتجون، إذا وضع محزوز حيود أمام مصدر ضوء وشوهدت حزمتين ضوئيتين من الألوان المختلفة المتمايزة. إن المصدر الذي ينتج الضوء يمتلك أطوالا موجية في منطقة الطيف المرئي، والتي تتوافق فقط مع حزم اللونين المشاهدين.



الشكل 4–2 يمكن استخدام منشور المطياف لمشاهدة طيف الانبعاث (a). طيفا الانبعاث الخطي للزئبق (b) وللباريوم (c) يظهران بخطوط مميزة.

نحصل على طيف الانبعاث للذرة عندما يمر الضوء المنبعث من الغاز خلال منشور أو محزوز حيود. ويمكن دراسة طيف الانبعاث بتفصيل أكبر باستخدام جهاز يسمى المطياف. وكما هو موضح في **الشكل 4a–2**، فإن الضوء في منشور المطياف يعبر خلال الشق، ثم يتشتت عندما يعبر خلال المنشور، ثم تعمل عدسة النظام – غير موضحة في الرسم – على تجميع الضوء المتشتت، لكي نتمكن من مشاهدته أو تسجيله على شاشة فوتوجرافية، أو على كاشف إلكتروني، فيكوّن المطياف صورة الشق عند مواقع مختلفة لكل طول موجي.

إن الطيف المنبعث عن جسم ساخن، أوعن مادة صلبة متوهجة، مثل فتيلة المصباح الكهربائي؛ هو حزمة متصلة من ألوان الطيف من الأحمر إلى البنفسجي ويسمى بطيف الانبعاث المستمر. لكن طيف الغاز يكون سلسلة من الخطوط المنفصلة ذات ألوان مختلفة. وخطوط طيفَي الانبعاث لغازي الزئبق والباريوم موضحان في **الشكل 4b–2** و**الشكل 4c–2** على التوالي. وكل خط ملوّن يرتبط مع الطول الموجي المحدد للضوء المنبعث من ذرات ذلك الغاز ويسمى بطيف الانبعاث الخطي.

يعدّ طيف الانبعاث الخطي وسيلة تحليلية مفيدة، فيمكن استخدامه لتحديد نوع عينة غاز مجهولة. حيث يوضع الغاز المجهول في أنبوب تفريغ الغاز ليبعث ضوءًا. والضوء المنبعث يحتوي على أطوال موجية مميّزة لذرات ذلك الغاز. لذا يمكن تحديد الغاز المجهول بمقارنة أطواله الموجية مع الأطوال الموجية الموجودة في خرائط خاصة لأطياف العناصر المعلومة.

ويمكن كذلك استخدام طيف الانبعاث؛ لتحليل خليط من الغازات. فعندما يتم تصوير طيف الانبعاث لخليط من العناصر، فإن تحليل الخطوط في الصورة يمكن أن يشير إلى نوع العناصر الموجودة والتراكيز النسبية لها. وإذا كانت العينة قيد الاختبار تحتوي على كمية أكبر من عنصر معين، فإن خطوط ذلك العنصر تكون أكثر كثافة في الصورة من العناصر الأخرى. ومن خلال إجراء المقارنة بين كثافات الخطوط، يمكن تحديد التركيب النسبي للمادة.

طرائق تدريس متنوعة

نشاط

إعاقة بصرية كوّن نموذجًا من الأطياف المتصلة والمنفصلة مع طيف الصوت من آلة بيانو وآلة التردد الموسيقي أو القيثار. أعزف على البيانو النغمة–13 على الاوكتاف (الجواب الموسيقي) C–C، نوتة واحدة كل مرة. وضح بأنه بمجرد تشكل طيف الموجات الضوئية ذات الأطوال الموجية المختلفة ، فإن الموجات الصوتية ذات الأطوال الموجية المختلفة، تشكل نغمات في الاوكتاف. وحتى لو كنت تعزف نغمات منفردة على آلة البيانو فإن طيفًا متصلاً للصوت يمتد من تردد عالٍ إلى تردد منخفض. في الآلات الموسيقية كآلة التردد الموسيقي أو القيثار تستطيع تكوين نموذج من الطيف المتصل، وذلك بتغيير النغمات بصورة مستمرة. ولتكوين نموذج الطيف المنفصل، قم بالضغط على مفاتيح البيانو المختلفة ضمن المدى. م 2 **سمعي-موسيقي**

تعزيز الفهم

أطياف الامتصاص والانبعاث أكّد على مبدأ أن كل عنصر يبعث طيفا مميزًا ، أي أنه يبعث ضوء بترددات محددة. أطياف الانبعاث والخطوط الساطعة تنتج عندما يسخن العنصر ويتوهج، ويبعث فوتونات.أما طيف الامتصاص وهو الطيف الذي يظهر بترددات مفقودة وبخطوط معتمة، فينتج عندما يعبر ضوءًا من خلال غازات باردة نسبيًا وتُمتص فوتونات عند ترددات محددة بوساطة الغاز. الخطوط المعتمة تمثل الترددات المتصة. م2 **بصري-مكاني**

المناقشة

سؤال: لماذا يبعث المصباح الكهربائي المتوهج كلًا من الطيف المتصل وسلسلة من خطوط الانبعاث؟

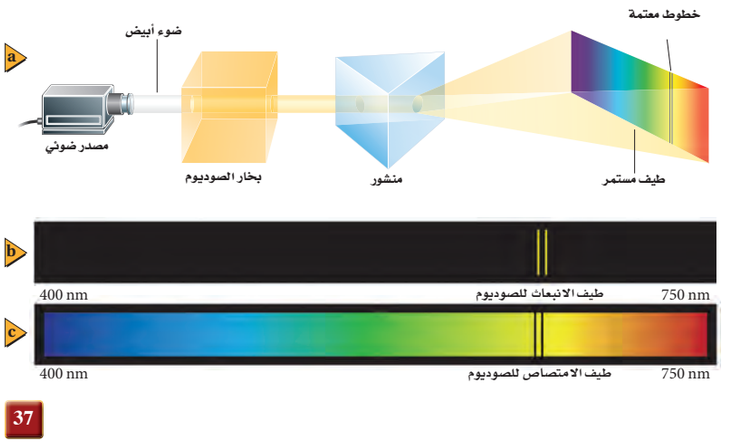
الإجابة: قد يشير الطلبة إلى أن المصباح الكهربائي يحتوي على مادة صلبة متوهجة وغازًا متوهجًا. فتنتج خطوط الانبعاث بوساطة الغاز الساخن (الزئبق)، بينما ينتج الطيف المستمر نتيجة التفلور. ففي هذه العملية يمتص مسحوق الفوسفور الموجود داخل المصباح الكهربائي فوتونات فوق بنفسجية تنبعث من الزئبق، ومن ثم تبعث بطيف متصل من الضوء المرئي. م1 **بصري-مكاني**

الشكل 5–2 تظهر خطوط فرونهوفر في طيف الامتصاص للشمس. توجد خطوط كثيرة، إلا أن بعض هذه الخطوط خافت وبعضها قاتم جدًا؛ اعتمادًا على تراكيز العناصر في الشمس.

طيف الامتصاص في عام 1814م لاحظ جوزيف فون فرونهوفر، ظهور بعض الخطوط المعتمة في طيف ضوء الشمس. تعرف هذه الخطوط المعتمة بخطوط فرونهوفر، وهي موضحة في **الشكل 5–2**. ويفسر ظهورها بأن ضوء الشمس يعبر خلال الغلاف الغازي المحيط بالشمس، وتمتص هذه الغازات أطوالاً موجية مميّزة محددة، مما يُنتج هذه الخطوط المعتمة في الطيف المرئي. ومجموعة الأطوال الموجية المتصة بوساطة الغاز تسمى **طيف الامتصاص** للغاز. وقد أمكن تحديد مكونات الغلاف الشمسي بمقارنة الخطوط المفقودة في الطيف المرئي بطيف الانبعاث المعلوم للعناصر المختلفة. وكذلك فقد تم تحديد مكونات العديد من النجوم باستخدام هذه التقنية.

الربط مع الفلك

يمكن مشاهدة طيف الامتصاص، بتمرير ضوء أبيض خلال عينة غاز ومطياف، كما هو موضح في **الشكل 6a–2**. ولأن الغاز يمتص أطوالاً موجية محددة، فإن الطيف المستمر المرئي للضوء الأبيض سيحتوي على خطوط معتمة محددة بعد مروره في غاز ما. وتحدث الخطوط المضيئة لطيف الانبعاث، والخطوط المعتمة لطيف الامتصاص لأي غاز غالبًا عند الأطوال الموجية نفسها، كما هو موضح في **الشكل 6b–2** و**الشكل 6c–2**، على التوالي، لذلك فإن العناصر الغازية الباردة تمتص الأطوال الموجية نفسها التي تبعثها عندما تثار. وكما يمكن أن تتوقع، فإنه يمكن تحديد مكونات غاز ما من الأطوال الموجية للخطوط المعتمة في طيف الامتصاص لهذا الغاز.



الشكل 6–2 يستخدم هذا الجهاز لانتاج طيف الامتصاص لغاز الصوديوم (a). يتكون طيف الانبعاث للصوديوم من العديد من الخطوط المميزة (b) بينما يكون طيف الامتصاص للصوديوم مستمرًا تقريبًا (c).

37

معلومة للمعلم

مهن في الحياة اليومية

مصنّف الأطياف النجمية ولدت الفيزيائية الأمريكية ويلمينا فليمنج في سكوتلندا عام 1857م، ثم انتقلت إلى بوسطن، وبدأت بالعمل مع مدير مرصد جامعة هارفرد كخادمة. فبدأت تترك عنده انطباعًا عن شدة ذكائها، فقدّمت أعمالاً كتابية، وأنجزت مهمات حسابية في أوقات العمل الإضافية، وبعد خمسة سنوات من انضمامها لفريق العمل الدائم في المرصد أصبحت مشرفة البرنامج الجديد لتصنيف النجوم وفق أطيافها، فقد حلّلت بعض الصور الفوتوجرافية، وأشرفت على فريق نسائي للبحث كمساعدات. وفي عام 1908 م تم انتخابها عضوة في جمعية الفلك الملكية كواحدة من مجموعة قليلة من النساء اللواتي تم اختيارهن.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

الإلكترون المتسارع اقرأ الجملة التالية "يتسارع الإلكترون بانتظام في المستوى باتجاه النواة". قد يفهم بعض الطلبة من هذه الجملة أن الإلكترون يتحرك قطريًا إلى الداخل. أشر إلى أن أي جسم يتحرك في مسار دائري ثابت يمتلك تسارع باتجاه المركز، نتيجة للقوة المحصلة، وهذه القوة لا تتسبب في تحرك الجسم إلى الداخل، وانما تغير من اتجاه حركته بطريقة معينة بحيث يتحرك في مسار دائري وبسرعة ثابتة. م 2

استخدام الشكل 7–2

وضّح للطلبة أنه يمكن استخدام التحليل الطيفي، للكشف عن حركة الكواكب، والنجوم، والمجرات. بما أن معظم النجوم تحتوي على الهيدروجين فإن معظم مكونات الأطياف النجمية يجب أن تحوي أربعة خطوط كالموضحة في **الشكل 7–2**، ومع ذلك لم يلاحظ المراقبون الأوائل للمجرات البعيدة هذه الخطوط، ولكنهم لاحظوا خطين عند طول موجي 615 nm و651 nm وتم الكشف عن أن هذان الخطان يمثلان الطولان الموجيان القصيران للضوء في الطيف المرئي للهيدروجين (410 nm و 434nm) واللذان أزيحا باتجاه المنطقة الحمراء من الطيف. اعتقد الفلكيون بأن هذا التغير كان نتيجة لإزاحة دوبلر والذي يعود لحركة المجرة بعيدًا عن الأرض. اطلب الى الطلبة مراجعة إزاحة دوبلر في الترددات الضوئية. وأكتب المعادلة التالية على السبورة، وبين بأنها إزاحة دوبلر للطول الموجي للضوء من المصدر المتحرك عندما يقاس بوساطة مشاهد متحرك.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\sqrt{1+v/c}}{\sqrt{1-v/c}} - 1 = \text{ثابت}$$

بيّن أن الإزاحة للون الأحمر تفسر مشاهدة الخطان 615 nm و651 nm في الطيف النجمي للهيدروجين كما يلي: $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_{410}} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{434}}$

م 2 **سمعي-موسيقي.**

التحليل الطيفي يعدّ كل من طيفي الانبعاث والامتصاص وسائل علمية مفيدة؛ فنتيجة للأطياف المميِّزة للعنصر استطاع العلماء تحليل، وتحديد وحساب كمية المواد المجهولة، عن طريق ملاحظة الأطياف التي تبعثها أو تمتصها. ولأطياف الانبعاث والامتصاص أهمية بالغة في الصناعة، كما في البحوث العلمية. فمثلاً، تقوم مصانع الحديد بإعادة معالجة كميات كبيرة من حديد الخردة الذي يحوي على تراكيب مختلفة، فيتم التحديد الدقيق لهذه التراكيب خلال دقائق بوساطة التحليل الطيفي. كما ويمكن تعديل تركيب الحديد ليتناسب مع المواصفات التجارية؛ وتقوم محطات معالجة الفلزات – ومنها الألومنيوم والزنك ومعادن أخرى – بتطبيق الطريقة نفسها.

إن دراسة الأطياف تعدّ فرعًا من العلم المعروف باسم التحليل الطيفي. ويعمل الباحثون في هذا العلم في مؤسسات الأبحاث والمؤسسات الصناعية. وقد تم إثبات أن علم التحليل الطيفي أداة فعّالة لتحليل الفلزات الموجودة على الأرض، وهو الأداة المتوافرة الوحيدة حاليًا لدراسة مكونات النجوم على مدى الفضاء المتسع.

سلبيات نموذج رذرفورد (النووي) في القرن التاسع عشر، حاول بعض العلماء استخدام الأطياف الذرية؛ لتحديد مكونات الذرة. وتمت دراسة ذرة الهيدروجين بدقة؛ لأنه العنصر الأخف، وله أبسط طيف؛ حيث يتكون الطيف المرئي للهيدروجين من أربعة أطياف خطية: الأحمر، والأخضر، والأزرق، والبنفسجي، كما هو موضح في **الشكل 7–2**. وأي نظرية علمية تفسر مكونات الذرة، يجب أن تأخذ في الحسبان هذه الأطوال الموجية، وتدعم النموذج النووي. ومع ذلك فإن النموذج النووي الذي اقترحه رذرفورد لم يخل من السلبيات؛ حيث افترض رذرفورد أن الإلكترونات تدور حول النواة تمامًا كما تدور الكواكب حول الشمس، وهذه ثغرة خطيرة في نموذجه هذا.

يتسارع الإلكترون في مستواه مع استمرار دورانه حول النواة، وكما درست سابقًا، فإن الإلكترونات المتسارعة تشع طاقة عن طريق انبعاث موجات كهرومغناطيسية. ومعدل فَقد الإلكترون لطاقته في أثناء دورانه حول النواة يجعل مساره لولبيًّا حتى يحط أخيراً في النواة خلال 10^{-9}s، لذلك فإن نموذج رذرفورد لا يتفق مع قوانين الكهرومغناطيسية. إضافة إلى ذلك، يتوقع هذا النموذج أن الإلكترونات المتسارعة سوف تشع طاقتها عند كل الأطوال الموجية، لكن كما درست، فإن الضوء المنبعث من الذرات يُشَع عند أطوال موجية محددة فقط.

نموذج بور للذرة The Bohr Model of the Atom

انتقل الفيزيائي الدنماركي نيلز بور إلى بريطانيا عام 1911م، وانضم إلى مجموعة رذرفورد، ليعمل في تحديد تركيب الذرة. وحاول توحيد النموذج النووي مع مستويات الطاقة المكماة لبلانك، ونظرية أينشتاين في الضوء. فكانت هذه فكرة جريئة؛ لأنه منذ عام 1911م لم تكن أي من هذه الأفكار الجريئة مفهومة على نطاق واسع، أو مقبولة.

الشكل 7–2 هناك أربعة خطوط في طيف الانبعاث لذرة الهيدروجين.

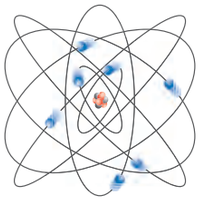
نشاط تحدٍّ

الطيف المميز للهيدروجين استخدم علاقة ثابت $= \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ التي تمثل إزاحة دوبلر للضوء. اطلب الى الطلبة حساب ازاحة الطول الموجي للموجتان المتبقيتان في الطيف المرئي للهيدروجين الموضح في **الشكل 7–2**. ثم اسأل فيما إذا كانت هذه الأطوال الموجية توجد في منطقة فوق البنفسجي، أو المرئي، أو تحت الحمراء للطيف المميز للهيدروجين.

الخطوط 486nm ;729 nm; 656nm ;984 nm ; موجودة في المنطقة تحت الحمراء.

م 3 **منطقي-رياضي**

تكمية الطاقة بدأ بور بالنموذج النووي للإلكترونات، كما هو موضح في **الشكل 8–2**. لكنه قدم نظرية جريئة تنص على أن قوانين الكهرومغناطيسية لا تطبق على ما في داخل الذرة. فافترض أن الإلكترونات في المدار المستقر لا تشع طاقة، رغم أنها تتسارع، واعتبر أن هذا هو شرط استقرار الذرة. وذهب إلى افتراض أن حالة الاستقرار للذرات تكون فقط عندما تكون كميات الطاقة فيها محددة. وبتعبير آخر اعتبر بور أن مستويات الطاقة في الذرة مكماة.

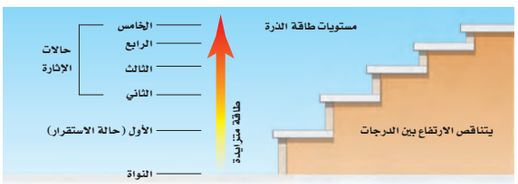


الشكل 8–2، اعتمد بور على فرضية أن الإلكترونات تدور في مدارات ثابتة حول النواة.

وكما هو موضح في **الشكل 9–2**، فإن تكمية الطاقة في الذرات يمكن تشبيهها بدرجات سلّم؛ بحيث يتناقص البعد بين كل درجتين كلما صعدنا إلى أعلى. وحتى تصعد إلى درجات أعلى للسلم، يجب أن تنتقل من درجة أدنى إلى درجة أعلى، ومن المستحيل الوقوف عند نقطة تقع بين درجتين. والذرات لها كميات مكماة من الطاقة كل منها يسمى **مستوى طاقة**، فكما أنه لا يمكنك أن تشغل مكانًا بين درجتي سلم، فإن طاقة الذرة لا يمكن أن يكون لها قيمة بين طاقتي مستويين من مستويات الطاقة المسموح بها. وعندما تكون طاقة الذرة عند أقل مقدار مسموح به، يقال إنها في **حالة استقرار**. وعندما تمتص الذرة كمية محددة من الطاقة، فإنها تنتقل إلى مستوى طاقة أعلى، أي مستوى طاقة أعلى من مستوى الاستقرار. وهذه الحالة تسمى **حالة الإثارة**.

طاقة الذرة ما الذي يحدد طاقة الذرة؟ طاقة الذرة تساوي مجموع طاقة حركة الإلكترونات، وطاقة الوضع الناتجة عن قوة التجاذب بين الإلكترونات والنواة. وطاقة الإلكترون في المستويات القريبة من النواة أقل من طاقة الإلكترون في المستويات البعيدة عنها؛ لأنه يجب أن يبذل شغل لنقل الإلكترونات بعيدًا عن النواة. وهكذا تكون الذرات في حالة إثارة عندما تكون إلكتروناتها عند مستويات طاقة أعلى، أي في مستويات أبعد عن النواة. ولأن الطاقة مكماة وترتبط برقم المستوى، فإن طاقة المستوى مكماة أيضًا. يعرف نموذج الذرة الذي تم وصفه آنفًا، والذي يبين وجود نواة مركزية وإلكترونات لها مستويات طاقة مكماة تدور حولها بنموذج بور للذرة.

إذا كان بور مصيبًا في افتراضه، فإن الذرات المستقرة لا تبعث طاقة، فمن المسؤول إذًا عن طيف الانبعاث المميّز للذرة؟ للإجابة عن هذا السؤال، اقترح بور أن طاقة كهرومغناطيسية تنبعث عندما تتغير حالة الذرة من حالة استقرار إلى حالة استقرار أخرى. ومن نظرية التأثير الكهروضوئي لأينشتاين، أدرك بور أن طاقة كل فوتون تعطى بالمعادلة $E_{\text{فوتون}} = hf$، ثم افترض أنه عندما تمتص الذرة فوتونًا، فإنها تصبح مثارة، وتزداد طاقتها بمقدار يساوي طاقة ذلك الفوتون، ثم تنتقل هذه الذرة المثارة إلى مستوى طاقة أقل عندما تشع فوتون.



الشكل 9–2 هذه الدرجات التي يتناقص البعد بينها تماثل مستويات الطاقة المتاحة في الذرة. لاحظ كيف أن فرق الطاقة بين مستويات الطاقة المتجاورة يتناقص كلما زاد بعد مستوى الطاقة عن النواة.

استخدام النماذج

مستويات الطاقة في الذرة اطلب الى الطلبة تذكر ما إذا كانوا قد استخدموا درجات مماثلة لتلك الموضحة في **الشكل 9–2** عند نزولهم على درجات سلم كهربائي متوقف في مركز تجاري أو في بناية للمكاتب. واطلب اليهم تذكر كيفية التباعد العمودي بين الدرجات. وبالتالي التباعد بين مستويات طاقة الوضع التجاذبية لشخص ما ينزل على الدرجات، لتصبح أقل ثم أقل كلما نزلوا على الدرج. ثم اسألهم عن النموذج المماثل لنزولهم عن درج سلّم كهربائي متوقف. الطاقة المنبعثة عند انتقال لإلكترونات المثارة. م2 **بصري–مكاني.**

المناقشة

سؤال ماذا يحدث عندما تنتقل الكترونات عنصر معين من مستوى طاقة كمي أعلى إلى مستوى طاقة كمي أقل؟

الإجابة عندما تعود الإلكترونات في الذرة هابطة إلى مستوى طاقة كمي أقل تنبعث فوتونات. ونتيجة لهذا الانتقال، يمكن مشاهدة طيف انبعاث ذري للعنصر. م1 **بصري–مكاني.**

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

التركيب الكيميائي للنجوم والكواكب تستخدم الأطياف على الأغلب لتحديد مكوّنات الكواكب والنجوم. حيث يوجه الضوء المجمّع، بوساطة التلسكوب إلى المطياف بدلاً من عين المراقب أو الفيلم. فقد تم اكتشاف أن عنصر الهيليوم يشكل جزءًا من الطيف الشمسي قبل أن يتم اكتشافه على الأرض. إن تحليل الطيف الشمسي المنعكس عن كوكب المشتري يشير إلى أن غلافه الجوي يحتوي على الميثان، وهذا التوقع تم تأكيده بعد عدة سنوات عندما اقتربت المجسات الفضائية من الكوكب العملاق. وبما أن تلسكوب هابل الفضائي يقع فوق غازات الغلاف الجوي، الذي يمتص أطياف الأشعة فوق البنفسجية، والأشعة تحت الحمراء كما في الطيف المرئي، فإنه يستطيع كشف امتصاص هذه الأطوال الموجية.

عرض سريع

حركة الإلكترون

الزمن المقترح 5 دقائق.

المواد والأدوات مروحة مكتب كهربائية.

الخطوات شغِّل المروحة على سرعة عالية واطلب الى الطلبة مشاهدة الرّيش الدوّارة.

تحذير: لا تدع أي طالب يلمس الريش المتحركة. ريش المروحة غير مميزة المعالم. أشر إلى أنه بمشاهدة بسيطة، فإنه من غير الممكن تحديد شكل كل ريشة أثناء دوران المروحة بسرعة كبيرة. وأشر كذلك إلى أن عدم وضوح الصورة ناتج عن عدم قدرة العين على التقاط الحركة السريعة. إن عدم القدرة على تحديد موقع إلكترون بدقة في الذرة هي نتيجة لعدم القدرة على مشاهدة الإلكترون دون إحداث تشويش في حركته. ذكرهم بمبدأ عدم التحديد لهيزنبرغ الذي تمت مناقشته سابقًا والذي يبين أن تحديد موقع الجسم بدقة أكبر يعني دقة أقل في معرفة زخمه. ولدراسة الذرة، فإن الأمر الأكثر أهمية هو معرفة مقدار الطاقة التي يمتلكها الإلكترون وليس في تحديد أين يوجد الإلكترون فعليا وبدقة كبيرة.

عندما يحدث انتقال في الذرة من مستوى طاقة ابتدائي E_i، إلى مستوى طاقة نهائي E_f فإن التغير في طاقة الذرة ΔE يعطى بالمعادلة:

$$\Delta E_{\text{ذرة}} = E_f - E_i$$

كما هو موضح في **الشكل 10–2**، فإن التغير في طاقة الذرة يساوي طاقة الفوتون المنبعث.

$$E_{\text{فوتون}} = |\Delta E|_{\text{ذرة}}$$

أو

$$E_{\text{فوتون}} = |E_f - E_i|$$

تلخّص المعادلات أدناه العلاقات بين التغير في حالات الطاقة للذرة، وطاقة الفوتون المنبعث.

طاقة الفوتون المنبعث $E_{\text{فوتون}} = \Delta E_{\text{ذرة}}$ أو $E_{\text{فوتون}} = hf$

طاقة الفوتون المنبعث، تساوي حاصل ضرب ثابت بلانك في تردد الفوتون المنبعث.

طاقة الفوتون المنبعث تساوي النقص في طاقة الذرة.

تنبؤات نموذج بور Predictions of the Bohr Model

استخدم بور نظريته لحساب الأطوال الموجية للضوء المنبعث من ذرة الهيدروجين، فكانت الحسابات متوافقة تمامًا مع قيم مقيسة حددها علماء آخرون. ونتيجة ذلك تم قبول نموذج بور على نطاقٍ واسع. لكن لسوء الحظ فقد انطبق هذا النموذج على ذرة الهيدروجين فقط، ولم يكن باستطاعته توقع طيف الهيليوم الذي يمثل العنصر البسيط التالي بعد الهيدروجين. إضافة إلى ذلك، لم يقدم النموذج تفسيرًا جيدًا لبعض المسائل، مثل لماذا يمكن تطبيق قوانين الكهرومغناطيسية في كل مكان، إلا داخل الذرة. لذلك لم يكن بور نفسه يعتقد أن نموذجه يمثل نظرية متكاملة عن تركيب الذرة. وعلى الرغم من عيوب نموذج بور، فإنه يصف مستويات الطاقة والأطوال الموجية للضوء المنبعث، والممتص من ذرات الهيدروجين بصورة جيدة.

تطوّر نموذج بور طوّر بور نموذجه بتطبيق قانون نيوتن الثاني في الحركة $F_{\text{محصلة}} = ma$ على الإلكترون، والقوة المحصلة المحسوبة، بوساطة قانون كولوم للتفاعل بين الإلكترون ذي الشحنة $-q$ والبروتون ذي الشحنة $+q$ على بعد r احدهما من الآخر؛ حيث تحسب القوة بالمعادلة: $F = K q^2 / r^2$. إن تسارع الإلكترون في مدار دائري حول البروتون الذي كتلته أكبر كثيرًا من كتلة الإلكترون يعطى بالمعادلة: $a = v^2 / r$. وهكذا حصل بور على العلاقة:

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

في المعادلة أعلاه K، تمثل ثابت كولوم، وقيمته $9.0 \times 10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2$

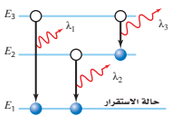
$E_{1\text{فوتون}} = |E_1 - E_3|$

$E_{2\text{فوتون}} = |E_1 - E_2|$

$E_{3\text{فوتون}} = |E_2 - E_3|$

$E_{1\text{فوتون}} > E_{2\text{فوتون}} > E_{3\text{فوتون}}$

$\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$



الشكل 10–2 طاقة الفوتون المنبعث تساوي الفرق في الطاقة بين مستويات الطاقة الابتدائية، والنهائية للذرة.

تعزيز الفهم

طاقة الفوتون ذكّر الطلبة أن الموجات الضوئية بالقرب من النهاية الحمراء للطيف المرئي لها طول موجي أكبر من الموجات الضوئية بالقرب من النهاية البنفسجية. ثم اسألهم عن لون الضوء الذي تمتلك فوتوناته أكبر طاقة. ولماذا. طاقة الفوتون $E_{\text{فوتون}} = hf$ ولأن تردد الموجات الضوئية للضوء البنفسجي أكبر من تردد الموجات الضوئية للضوء الأحمر، فإن طاقة فوتون الضوء البنفسجي أكبر من طاقة فوتون الضوء الأحمر. **م 2 بصري–مكاني.**

نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

نموذج بور أشر إلى أن نموذج بور يبين بأن ذرة الهيدروجين لها إلكترون وحيد يدور حول البروتون، ويشبه كثيرًا الكوكب الذي يدور حول نجم، وكذلك دوران القمر الاصطناعي حول الأرض.

ذكر الطلبة مما درسوه سابقًا أن للقمر الاصطناعي في المدار الدائري حول الأرض تسارع مركزي. إن القوة المحصلة التي تسبب التسارع هي قوة الجاذبية F_g المؤثرة فيه والتي توصف بقانون نيوتن للجذب العام $\frac{Gm_s m_E}{r^2} = \frac{m_s v^2}{r^2}$؛ $F_g = F_{\text{محصلة}}$.

وضح للطلبة أن $F_{\text{المحصلة}}$ في نموذج بور، هي القوة بين الإلكترون والبروتون كما تم وصفها بقانون كولوم بالعلاقة: $F = K(q_A\, q_B / r^2)$ **م 1 منطقي–رياضي**

أخذ بور بعد ذلك في الحسبان الزخم الزاوي للإلكترون الذي يدور حول النواة، والذي يساوي حاصل ضرب الزخم الخطي للإلكترون mv في نصف قطر مساره الدائريّ r، فتوصل إلى أن الزخم الزاوي للإلكترون يعطى بالعلاقة mvr. ثم افترض أن الزخم الزاوي للإلكترون له قيم محددة، وأن تلك القيم المسموح بها تكون مضروبة في المقدار $h/2\pi$؛ حيث h ثابت بلانك. وباستخدام n لتمثل عددًا صحيحًا، اقترح بور أن $mvr = nh/2\pi$. وباستخدام العلاقة $\frac{Kq^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ وإعادة ترتيب معادلة الزخم الزاوي، وجد بور أن أنصاف أقطار مستوَيات الإلكترونات في ذرة الهيدروجين تعطى بالمعادلة:

نصف قطر مستوى إلكترون ذرة الهيدروجين $r_n = \frac{h^2n^2}{4\pi^2Kmq^2}$

إن نصف قطر مستوى n للإلكترون يساوي حاصل ضرب مربع ثابت بلانك في مربع العدد الصحيح n مقسومًا على الكمية المتكوّنة من حاصل ضرب 4 ومربع π، مضروبة في الثابت K، مضروبة بكتلة الإلكترون ومربع شحنته.

تستطيع حساب نصف قطر المستوى الأقرب إلى النواة في ذرة الهيدروجين – الذي يعرف أيضًا بنصف قطر بور – وذلك بتعويض القيم المعلومة وقيمة $n = 1$ في المعادلة أعلاه.

$$r_1 = \frac{(6.626\times10^{-34}\ \text{J.s})^2(1)^2}{4\pi^2(9.0\times10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2)(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(1.60\times10^{-19}\text{C})^2}$$

$$= 5.3\times10^{-11}\ \text{J}^2.\ \text{s}^2/\text{N.m}^2.\ \text{kg}$$

$$= 5.3\times10^{-11}\ \text{m} \quad \text{أو} \quad 0.053\ \text{nm}$$

وبصورة عامة فإن نصف قطر أي مدار مسموح به في ذرة الهيدروجين يعطي من العلاقة:

$$r_n = 5.3\times10^{-11}\ n^2\ \text{m}$$

بتطبيق قوانين الجبر البسيطة، تستطيع التوصل إلى أن الطاقة الكلية للذرة يعبر عنها بحاصل جمع طاقة حركة الإلكترون، وطاقة وضعه، وتعطى بالمعادلة: $-Kq^2/2r$ وتمثل بالمعادلة:

$$E_n = -\frac{2\pi^2K^2mq^4}{h^2}\times\frac{1}{n^2}$$

وبتعويض القيم العددية للثوابت وبالتحويل لوحدات الإلكترون فولت يمكن حساب طاقة ذرة الهيدروجين بالعلاقة:

طاقة ذرة الهيدروجين $E_n = -\frac{13.6}{n^2}\text{eV}$

الطاقة الكلية بوحدة الإلكترون فولت لذرة عدد الكم الرئيسي لها n، تساوي حاصل قسمة 13.6– على n^2.

إن كلًّا من نصف قطر المستوى للإلكترون وطاقة الذرة مكماة. ويسمى العدد الصحيح n الذي يظهر في المعادلات **عدد الكم الرئيس**، ويمكن من خلاله حساب القيم المكماة لكل من r و E.

تجربة

طيف الضوء اللامع (الساطع)

شغل مصدر القدرة المتصل مع أنبوب تفريغ الغاز بحيث يضيء الأنبوب.

تحذير: احمل أنبوب الغاز بحذر شديد لتتجنب تحطمه، ولا تلمس أي فلز معرضًا للإضاءة في أثناء تشغيل مصدر القدرة؛ لأن فرق الجهد المستخدم خطر. وقم دائمًا بفصل مصدر القدرة قبل تغيير أنابيب الغاز.

أطفئ أنوار الغرفة

1. **صف** اللون الذي تلاحظه.
2. **لاحظ** أنبوب غاز التفريغ من خلال محزوز الحيود.
3. **اختبر** نتائج مشاهدة أنبوب غاز التفريغ من خلال محزوز الحيود.
4. **توقع** ما إذا كان الطيف الملاحظ سيتغير عندما تتم مشاهدة أنبوب غاز التفريغ من خلال محزوز الحيود.
5. **اختبر** توقعاتك.

التحليل والاستنتاج

6. **اختبر** نتائج مشاهدة أنبوب غاز التفريغ من خلال محزوز الحيود.
7. **فسر** سبب وجود اختلاف بين الطيفين.

نشاط

تحدٍّ

الطاقة الكلية للذرة بيّن للطلبة أن معادلة الطاقة المكممة للذرة تنتج من الصيغة الرياضية التالية:

$$E = \frac{-Kq^2}{2r} = \frac{-Kq^2}{2}r^{-1} = \left(\frac{Kq^2}{2}\right)\left(\frac{h^2n^2}{4\pi^2Kmq^2}\right)^{-1} = \left(\frac{-Kq^2}{2}\right)\left(\frac{4\pi^2Kmq^2}{h^2n^2}\right)$$

$$E = \frac{-2\pi^2K^2mq^4}{h^2}\times\frac{1}{n^2}$$

بين الطلبة أن E_n وحدتها J

$$\frac{K^2mq^4}{h^2};\ \frac{(\text{N.m}^2/\text{C}^2)^2(\text{kg})(\text{C})^4}{(\text{J.s})^2} = \frac{(\text{N}^2)(\text{m}^4)(\text{kg})(\text{C}^4)}{(\text{C}^4)(\text{J}^2)(s^2)} = \frac{(\text{kg})(\text{m}^2)}{s^2} = \text{N.m} = \text{J}$$

تجربة

طيف الضوء اللامع (الساطع)

تحذير: يجب حمل أنابيب تفريغ الغاز بحذر شديد. إنها قابلة للكسر. وكذلك فإن الدهون الموجودة على الإبهام الملتصق بالزجاج، قد تسبب في تكوّن بقع ساخنة تقلل من عمر الأنبوب. يجب أن تضيء الأنابيب لفترة زمنية كافية لإجراء القياسات.

الهدف ملاحظة طيف الضوء اللامع – الساطع – المميّز المنبعث من أنابيب تفريغ لغازات مختلفة.

المواد والأدوات أنابيب تفريغ غاز، مصدر قدرة، ومجموعة من محزوزات حيود.

النتائج المتوقعة سيلاحظ الطلبة الفرق بين مجموعات الخطوط اللامعة المميزة من كل أنبوب.

التحليل والاستنتاج

6. ستختلف الألوان والفراغات الفاصلة بين الخطوط الطيفية بناءً على غاز أنابيب تفريغ الغاز المستخدمة.
7. يلاحظ وجود طيفان مختلفان لأن مستويات الطاقة لذرات الغاز في الأنبوبين مختلفة.

استخدام الشكل 11–2

اسأل الطلبة عن السمة المشتركة في جميع حالات الانتقال للسلاسل الطيفية الخاصة لكل من (بالمر، وليمان، أوباشن). المستوى الأخير للطاقة. ما السلسلة التي تمتلك فوتوناتها أعلى طاقة ؟ ليمان. ما السلسلة التي تمتلك فوتوناتها أقل طاقة ؟ باشن. م 2

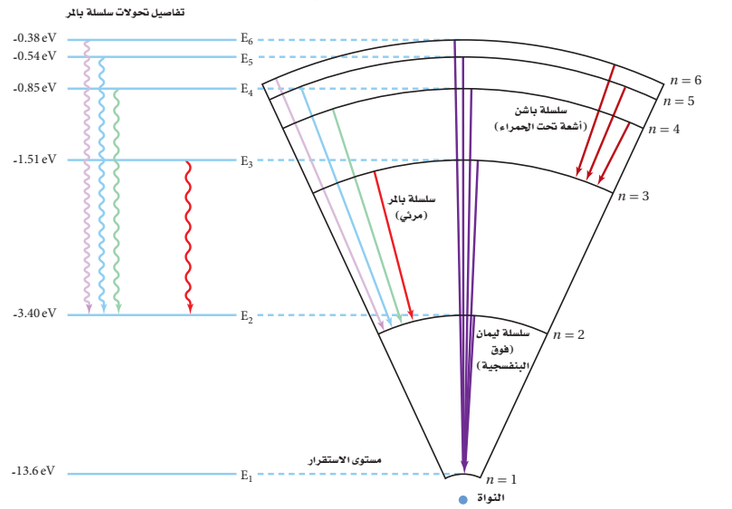
التفكير الناقد

الانتقال بين مستويات الطاقة كل سلسلة من السلاسل المبينة في **الشكل 11–2** يحدث فيها انتقال لإلكترون مثار من مستوى الطاقة $n=6$. اسأل الطلبة لماذا لا تبعث جميع السلاسل نفس الطول الموجي للضوء. لا تعتمد طاقة الفوتون المنبعث على مستوى الطاقة الابتدائي الذي انتقل منه الإلكترون، ولكنها تعتمد على مستويي الطاقة الابتدائي والنهائي اللذين انتقل بينهما الإلكترون. ولأن مستوى الطاقة النهائي في كل سلسلة مختلف، فإن ΔE للإلكترون المنبعث من مستوى الطاقة $n=6$ مختلف. ولأن الطول الموجي للفوتون المنبعث يرتبط مع ΔE، فإن الطول الموجي للضوء لكل سلسلة سوف يكون مختلفًا. م 3

الطاقة وانتقال الإلكترون ربما تتساءل، لماذا تكون طاقة الذرة في نموذج بور ذات قيمة سالبة؟ تذكر مما درست أن فروق الطاقة فقط تكون ذات معنى. وطاقة مستوى اللانهاية يمكن اعتبارها صفرًا، وتسمى الطاقة الصفرية، وتعرّف بأنها طاقة الذرة عندما يكون الإلكترون بعيدًا جدًّا عن الذرة، وليس له طاقة حركة. وتحدث هذه الحالة عندما تصبح الذرة متأينة، أي عندما يُنزع الكترون من الذرة. ولأنه يجب بذل شغل لتأيين الذرة، فإن طاقة الذرة مع الإلكترون الدائر فيها يجب أن يكون أقل من صفر، لذلك فإن طاقة الذرة ذات قيمة سالبة. وعندما يحدث انتقال في الذرة من مستوى طاقة أقل إلى مستوى طاقة أعلى، فإن الطاقة الكلية تصبح أقل سالبية، ولكن مجموع التغير الكلي في الطاقة يبقى موجبًا.

بعض مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين، ومستويات الطاقة التي قد يتم الانتقال إليها وفقاً لسلاسلها والموضّحة في **الشكل 11–2**. لاحظ أن ذرة الهيدروجين المثارة يمكنها أن تبعث مدى واسعًا من الطاقة الكهرومغناطيسية، كالأشعة تحت الحمراء، والضوء المرئي، أو الأشعة البنفسجية بحسب حالات الانتقال التي تحدث؛ حيث تنبعث الأشعة فوق البنفسجية عندما ينتقل إلكترون من مستوى حالة الإثارة إلى مستوى الطاقة الأول. وتنتج الخطوط الأربعة المرئية في طيف الهيدروجين، عندما يحدث الانتقال في الذرة من مستوى الطاقة $n=3$ أو مستوى أعلى، إلى مستوى الطاقة $n=2$.

الشكل 11–2 تعرف مجموعة الخطوط الملونة التي تكوّن طيف ذرة الهيدروجين المرئي بسلسلة بالمر. إن هذا الضوء المرئي ناتج عن الفوتونات المنبعثة عندما تعود الإلكترونات إلى مستوى الطاقة الثاني $n=2$. وتنبعث الأشعة فوق البنفسجية (سلسلة ليمان) عندما تعود الإلكترونات إلى مستوى الطاقة الأول، وتنبعث الأشعة تحت الحمراء (سلسلة باشن) عندما تعود الإلكترونات إلى مستوى الطاقة الثالث $n=3$.



42

نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

نصف قطر مستويات الطاقة لإلكترون ذرة الهيدروجين وضح للطلبة خطوة بخطوة التعويضات التي تم استخدامها في اشتقاق معادلة نصف قطر مستويات الطاقة لإلكترون ذرة الهيدروجين.

$$\frac{Kq^2}{r^2}=\frac{mv^2}{r};\ \frac{Kq^2}{r}=mv^2 \text{ عوض } v=nh/2\pi mr;$$

$$Kq^2=rm(nh/2\pi mr)^2=\frac{rmn^2h^2}{4\pi^2m^2r^2}=\frac{n^2h^2}{4\pi^2mr}$$

حل المعادلة بالنسبة للمتغير r في المعادلة: $Kq^2=\frac{n^2h^2}{4\pi^2mr}$

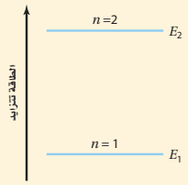
تتيح $r_n=\frac{n^2h^2}{4\pi^2Kmq^2}$ م 1 **منطقي-رياضي**

مثـــــال 1

مستويات الطاقة عندما تمتص ذرة الهيدروجين كمية محددة من الطاقة، فإنها تسبب انتقال إلكترونها من مستوى الطاقة الأدنى إلى مستوى طاقة أعلى، احسب طاقة كل من مستوى الطاقة الأول ومستوى الطاقة الثاني، ثم احسب الطاقة الممتصة بوساطة الذرة.

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل بالرسم مستويات الطاقة E_1 و E_2.
- وضح اتجاه تزايد الطاقة في الرسم التوضيحي.



المعلوم	المجهول
عدد الكم لمستوى الطاقة الأول $n = 1$	$E_1 = ?$
عدد الكم لمستوى الطاقة الثاني $n = 2$	$E_2 = ?$
	$\Delta E = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة طاقة الإلكترون في مستواه، لحساب طاقة كل مستوى.

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2}\text{ eV}$$

بالتعويض عن $n = 1$

$$E_1 = -\frac{13.6}{(1)^2}\text{ eV}$$

$$E_1 = -13.6\text{ eV}$$

$$E_2 = -\frac{13.6}{(2)^2}\text{ eV}$$

$$E_2 = -3.40\text{ eV}$$

إن الطاقة الممتصة بوساطة الذرة ΔE، تساوي فرق الطاقة بين مستوى الطاقة النهائي للذرة E_f ومستوى الطاقة الأوليّ للذرة E_i.

بالتعويض عن $E_f = E_2$ ، $E_i = E_1$

$$\Delta E = E_f - E_i$$

بالتعويض عن $E_2 = -3.40\text{ eV}$ ، $E_1 = -13.6\text{ eV}$

$$= E_2 - E_1$$

$$= -3.40\text{ eV} - (-13.6\text{ eV})$$

$$= 10.2\text{ eV}$$ الطاقة الممتصة

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** إن قيم طاقة المستويات يجب أن تقاس بوحدة الإلكترون فولت.
- **هل الإشارة صحيحة؟** إن فرق الطاقة موجب عندما تتحرك الإلكترونات من مستويات طاقة منخفضة إلى مستويات طاقة أعلى.
- **هل الجواب منطقي؟** إن الطاقة اللازمة لتحريك إلكترون من مستوى الطاقة الأول إلى مستوى الطاقة الثاني يجب أن يساوي 10 eV تقريبًا، وهذا يساوي الطاقة المطلوبة.

43

مثال صفي

سؤال احسب فرق الطاقة بين مستويات الطاقة E_3 و E_1 في ذرة الهيدروجين.

الجواب

$$E_1 = -13.6\text{ eV} \times 1/(1)^2$$

$$E_3 = -13.6\text{ eV} \times 1/(3)^2$$

$$\Delta E = E_3 - E_1$$

$$= -1.51\text{ eV} - (-13.6\text{ eV})$$

$$= 12.1\text{ eV}$$

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

المستويات الاهليلجية لم تفسر نظرية بور الكمية مجموعات من الخطوط المتقاربة والتي تشكل تركيب ذرة الهيدروجين، لأنها افترضت ان شكل المستوى دائري. ثم قدّم العالم سومرفيلد وصفًا رياضيًا للمستويات الاهليلجية مستخدمًا نظرية الكم، ثم اثبت أن هناك مستويات محددة يمكن أن يوجد فيها الالكترون عند الأخذ بالاعتبار التغير النسبي في كتلة الإلكترون الدوّار. هذا التركيب لمستويات الطاقة الدائرية والاهليلجية للإلكترون، نجح في توضيح بعض تراكيب طيف ذرة الهيدروجين.

مثال صفي

سؤال ما طول موجة الفوتون المنبعث عندما ينتقل إلكترون ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة الثالث $n = 3$ إلى مستوى الطاقة الأول $n = 1$؟

الجواب

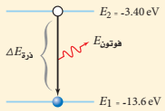
$$\Delta E = E_1 - E_3$$
$$= -13.6\ \text{eV} - (-1.51\ \text{eV})$$
$$= -12.1\ \text{eV}$$
$$\lambda = \frac{hc}{|\Delta E|}$$
$$= 1240\ \text{eV. nm}/12.1\ \text{eV}$$
$$= 103\ \text{nm}$$

مثـــال 2

تردد وطول موجة الفوتونات المنبعثة ينتقل إلكترون ذرة هيدروجين مثارة من مستوى الطاقة الثاني $n = 2$، إلى مستوى الطاقة الأول $n = 1$؛ احسب الطاقة والطول الموجي للفوتون المنبعث. استخدم قيم E_1 و E_2 من المثال 1.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم رسمًا توضيحيًّا مستويات الطاقة E_1 و E_2 .
- وضّح اتّجاه تزايد الطاقة، ووضح انبعاث الفوتون في الرسم.



المعلوم	المجهول
$E_1 = -13.6\ \text{eV}$	$f = ?$
$E_2 = -3.40\ \text{eV}$	$\lambda = ?$
	$\Delta E = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة د

طاقة الفوتون المنبعث تساوي ΔE، فرق الطاقة بين مستوى الطاقة الثاني للذرة E_f، ومستوى الطاقة الأول لها E_i.

$$\Delta E = E_f - E_i$$
$$= E_1 - E_2$$
$$= -13.6\ \text{eV} - (-3.40\ \text{eV})$$
$$= -10.2\ \text{eV}$$ الطاقة المنبعثة

بالتعويض عن $E_f = E_1$ ، $E_i = E_2$

بالتعويض عن $E_1 = -13.6\ \text{eV}$ ، $E_2 = -3.40\ \text{eV}$

لحساب الطول الموجي للفوتون، استخدم المعادلات الآتية:

حل معادلة الفوتون بالنسبة للتردد

حل معادلة الطول الموجي - التردد بالنسبة للطول الموجي

$$|\Delta E| = hf \text{ لذا فإن } f = \frac{|\Delta E|}{h}$$
$$c = \lambda f \text{ لذا فإن } \lambda = \frac{c}{f}$$
$$\lambda = \frac{c}{(|\Delta E|/h)}$$
$$= \frac{1240\ \text{eV. nm}}{10.2\ \text{eV}}$$
$$= 122\ \text{nm}$$

بالتعويض عن $f = \frac{|\Delta E|}{h}$

بالتعويض عن $hc = 1240\ \text{eV.nm}$ ، $|\Delta E| = 10.2\ \text{eV}$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الطاقة بوحدة الإلكترون فولت. البادئة نانو تعدّل إلى وحدة متر، وهي وحدة القياس الأساسية في النظام الدولي للوحدات SI. والتي تمثل الوحدة الصحيحة للطول الموجي.
- **هل الإشارة صحيحة؟** تنتج الطاقة عندما تبعث الذرة فوتونًا خلال عملية الانتقال من مستوى الطاقة الثاني إلى مستوى الطاقة الأول، ولذلك فإن فرق الطاقة سالب.
- **هل الجواب منطقي؟** الطاقة الناتجة عن عملية الانتقال تنتج ضوءًا في مدى الأشعة فوق البنفسجية، وهو أقل من 400 nm

مسائل تدريبية

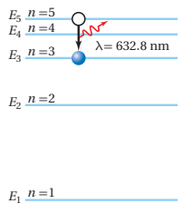
1. 1.89 eV
2. 1.5×10^{3} m
3. a. 2.15 eV
   b. 5.78×10^{-7} m = 578 nm

مسائل تدريبية

1. احسب فرق الطاقة بين مستوى الطاقة E_3 ومستوى الطاقة E_2 في ذرة الهيدروجين.
2. قطر نواة ذرة الهيدروجين 2.5×10^{-15} m، والمسافة بين النواة والإلكترون الأول 5×10^{-11} m تقريبًا. إذا استخدمت كرة قطرها 7.5 cm لتمثل النواة فكم يكون بُعد الإلكترون؟
3. في عملية انتقال محدد، تسقط طاقة ذرة الزئبق من مستوى طاقة 8.82 eV إلى مستوى طاقة 6.67 eV احسب:
   a. طاقة الفوتون المنبعث من ذرة الزئبق.
   b. الطول الموجي للفوتون المنبعث من ذرة الزئبق.

مسألة تحدٍّ

على الرغم من تفسير نموذج بور للذرة، وبدقة لسلوك ذرة الهيدروجين، إلا أنه لم يكن قادرًا على تفسير سلوك أي ذرة أخرى. تحقق من جوانب القصور في نموذج بور؛ وذلك بتحليل انتقال إلكترون في ذرة النيون. فخلافًا لذرة الهيدروجين، فإن لذرة النيون عشرة إلكترونات، وأحد هذه الإلكترونات ينتقل بين مستوى الطاقة $n = 5$، ومستوى الطاقة $n = 3$، باعثًا فوتونًا في هذه العملية.



1. اعتبر أنه يمكن معاملة إلكترون ذرة النيون، كإلكترون في ذرة الهيدروجين، فما طاقة الفوتون التي يتوقعها نموذج بور؟
2. اعتبر أنه يمكن معاملة إلكترون ذرة النيون، كإلكترون في ذرة الهيدروجين، فما الطول الموجي الذي يتنبأ به نموذج بور؟
3. الطول الموجي الحقيقي للفوتون المنبعث خلال عملية الانتقال 632.8 nm، ما نسبة الخطأ المئوي لتنبؤ نموذج بور للطول الموجي للفوتون؟

45

مسألة تحد

1. $\Delta E = E_i - E_f = (-13.6 \text{ eV})\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{3^2}\right) = 0.967 \text{ eV}$
2. $\lambda = \frac{hc}{|\Delta E|} = \frac{1240 \text{ eV.nm}}{0.967 \text{ eV}} = 1280 \text{ nm}$
3. الخطأ النسبي $= \frac{\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة المتوقعة}}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\%$

$$\frac{632.8 \text{ nm} - 1280 \text{ nm}}{632.8 \text{ nm}} \times 100\% = 103\%$$

3. التقويم

التحقّق من الفهم

نموذج بور اسأل الطلبة كيف فسر نموذج بور امتصاص ذرة الهيدروجين للفوتونات ذات الأطوال الموجية المحددة فقط. لأن إلكترون ذرة الهيدروجين يتواجد في مستويات طاقة مكماة، وانتقال الإلكترون من مستوى طاقة اقل إلى مستوى طاقة أعلى يحدث فقط، نتيجة امتصاص فوتون يمتلك طاقة تساوي أو أكبر من الفرق بين طاقتي المستويين. ولأن الطول الموجي للضوء يرتبط بفرق الطاقة هذا بالمعادلة $\lambda = hc/\Delta E$. فإن فوتونات الضوء الممتص هي فقط ذات أطوال موجية محددة. م2 لغوي

التوسع

التحول من حالة الإستقرار الى حالة الإثارة لمساعدة الناس على الخروج من البناية عند تعطّل مصدر الطاقة فإن السلالم وغرفة السلالم تطلى أحيانًا بطلاء ذو وميض فسفوري يستمر باللمعان بعد توقف الإضاءة بوساطة أي ضوء مرئي طبيعي أو اصطناعي. اطلب الى الطلبة وصف نموذج ذري قادر على تفسير الوميض الفسفوري. تمتص إلكترونات ذرات المادة فوتونات الضوء بأطوال موجية مختلفة من الطيف المرئي وتتحرك من حالة الاستقرار إلى حالة الاثارة. وتحافظ الإلكترونات على حالة الاثارة لثوانٍ أو ساعات. ثم تبعث فوتونات ضوئية بأطوال موجية للطيف المرئي عندما تعود إلى حالة الاستقرار. م3

2-1 مراجعة

4. جميع الذرات موجبة الشحنة ومعظم كتلتها محتواة في النواة الصغيرة الواقعة في مركز الذرة، حيث تدور حولها إلكترونات سالبة الشحنة وفق النموذج النووي لرذرفورد.
5. المواد الصلبة المتوهجة تنتج حزمة متصلة من الألوان، بينما تنتج الغازات مجموعة من الخطوط الطيفية المنفصلة. وتتكوّن جميع الأطياف نتيجة تحولات في مستوى الطاقة في الذرة.
6. المجموع الأولي لطاقة الإلكترون في الذرة مضافًا إليها طاقة الفوتون الساقط تساوي الطاقة النهائية للإلكترون في الذرة.
7. يعتمد نصف قطر مستوى الإلكترون على n^2، لذلك، فإن $r_2 = 4r_1 = 0.106\ \text{nm}$
8. يعبر ضوءًا أبيض من خلال عينة من الغاز ومن ثم من خلال جهاز سبكتروسكوب، ولأن الغاز يمتص أطوال موجية محددة فإن الطيف المستمر العادي يحتوي على خطوط معتمة.
9. $46.3 \times 10^6\ \text{nm} = 4.63\ \text{cm}$ ميكروويف.
10. يمكن أن يتواجد الإلكترون في مدار بور $n = 1$ على بعد 1.8 km من كرة البلاستيك. وهذا يتجاوز الغرفة الصفية، ومن المحتمل أن يتجاوز حرم (حدود) المدرسة أيضًا.

يعدّ نموذج بور الأساس الذي مكّن العلماء من فهم تركيب الذرة، بالإضافة إلى حساب طيف الانبعاث، كان بور وطلبته قادرين على حساب طاقة التأين لذرة الهيدروجين. وطاقة تأين الذرة هي الطاقة اللازمة لتحرير إلكترون بصورة كاملة من الذرة وقد اتفقت طاقة التأين المحسوبة بصورة كبيرة مع النتائج العملية. وقدم نموذج بور أيضًا توضيحًا لبعض الخصائص الكيميائية للعناصر. إن الفكرة التي تبيّن أن للذرات ترتيبات إلكترونية خاصة بكل عنصر، تعدّ الأساس لمعظم معرفتنا بالتفاعلات والروابط الكيميائية.

حاز العالم نيلز بور على جائزة نوبل عام 1922م وتم تخليد إنجازاته في إصدار بعض الطوابع البريدية الموضحة في **الشكل 12–2**.

الشكل 12–2 التكريم في هذه الطوابع البريدية من الدنمارك، والسويد؛ فقد ساهمت إنجازات نيلز بور العظيمة على فهمنا للذرة، وقد حصل بها على اعتراف عالمي وعلى جائزة نوبل.

2–1 مراجعة

4. **نموذج رذرفورد النووي** لخص تركيب الذرة بناء على نموذج رذرفورد النووي.
5. **الأطياف** فيم تختلف أطياف الانبعاث الذرية للمواد الصلبة المتوهجة والغازات، وفيم تتشابه؟
6. **نموذج بور** فسّر كيف تحفظ الطاقة عندما تمتص ذرة فوتون ضوء؟
7. **نصف قطر المستوى** يسلك أيون الهيليوم سلوك ذرة الهيدروجين، ونصف قطر مستوى طاقة الأيون الأدنى يساوي 0.0265 nm، اعتمادًا على نموذج بور، ما مقدار نصف قطر مستوى الطاقة الثاني؟
8. **طيف الامتصاص** وضح كيفية الحصول على طيف الامتصاص لغاز ما. وضح أسباب ظهور الطيف.
9. **نموذج بور** تم الكشف عن تحوّل ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة 101، إلى مستوى الطاقة 100، ما مقدار الطول الموجي للإشعاع؟ أين يقع هذا الانبعاث في الطيف الكهرومغناطيسي؟
10. **التفكير الناقد** نصف قطر نواة ذرة الهيدروجين $1.5 \times 10^{-15}\ \text{m}$ تقريبًا. إذا كنت راغبًا في بناء نموذج لذرة الهيدروجين، باستخدام كرة بلاستيك ($r = 5\ \text{cm}$) تمثل النواة، فأين تضع إلكترونًا في مستوى $n = 1$؟ هل يكون موقعه في غرفة صفك؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية لمزيد من الاختبارات القصيرة ارجع إلى الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com

46

الأهداف
- **تصف** أوجه القصور في نموذج بور الذري.
- **تصف** النموذج الكمي للذرة.
- **توضح** كيف يعمل الليزر.
- **تصف** خصائص ضوء الليزر.

المفردات
النموذج الكمي
السحابة الإلكترونية
ميكانيكا الكم
الضوء المترابط
الضوء غير المترابط
الانبعاث المحفز
الليزر

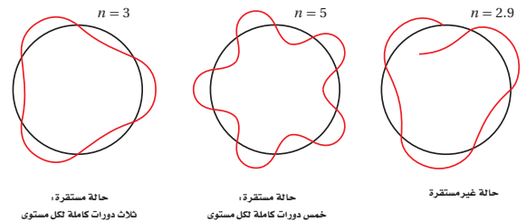
لم يكن بالإمكان تفسير الفرضيات التي قدمها بور على أساس المبادئ الفيزيائية المقبولة في تلك الفترة؛ فالنظرية الكهرومغناطيسية مثلاً، تتطلب أن تبعث الجسيمات المتسارعة طاقة، مما يؤدي إلى إنهيار سريع للذرة. كما أن الفكرة التي تقول إن الإلكترون الذي يدور له مستوى طاقة محدد، بنصف قطر معين، تتعارض مع مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج. فكيف يمكن وضع نموذج بور على أساس متين؟

من مستويات الطاقة إلى السحابة الإلكترونية

From Orbits to an Electron Cloud

تذكر من الفصل السابق أن دي برولي اقترح أن للجسيمات خصائص موجية، تمامًا كما للضوء خصائص جسيمية. يمكن حساب طول موجة دي برولي لجسيم زخمه الخطي mv باستخدام المعادلة: $\lambda = \frac{h}{mv}$ وبضرب طرفي المعادلة بنصف قطر المستوى r نحصل على الزخم الزاوي من المعادلة: $mvr = \frac{hr}{\lambda}$ ، وبحسب نموذج بور، فإن للزخم الزاوي قيمًا محددة تعطى من المعادلة: $mvr = \frac{nh}{2\pi}$، وبمساواة المعادلتين نحصل على: $n\lambda = 2\pi r$

أي أن محيط مستوى الطاقة في نموذج بور $2\pi r$ يساوي العدد الصحيح n مضروبًا في طول موجة دي برولي λ، **والشكل 13–2** يوضح هذه العلاقة. استخدم العالم النمساوي إيرن شرودنجر عام 1926م نموذج موجة دي برولي للوصول إلى نظرية الكم للذرة. هذه النظرية لم تعتمد على نموذج رذرفورد البسيط للذرة، كما فعل نموذج بور، وخاصة أن نصف قطر مسار الإلكترون لم يكن يشبه نصف قطر مدار الكوكب حول الشمس. كما أن مبدأ عدم التحديد يشير إلى أنه من المستحيل معرفة كل من موقع وزخم إلكترون في اللحظة نفسها، لذا فإن **النموذج الكمي** يتوقع احتمالية وجود الإلكترون في منطقة محددة فقط. ومن المثير للاهتمام أن النموذج الكمي للذرة تنبأ بأن المسافة الأكثر احتمالية بين الإلكترون والنواة لذرة الهيدروجين، هي نصف القطر نفسه الذي تم توقعه من خلال نموذج بور.



الشكل 13–2 للإلكترون الذي له مستوى مستقر حول النواة محيط يساوي حاصل ضرب العدد الصحيح n في طول موجة دي برولي. لاحظ أن العدد الصحيح $n = 3$ و $n = 5$ مستقران، بينما $n = 2.9$ غير مستقر.

2-2 النموذج الكمي للذرة

1. التركيز

نشاط محفّز

نموذج السحابة الالكترونيه للذرة اطلب إلى الطلبة تشكيل مخططٍ توضيحيٍّ، عن المفاهيم المتعلقة بنموذج السحابة الالكترونية للذرة الذي تم تعلمه في حصص الكيمياء أو الفيزياء سابقًا. اسمح للطلبة بمناقشة مفاهيمهم ثم استخدم المناقشة كنقطة بداية، لوصف خصائص الإلكترون في الذرة بدلالة الاطوال الموجية المحتملة. م 1 بصري-مكاني

الربط مع المعرفة السابقة

تطوير النموذج الكمي للذرة استُخدمت علاقة دي برولي ومبدأ عدم التحديد اللذان تمت مناقشتهما سابقًا في تعريف الطلبة بالنموذج الكمي الميكانيكي للذرة.

2. التدريس

التفكير الناقد

المستويات غير المستقرة اسأل الطلبة عن تفسير ظاهرة الموجة في الحالة غير المستقرة والموضحة في الشكل 13–2. التداخل الهدمّي م 2

نشاط

المستوى المستقر اقطع صفحات من ورق الطباعة (A4) إلى شرائط عرض كل منها ربع عرض الصفحة. أعط كل طالب ثلاثة شرائط. يقوم الطلبة بعناية بثني كل شريط بالنصف طوليًا. أخبر الطلبة أنهم سيشكلون نموذج مدار الحالة المستقرة، الذي افترضه بور وذلك بتمثيل الإلكترون بوساطة موجة دي برولي. ارجع إلى الشكل 13–2 راجع معهم مفهوم الموجة المستقرة التي درسوها في الصفوف السابقة، واطلب اليهم رسم مخطط توضيحي لنموذج قمة الموجة المستقرة على كامل طول أحد الشرائط المثنية، وبعد ذلك اقلب الشريط، وارسم المخطط ثانيةً في الجانب المثني الآخر. اطلب إليهم رسم مخطط لنموذج الموجة المستقرة الثانية والثالثة، على التوالي مستخدمين شرائط الورق المتبقية.

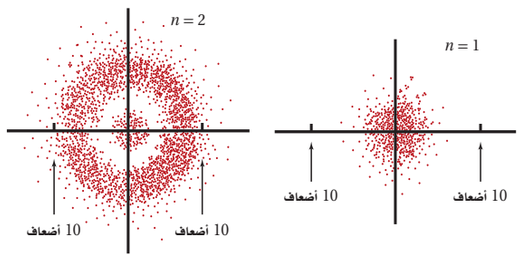
يقوم الطلبة بفض الشرائط وتشكيل دائرة من كل شريط وذلك بالإمساك بنهايتي الشريط المتقابلتين، ومن ثم ربط الطول الموجي للموجة المستقرة مع محيط الدائرة المشكلة. أحد النماذج سوف يرتبط مع المخطط الأول في الشكل 13–2 عند $n = 3$ م 2 حركي

استخدام الشكل 14–2

ذكّر الطلبة بأن الكثافة القصوى للسحابة المحتملة لمستوى الطاقة ($n = 1, 2, 3, \ldots$) تحدث على بعد من النواة، يعتمد على نصف قطر مدار الإلكترون في مستوى الطاقة نفسه.

اسأل الطلبة الأسئلة التالية: ما هو البعد الأكثر احتمالية من النواة لوجود الإلكترون في مستوى الطاقة $n = 1$؟ لمستوى الطاقة $n = 2$؟ $r_1 = 0.053\ \text{nm}$.

م 2 $r_2 = n^2 r_1 = (4)(0.053\ \text{nm}) = 0.21\ \text{nm}$



الشكل 14–2 هذه الرسومات تظهر احتمالية وجود الإلكترون في ذرة الهيدروجين عند مسافة تساوي عشرة أضعاف نصف قطر بور من النواة لكل من مستويي الطاقة الأول والثاني. كثافة توزيع النقاط ترتبط مع احتمالية وجود الإلكترون.

إن احتمالية وجود الإلكترون عند نصف قطر محدد يمكن حسابه ، وكذلك يمكن تكوين تمثيل ثلاثي الأبعاد لتوضيح مناطق الاحتمالات المتساوية. والمنطقة ذات الاحتمالية العالية لوجود الإلكترون فيها تسمى **سحابة إلكترونية**. و**الشكل 14–2** يوضح مقطعًا لسحابة إلكترونية تمثل حالتي الطاقة الأقل في ذرة الهيدروجين.

وعلى الرغم من صعوبة تصور النموذج الكمي للذرة، فإن **ميكانيكا الكم** – وهي دراسة خصائص المادة باستخدام خصائصها الموجية– قد حققت نجاحًا هائلاً في توقع الكثير من المعلومات التفصيلية لتركيب الذرة؛ فقد كان من الصعب جدًّا حساب تلك التفاصيل بدقة إلا للذرات البسيطة؛ وكانت الحسابات التقريبية العالية الدقة للذرات الثقيلة تتم من خلال الحواسيب المتطورة فقط. لكن ميكانيكا الكم تمكنت من جعل تراكيب بعض الجزيئات قابلة للحساب، مما أتاح للكيميائيين القدرة على تحديد ترتيب الذرات في الجزيئات.

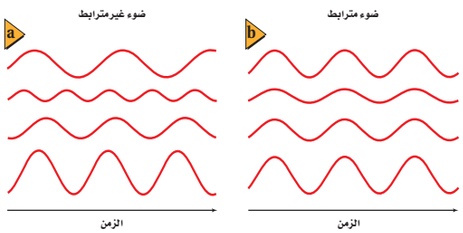
واسترشادًا بميكانيكا الكم، استطاع الكيميائيون تحضير جزيئات جديدة ومفيدة لم تكن موجودة أصلاً في الطبيعة. وتستخدم ميكانيكا الكم أيضًا؛ لتحليل تفاصيل امتصاص وانبعاث الضوء من الذرات. ونتيجة لنظرية ميكانيكا الكم، تم تطوير مصدر جديد للضوء.

الليزر Light amplification by stimulated emission of radiaion

كما تعلم، فإن الضوء المنبعث عن مصدر متوهج يتكون من سلسلة متتالية من الأطوال الموجية، في حين أن الضوء الناتج عن الغاز الذري يتكون من بعض الأطوال الموجية المميزة للغاز. إن الضوء المنبعث من كلا المصدرين ينتقل في جميع الاتجاهات. وبالإضافة إلى ذلك فإنه ليس من الضرورة أن تنتقل الموجات الضوئية المنبعثة من الذرات عند إحدى نهايتي أنبوب غاز التفريغ بالطور نفسه، أو أن تتزامن الموجات مع موجات الطرف الآخر للأنبوب. لذلك فليس من الضرورة تواجد جميع الموجات عند النقطة نفسها في اللحظة نفسها خلال دورتها. وتذكّر مما درسته سابقًا، أن الموجات التي تنتقل بالطور نفسه وتتوافق عند الحدود الدنيا، والحدود القصوى تكون مترابطة.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

التداخل البنائي اطلب إلى الطلبة عمل رسم تخطيطي لنموذج موجة الضوء المنبعث من ليزر He–Ne. سيرسم معظم الطلبة سلسلة من الموجات المتوازية المترابطة. والمماثلة لتلك التي في الشكل15b–2. أشر إلى أن مثل هذه الحالة لن تكون موجودة، بسبب إحدى الخصائص الموجية وهي التداخل. وضّح أن الموجات لن تتواجد مستقلة ولكنها تخضع للتداخل البنائي. فعندما تعبر قمة أو بطن إحدى الموجات خلال قمة أو بطن موجة أخرى، ستتكون موجة ضوئية ذات شدة أعلى، بحيث أن سعتها تساوي مجموع سعتي الموجتين.



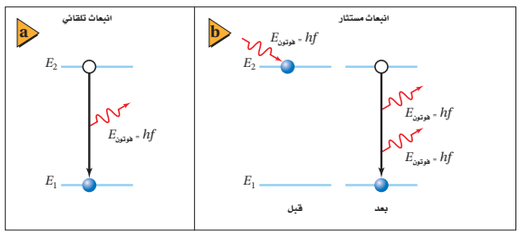
الشكل 15–2 يوضح موجات الضوء غير المترابطة (a) وموجات الضوء المترابطة (b).

ويشار إلى أن موجات الضوء المترابطة تكون **ضوءًا مترابطا**، بينما تنتج موجات الضوء المختلفة في الطور **ضوءًا غير مترابط**. ويوضح **الشكل 15–2** نوعي هذه الموجات.

ينبعث الضوء من الذرات المثارة. وقد درست حتى الآن طريقتين يمكن أن تثار بهما الذرات، وهما الإثارة الحرارية، وتصادم الإلكترون. لكن يمكن للذرات أن تثار أيضًا نتيجة تصادمها مع فوتونات ذات طاقة محددة.

الانبعاث التلقائي ماذا يحدث بعد أن تصبح الذرة في حالة إثارة؟ تعود الذرة بعد وقت قصير عادة إلى حالتها المستقرة، باعثة فوتونًا له الطاقة نفسها التي كان قد امتصها، كما هو موضح في **الشكل 16a–2**، وهذه العملية تسمى الانبعاث التلقائي.

الانبعاث المستثار فكّر أينشتاين عام 1917م فيما يحدث لذرة مثارة أصلاً، اصطدم بها بفوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين حالة الإثارة وحالة مستقرة، فبيّن حينها أن هذه الحالة للذرة تسمى **الانبعاث المستثار**؛ حيث تعود الذرة إلى الحالة المستقرة، وتبعث بفوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين الحالتين. بينما لا يتأثر الفوتون الذي سبّب أو استثار الانبعاث. ثم يغادران الذرة معًا ليس بالتردد نفسه فقط، بل يكون لهما الطور نفسه، ويكونان مترابطان كذلك كما هو موضح في **الشكل 16b–2**، وقد يصطدم أي من هذين الفوتونين بذرات أخرى مثارة، ومن ثم ينتج فوتونات أخرى؛ بحيث يكون لها الطور نفسه مع الفوتونات الأصلية. وقد تستمر هذه العملية، منتجة سيلاً من الفوتونات التي لها الطول الموجي نفسه حيث يكون لها جميعا حدود قصوى، وحدود دنيا في اللحظة نفسها.



الشكل 16–2 خلال الانبعاث التلقائي، ينتقل إلكترون من حالة الإثارة E_2 إلى حالة الاستقرار E_1. فينبعث تلقائيًا فوتون طاقته $(a) hf$. وخلال الانبعاث المستثار يصطدم فوتون ساقط طاقته $|E_2 - E_1|$ بذرة فتنتقل إلى حالة الاستقرار، وتبعث فوتونًا ويغادر كل من الفوتون الساقط والفوتون المنبعث ويكون لهما الطاقة نفسها (b).

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

الميزرات إن تضخيم الانبعاث المستثار تحقق في البداية باستخدام موجات الميكروويف. وسمي هذا التأثير بالميزر. وكلمة ميزر هي مختصر لعبارة **تضخيم موجات الميكروويف للانبعاث المستثار بالإشعاع**. وظهر هذا التأثير لأول مرة في عام 1953م من قبل الفيزيائي الأمريكي جارلز كارلس تونز. وتحقق المفهوم نفسه بعد ذلك للضوء (الليزر) في عام 1959م، على يد العالم ثيودور هارولد ميمن. وقد حصل العالم تونز مع الفيزيائيين الروسيين نيوكلاي. ب. بواسوف والكسندر م. بروكروف على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1964م على إنجازهم في "العمل الأساسي في إلكترونيات الكم، التي تقود إلى بناء المذبذبات والمضخمات اعتمادًا على مبدأ ميزر–ليزر".

تقوية

الفوتونـات المترابطة أكّد عـلى أن الفوتون الذي يحفز ذرة مثارة، يمتلك الطاقة والطول الموجي نفسيهما للفوتون المنبعث؛ لأنه ينبعث بوساطة إلكترون مثار عند مستوى الطاقة نفسه في ذرة مماثلة. م2

تطوير المفهوم

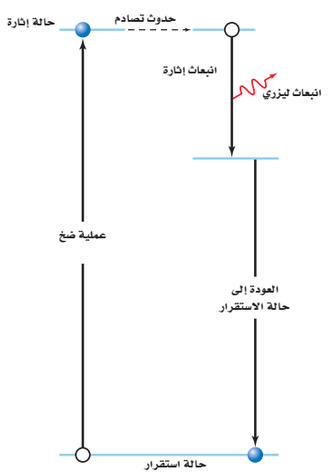
الانعكاس والانتقال وضح أيضًا انه يمكن تفسـير كل من انعكاس الضوء داخل جهاز الليزر، وانتقال شعاع الليزر خارجه بوساطة كل من الطبيعة الموجية والجسـيمية. لذلك، سـيكون من السهل على الطلبة تخيل انعكاس الضوء إلى الخلف وإلى الأمام في الغاز المليزر، كتوضيح للطبيعة الجسيمية للضوء، وانتقال الضوء خلال المرآة العاكسة جزئيًا كتوضيح للطبيعة الموجية للضوء. م2 **بصري–مكاني**

ولكي يحدث الانبعاث المستثار فإنه ينبغي أن تتحقق الشروط التالية: أولاً: يجب أن تكون هنـاك ذرات أخرى مثارة. ثانيًا: يجب أن تبقى الذرات مثارة لفترة زمنية كافية حتى يحدث التصادم. ثالثًا: يجب السيطرة على الفوتونات وتوجيهها لتكون قادرة على إحداث تصادم مع الذرات المثارة.

في عـام 1959م، تـم ابتكار أداة تسـمى **ليزر**، وقـد حققت جميع الـشروط اللازمة لإنتاج ضوء مترابط. وكلمة ليزر هي اختصار للعبارة "تضخيم الضوء بوساطة الانبعاث المستثار للإشعاع". والذرة التي تبعث الضوء عندما تكون مثارة في الليزر تسمى ذرة ليزرية.

إثـارة الـذرة الـذرات في الليزر يمكن أن تثار أو تضخ كما هو موضح في **الشـكل 17–2**. حيـث يمكـن لومضة كثيفة مـن الضوء، ذات طـول موجي أقصر من الليزر أن تسـتخدم لضـخ الـذرات. وتُنتج الفوتونـات ذات الطول الموجي الأقصر، والطاقة الأكبر بوسـاطة الومضـة التي تصطدم بذرات الليزر، لتصبح مثارة. وعندمـا تنتقل إحدى الذرات المثارة إلى مسـتوى الطاقة الأدنى بانبعاث فوتون يبدأ انبعاث سـيل من الفوتونات. وهذه نتيجة عمليـة لانبعـاث ومضة صغيرة أو نبضة مـن ضوء الليزر. كما يمكن للـذرات الليزرية أن تثار نتيجة التصادم مع ذرات أخرى. ففي أجهزة ليزر هيليوم– نيون التي نشـاهدها غالبًا في مختـبرات العلوم، فإن التفريـغ الكهربائي هو الذي يثـير ذرات الهيليوم، حيث تصطدم ذرات الهيليـوم المثـارة مع ذرات النيـون لتصبح مثارة، وتتحـول إلى ذرات ليزرية. وضوء الليزر الناتج عن هذه العملية يكون مستمرًّا، وليس على شكل نبضات.

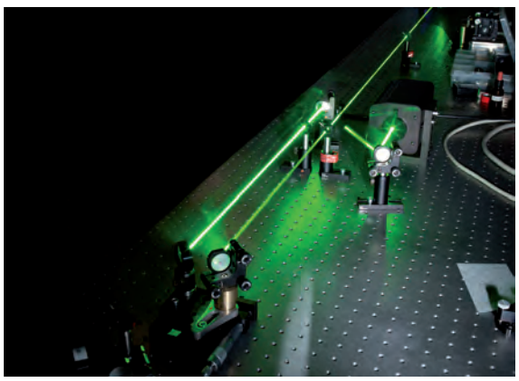
الشكل 17–2 عندما يصطدم فوتون، مع ذرة مثـارة، فإنـه يحفز الـذرة لتبعث فوتونًـا مترابطًـا ثانيًـا، لتعود الـذرة إلى حالتها الأولى.



إنتاج الليزر الفوتونات المنبعثة من الذرات الليزرية تبقى محتواة عن طريق حصر تلـك الذرات في أنبوب زجاجي على طرفيه المتقابلين مرايا مسـتوية متوازية، وسـطوحها العاكسـة متقابلة. إحدى هذه المرايـا عاكسـة بمقـدار يزيـد عـلى 99.9%، وتعكـس كل الضوء السـاقط عليها تقريبًا، بينما المرآة الأخرى عاكسـة جزئيًّا، وتسـمح لـ 1% من الضوء الساقط عليها بالمرور من خلالها. حيث تنعكس الفوتونـات التـي تنبعث في اتجـاه نهايتي الأنبوب مرتـدة إلى الغاز بوساطة المرايا، وتصطدم الفوتونات المنعكسة بذرات أكثر، محرِّرة فوتونات أكثر عند كل عبور بين المرايا. وباسـتمرار العملية تتكوّن كثافة أكبر من الفوتونات، ثم تخرج الفوتونات من الأنبوب خلال مرآة جزئية الانعكاس، منتجة شـعاع ليزر. **الشكل 18–2** يوضح الليزر المستخدم في المختبر.

نشاط **مشروع فيزياء**

ميكانيكا الكم والميكانيكا الكلاسيكية بإمكان الطلبة المهتمين في ميكانيكا الكم، البحث في الدراسة العلمية التي طُورت لتفسير السلوك دون المجهري. لأن الميكانيكا التي تعتمد على قوانين نيوتن (الميكانيكا الكلاسيكية) فشلت في تحقيق ذلك. اطلب إلى الطلبة مناقشة صحة القوانين التقليدية للميكانيكا الكلاسيكية، كتقريب لقوانين ميكانيكا الكم لبحث ازدواجية موجة–جسيم، واعتبارات الطاقة التي لها أهمية كبيرة في المستوى دون المجهري، وأهميتها على المستوى الجاهري. م3 **لغوي**



■ **الشكل 18–2** ينتج مصدر الأرجون هذا شعاعًا من ضوء مترابط.

ولأن جميع فوتونات الإثارة، تنبعث في الطور نفسه مع الفوتونات التي تصطدم بالذرات، فإن ضوء الليزر يكون مترابطًا. وكذلك فإن ضوء الليزر له الطول الموجي نفسه (أحادي اللون) بسبب انتقال الإلكترونات بين زوج واحد فقط من مستويات الطاقة، وفي نوع واحد من الذرات. المرايا المتوازية المستخدمة في الليزر والتي ينتج عنها انبعاث ضوء الليزر، تكون موجهة بدقة عالية جدًا. ومن جهة أخرى، فإن ضوء الليزر لا ينحرف مهما ابتعد عن مصدره. ولأن شعاع الليزر التقليدي صغير جدًا، لا يتجاوز قطر شعاعه 2 mm، فإن الضوء يكون عالي الكثافة. ويمكن تصنيع بعض المواد الصلبة والسائلة والغازية لتصبح ليزرية، من ناحية أخرى، فإن معظم المواد تنتج ضوء ليزر بطول موجي واحد. ويمكن إعادة ضبط الضوء الصادر من بعض مصادر الليزر على مدى معين من الأطوال الموجية.

تطبيقات الليزر Laser Applications

عندما تشغل جهاز تشغيل القرص المدمج CD أو DVD، فإنك بذلك تستخدم الليزر. وأجهزة الليزر هذه، تشبه تلك المستخدمة في مؤشرات الليزر، وهي مصنوعة من مواد صلبة شبه موصلة. فمصدر الليزر في مشغل القرص المدمج مصنوع من طبقات من زرنيخات الجاليوم (GaAs)، ومن الزرنيخ والجاليوم والألومونيوم GaAlAs، ويبلغ سمك الطبقة الليزرية 200 nm فقط، وطول كل جانب من البلورة (1–2 mm) فقط. وتضخ ذرات المادة شبه الموصلة الصلبة بوساطة تيار كهربائي، وتضخم الفوتونات الناتجة كلما ارتدت بين نهايات البلورة المصقولة. يوضح **الجدول 1–2** بعض مصادر الليزر الشائعة والطول الموجي، ونوع الليزر لكل منها.

مهن في الحياة اليومية

معلومة للمعلم

فني ليزر يمكن لفني الليزر أن ينتج، ويختبر، ويُشغّل، و/ أو يعمل صيانة لأجهزة الليزر. ويمكن لفني الليزر أن يُوظف في المستشفيات، وشركات الألياف البصرية، ومختبرات البحث، ومحطات توليد الكهرباء، والتصنيع في المجالات العسكرية، وبرامج الفضاء، أو في المواقع الإنشائية. وبعض فنيي الليزر مسؤولين عن تحديد العيوب في قطع غيار الآلات، وتشخيص مشكلات طبية، أو صناعة أجهزة الهولوجرام لبعض التطبيقات كالبطاقات المشحونة. يحتاج الفني لدراسة تقنية الليزر لخبرة سنتين إلى أربع سنوات حتى يصبح محترفًا في مجاله.

تجربة إضافية

حيود ضوء الليزر

الهدف استقصاء الأطوال الموجية لضوء الليزر.

المواد والأدوات مؤشر ليزر أو أي مصدر ليزر منخفض الطاقة. ومحزوز حيود، وشاشة بيضاء.

تحذير: أخبر الطلبة تجنب النظر مباشرة إلى شعاع الليزر أو على الانعكاسات الساطعة. وعلى الطلبة خلع الخواتم والساعات لأنها قد تعكس الشعاع عرضيًا باتجاه عين أحدهم.

الخطوات

1. اطلب إلى الطلبة توقع ما سيشاهدون عند ملاحظة ضوء الليزر يسطع خلال محزوز الحيود.
2. سلط ضوء الليزر على شاشة بيضاء على بعد 30 cm تقريبًا، واطلب الى الطلبة ملاحظة الضوء المنعكس من خلال محزوز الحيود. سيلاحظ الطلبة الضوء الأحمر فقط (أو لون أحادي آخر إذا كان الليزر المستخدم ليس أحمرًا) من خلال محزوز الحيود.

التقويم اسأل الطلبة الأسئلة التالية: هل الليزر ضوء أحادي اللون؟ نعم. هل يحتوي على أطوال موجية لأي لون غير الأحمر؟ لا. يتوقع الطلبة كيف ستكون المشاهدات متشابهة أو مختلفة، إذا كان الليزر المستخدم هو الضوء الأخضر. يمكن مشاهدة الضوء الأخضر فقط، ولكن في موقع مختلف؛ لأن الطول الموجي للضوء الأخضر مختلف عنه في الضوء الأحمر.

تطبيق الفيزياء

اكسايمر (Excimer مختصر لكلمتين excite و dimer) يعني جزيئات تحتوي على ذرتين إحداهما على الأقل في حالة إثارة. ولا تكون ذرتا الجزيء في حالة استقرار. وهذه الجزيئات هي هاليدات غاز مثالي تحتوي على فلوريد الأرغون، أو فلوريد الكربتون، أوكلوريد الزنون .

والطاقة المنبعثة بوساطة فوتونات ليزر الإكسايمر لا تتلف الأنسجة المحيطة، لأنها لا تولّد حرارة، لكنها تحوّلها مباشرة إلى غاز، وذلك بتحطيم الروابط الكيميائية. ومن تطبيقات ليزر الإكسايمر استخدامها في عمليات القسطرة لعلاج انسداد الشرايين، و الأوعية الدموية، وعمليات الترقيع للشرايين التالفة. وأجهزة ضبط نبضات القلب، والمشكلات المتعلقة بنظام الدورة الدموية.

المناقشة

سؤال ما الأمثلة على تطبيقات تقنية الليزر المعتمدة على ضوء الليزر عندما يكون (a) أحادي اللون (b) مترابط (c) موجّه بدقة عالية (d) ذو شدة عالية؟

الجواب قد تتضمن الإجابات (a) التحليل الطيفي (b) هولوجرافيا (تقنية التصوير التجسيمي باستخدام الضوء المتشتت)، والألياف البصرية، والاتصالات. (c) التشخيص (d) الجراحة بالليزر، والحفر.

م2 منطقي - رياضي

جراحة العين بالليزر

يستخدم الليزر المثار في جراحة العين، لأن طاقة الفوتونات التي تبعثها قادرة على تدمير النسيج غير الطبيعي دون إحداث أذى بالأنسجة السليمة المحيطة.

لذلك، فإن الجرّاح الماهر يستطيع باستخدام الليزر، إزالة طبقات رقيقة جدًا من الأنسجة لإعادة شكل الشبكية.

الجدول 1-2

مصادر الليزر الشائعة

المصدر	الطول الموجي (nm)	النوع
غاز فلوريد الكريتون (krF)	248 (فوق بنفسجي)	نبض
غاز نيتروجين (N_2)	337 (فوق بنفسجي)	نبض
بلورة نيتريد الجاليوم والإنديوم (InGaN)	420	مستمر
أيون الأرجون (Ar^+)	476.5، 488.0، 514.5	مستمر
غاز النيون (Ne)	632.8	مستمر
بلورة الزرنيخ والجاليوم والألومنيوم (GaAlAs)	635 ، 680	مستمر
بلورة زرنيخات الجاليوم (GaAs)	(تحت حمراء) 840–1350	مستمر
بلورة النيوديميوم (Nd)	(تحت حمراء) 1064	نبض
غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2)	(تحت حمراء) 10600	مستمر

على الرغم من قلة فاعلية معظم مواد الليزر إلا أن خصائصه المميزة كعدم تشتته عند قطع المسافات الطويلة، وكون حزمة الليزر ضيقة وموجهة بدقة كبيرة جعلته يدخل في بعض التطبيقات كاختبار استقامة الأنفاق والأنابيب.

عندما هبط رواد الفضاء على سطح القمر، قاموا بتثبيت مرايا على سطحه، وهذه المرايا استخدمت لتعكس حزم الليزر التي ترسل من الأرض، وبذلك أمكن حساب المسافة بين القمر والأرض بدقة عالية، وكذلك تتبع مواقع القمر من مناطق مختلفة على الأرض، وقياس حركة الصفائح التكتونية الأرضية.

يستخدم ضوء الليزر بصورة شائعة في اتصالات الألياف البصرية؛ حيث يعمل سلك الليف البصري على الانعكاسات الداخلية الكلية، لنقل الضوء لمسافات طويلة بخسارة بسيطة لطاقة الإشارة. وقد حلت الألياف البصرية على مستوى العالم محل الأسلاك النحاسية لنقل المكالمات التليفونية، وبيانات الحاسوب، أو حتى الصور التليفزيونية.

الشكل 19-2 فوتونات الأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من جهاز الليزر هذا قادرة على نزع إلكترونات من ذرات أنسجة الهدف. فتحطم الفوتونات الروابط الكيميائية وتبخر الأنسجة.

نشاط

مشروع فيزياء

تقنية الليزر اطلب الى الطلبة البحث في مجموعتين عن تقنيات الليزر، المجموعة الأولى تبحث في استخدام الليزرات لتطوير التقنية القديمة، مثل استخدام ضوء الليزر في عملية التشخيص، والحفر، والجراحة. المجموعة الثانية تبحث في استخدام الليزرات لإنتاج تقنية جديدة مثل تقنية التصوير التجسيمي باستخدام الضوء المتشتت والاتصالات البصرية. اطلب الى كل طالب من كل مجموعة اختيار موضوع معين، ثم يعرض بحثه على شكل ملصق، أو نص اخباري تلفازي، أو تقرير مكتوب. م2 لغوي

وكذلك، فإن الطول الموجي الأحادي للضوء الصادر عن أجهزة الليزر، يجعلها تستخدم في أجهزة المطياف لتحليل عينة ما. حيث يستخدم ضوء الليزر لإثارة ذرات أخرى، ثم تعود الذرات بعد ذلك إلى حالة الاستقرار، وتبعث طيفًا مميّزًا يمكن من خلاله التعرف على العينة ومكوناتها.

تستخدم الطاقة المركّزة لضوء الليزر بطرائق متعددة وفي مجالات مختلفة. ففي الطب مثلاً يستخدم الليزر في إعادة تحدب قرنية العين إلى وضعها الطبيعي. ويمكن إستخدامه في الجراحة بدون دم أيضًا، كما هو موضح في **الشكل 19–2**. ويستخدم الليزر في الصناعة أيضًا لقطع المعادن مثل الفولاذ وتلحيم المواد معًا. ومن المحتمل في المستقبل أن يستخدم الليزر لإنتاج اندماج نووي لإيجاد مصدر للطاقة لا ينضب تقريبًا.

جهاز الهولوجرام الموضح في **الشكل 20–2**، عبارة عن مسجّل فوتوجرافي لكل من شدة وطور الضوء. وقد أصبح إنتاج أجهزة الهولوجرام ممكنًا بفضل الطبيعة المترابطة لضوء الليزر. وباستطاعة أجهزة الهولوجرام هذه تكوين صور ثلاثية الأبعاد. وهناك تطبيقات أخرى تستخدم في صناعة أجهزة أشباه الموصلات مثل الدوائر المتكاملة، كما تستخدم لدراسة اهتزازات المعدات الحساسة.

الشكل 20–2 يتشكل الهولوجرام عندما يسجّل نمط التداخل بين الموجة المرجعية والموجة المنعكسة عن الجسم.

2–2 مراجعة

11. **أجهزة الليزر** آي أجهزة الليزر في الجدول 1–2 تبعث ضوءًا أكثر احمرارًا (ضوءًا مرئيًّا ذا طول موجي كبير). وأيها يبعث ضوءًا أزرق؟ وأيها يبعث حزمًا ضوئية لا يمكن رؤيتها بالعين؟
12. **ضخ الذرات** وضح ما إذا كان يمكن استخدام الضوء الأخضر لضخ ضوء ليزر أحمر. لماذا لا يستخدم الضوء الأحمر لضخ الضوء الأخضر؟
13. **محددات نموذج بور** ما أوجه القصور في نموذج بور، على الرغم من توقعه سلوك ذرة الهيدروجين بدقة؟
14. **النموذج الكمي** وضح لماذا تعارض نموذج بور للذرة مع مبدأ عدم التحديد، بينما لم يتعارض النموذج الكمي معه؟
15. **أجهزة الليزر** وضح كيف يعمل ليزر الانبعاث المستثار على إنتاج ضوء مترابط؟
16. **ضوء الليزر** ما الخصائص الأربعة لضوء الليزر التي تجعله مفيدًا؟
17. **التفكير الناقد** افترض أنه تم الحصول على سحابة صغيرة جدًّا من الإلكترونات، بحيث تكون الذرة بحجم النواة تقريبًا. استخدم مبدأ عدم التحديد؛ لتوضيح لماذا تستهلك كمية هائلة من الطاقة في هذه الحالة؟

3. التقويم

التحقق من الفهم

كثافة السحابة الالكترونية اسأل الطلبة ماذا تمثل كثافة توزيع النقاط في نموذج السحابة الالكترونية. تمثل الكثافة احتمالية وجود الإلكترون في ذلك الموقع. م 2 بصري–مكاني

التوسع

سحابات الإلكترون والاحتمالية اطلب الى الطلبة تذكر مشهد توزيع الماء من مرشات الحشائش الدوّارة. كما يمكنك رسم مخطط لشكل المرشاش على شكل رقم 8 أفقيًّا على السبورة. ظلل الشكل – زيادة كثافة التظليل ثم انقاصها ثم زيادة ثم نقصان ثانية وبانتظام من اليسار إلى اليمين– وأشر إلى أن كثافة التظليل تمثل كثافة قطرات الماء في المرشات تمامًا كما تزداد فرص بلل الطلبة بالماء أثناء عبورهم من خلالها. وبطريقة مماثلة فإن كثافة توزيع النقاط في السحابة الإلكترونية تمثل فرصهم في الكشف عن وجودالإلكترون. م 2 بصري–مكاني

2-2 مراجعة

11. N_2 و InGaN؛ KrF و Ar^+؛ GaAlAs و Co_2 و Nd و GaAs
12. نعم، للفوتونات الحمراء طاقة أقل من طاقة الفوتونات الخضراء، لا تمتلك الفوتونات الحمراء طاقة كافية حتى تنبعث من الذرات.
13. لأنه يستطيع فقط أن يتوقع سلوك ذرات الهيدروجين، لكن لا يستطيع أن يفسّر لماذا لا تطبق القوانين الكهرومغناطيسية.
14. وفق مبدأ عدم التحديد لا يمكن أن تحدد موضع الجسيم وكمية تحركه بدقة في الوقت نفسه، مثل مدار بور. النموذج الكمي يتنبأ فقط باحتمالية أن نصف قطر مستوى الإلكترون سوف يكون له قيمة ما معطاة.
15. يستطيع الفوتون أن يحفز ذرة مثارة لبعث فوتون بالطاقة نفسها بالتزامن مع الفوتون المسبب. يبقى الفوتون المسبب دون تغير. وهكذا تنتج حزمة مترابطة وتزداد أكثر فأكثر في الخطوة نفسها.
16. ضوء مركّز ذو طاقة كبيرة؛ وموجّه؛ وذو طول موجي مُوحد، ومترابط.
17. السحابة الأصغر تعني معرفتنا بدقة أكبر لموقع الإلكترون. إذا كان موقع الجسيم محددًا بدقة، فإن زخمه الخطي يكون غير محدد بدقة. قد يكون عدم تحديد الزخم الخطي كبيرًا فقط إذا كان الزخم الخطي كبيرًا، لذلك فإن الطاقة الحركية للإلكترون يجب أن تكون كبيرة أيضًا، مما يتطلب طاقة كبيرة.

مختبر الفيزياء

الزمن المقدر حصة مختبر كاملة.

المهارات العملية التفسير، واستخدام النماذج، وجمع وتنظيم الملاحظات، والتحليل والاستنتاج.

احتياطات السلامة اطلب الى الطلبة فورًا جمع أي حبيبات صغيرة تسقط على الأرض، لأن سقوط الحبيبات الصغيرة قد يؤدي إلى الانزلاق أو السقوط.

المواد والأدوات البديلة يمكن استخدام الخرز الموجودة في كيس القماش الذي يستخدمه الأطفال في اللعب بدلاً من الحبيبات الصغيرة لأنها أكثر سهولة للتفريغ.

استراتيجيات التدريس

- **التأكيد على الطبيعة العشوائية في التحليل الاحتمالي.**
- **وضّح أن نتائج نماذج الاحتمالية تتحسن بصورة عامة كلما ازداد عدد البيانات المجمّعة.**
- **التأكد من أن الحبيبات الصغيرة تسقط عشوائيًا، بحيث يقوم الطالب بإسقاط الحبيبات وهو ينظر بعيدًا.**

مختبر الفيزياء

إيجاد حجم الذرة Finding the Size of an Atom

استخدم العالم إرنست رذرفورد التحليل الإحصائي والاحتمالات للمساعدة على تحليل نتائج تجربة صفيحة الذهب الرقيقة. في هذه التجربة سوف تشكل نموذجًا لصفيحة رقيقة من الذهب مستخدمًا كرات صغيرة وكؤوسًا. ثم تحلل نتائجك عن طريق الاحتمالات لتقدير حجم جسم لا يمكن رؤيته.

سؤال التجربة

كيف يمكن استخدام الاحتمالات لتحديد حجم جسم لا يمكن رؤيته؟

الأهداف

- **تفسير البيانات** لتحديد احتمالية تصادم الكرات الصغيرة مع الجسم غير المرئي.
- **حساب** حجم الجسم غير المرئي اعتمادًا على الاحتمالات.

احتياطات السلامة

- **تأكد من التقاط الكرات الصغيرة فور سقوطها على الأرض.**

المواد والأدوات

صندوق كرتون.
ثلاث كؤوس ورقية صغيرة متماثلة.
200 كرة صغيرة.
مسطرة.
منشفة أو قطعة قماش كبيرة.

الخطوات

1. استخدم المسطرة لقياس طول وعرض الصندوق من الداخل. دوّن القياسات في جدول النتائج.
2. استخدم المسطرة؛ لقياس قطر فوهة إحدى الكؤوس. دوّن القياس في جدول النتائج.
3. ضع الصندوق عند وسط المنشفة المطوية، بحيث تمتد المنشفة على الأقل 30 cm حول جوانب الصندوق.
4. ضع الكؤوس الورقية الثلاث عشوائيًّا على قاعدة الصندوق.
5. يقوم أحد زملائك بإسقاط 200 كرة صغيرة عشوائيًّا في الصندوق. تأكد أن يوزع زميلك الكرات الصغيرة بانتظام على مساحة الصندوق. لاحظ أن بعض الكرات الصغيرة قد تسقط خارج الصندوق على المنشفة.
6. احسب عدد الكرات الصغيرة التي سقطت في الكؤوس، ودوّن القيمة في جدول النتائج.

التحليل

1. احسب مساحة صندوق الكرتون. مساحة الشكل المستطيل تعطى بالمعادلة: المساحة = الطول × العرض.
2. احسب مساحة فوهة الكأس، باستخدام القطر الذي قسته. مساحة الدائرة تعطى بالمعادلة:

$$\text{المساحة} = \pi r^2$$

3. احسب المساحة الكلية للكؤوس؛ وذلك بضرب مساحة إحدى الكؤوس في العدد الكلي للكؤوس.
4. احسب النسبة المئوية المشغولة من الصندوق بالكؤوس الثلاث، وذلك بقسمة المساحة الكلية للكؤوس على مساحة الصندوق، ثم اضرب الناتج في العدد 100 .

54

عيّنة بيانات

طول صندوق الكرتون (cm)	17.0	عدد الحبيبات الساقطة	200
عرض صندوق الكرتون (cm)	20.0	عدد الحبيبات في الكؤوس	19
مساحة صندوق الكرتون (cm^2)	3.40×10^2	نسبة الحبيبات في الكؤوس	9.50
نصف القطر المقاس للكأس (cm)	3.8	نسبة صندوق الكرتون المشغول بالكؤوس التي تعتمد على الاحتمالية	9.50
المساحة المحسوبة للكأس (cm^2)	11	مساحة الكؤوس الكلية التي تعتمد على الاحتمالية (cm^2)	3.32
العدد الكلي للكؤوس	3	عدد الكؤوس	3
مساحة الكؤوس الكلية المحسوبة (cm^2)	33	مساحة الكأس الواحدة التي تعتمد على الاحتمالية (cm^2)	10.8
نسبة صندوق الكرتون المشغولة بالكؤوس	9.7		

جدول البيانات						
	بياناتك	بيانات المجموعة 2	بيانات المجموعة 3	بيانات المجموعة 4	بيانات المجموعة 5	متوسط الصف
طول الصندوق (cm)						
عرض الصندوق (cm)						
مساحة الصندوق (cm^2)						
القطر المقيس للكأس الورقي (cm)						
المساحة المحسوبة لفوهة الكأس (cm^2)						
العدد الكلي للكؤوس	3	3	3	3	3	3
المساحة الكلية المحسوبة لفوهات الكؤوس (cm^2)						
النسبة المئوية المحتلة للصندوق والمشغولة بالكؤوس (cm^2 %)						
عدد الكرات الصغيرة الساقطة.	200	200	200	200	200	200
عدد الكرات الصغيرة في الكؤوس.						
النسبة المئوية للكرات الصغيرة في الكؤوس.						
النسبة المئوية للصندوق والمشغولة بالكؤوس اعتمادًا على الاحتمالات.						
المساحة الكلية للكؤوس اعتمادًا على الاحتمالات (cm^2)						
عدد الكؤوس	3	3	3	3	3	3
مساحة كأس واحد اعتمادًا على الاحتمالات (cm^2)						

5. احسب النسبة المئوية للكرات الصغيرة التي سقطت في الكؤوس بقسمة عدد الكرات الصغيرة في الكؤوس على عدد الكرات الصغيرة الساقطة، ثم اضرب الناتج في العدد 100
6. حدد النسبة المئوية للصندوق والمشغولة بالكؤوس، اعتمادًا على الاحتمالات لاحظ أن هذه النسبة المئوية (تشبيهًا) تمثل النسبة المئوية للكرات التي سقطت في الكؤوس.
7. احسب المساحة الكلية للكؤوس، اعتمادًا على الاحتمالات. لحساب هذه القيمة أوجد حاصل ضرب النسبة المئوية للصندوق المشغولة بالكؤوس في مساحة الصندوق.
8. احسب مساحة كل كأس اعتمادًا على الاحتمالات. وذلك بإيجاد حاصل قسمة المساحة الكلية للكؤوس على ثلاثة.
9. دوّن نتائجك التجريبية ونتائج المجموعات الأخرى في جدول النتائج، ثم احسب معدلات الصف لجميع النتائج.
10. **تحليل الخطأ.** قارن حساباتك لمساحة الكأس، اعتمادًا على الاحتمالات (قيمة تجريبية) مع مساحة الكأس المحسوبة من القطر المقيس (قيمة مقبولة). ما الخطأ النسبي في قيمتك اعتمادًا على الاحتمالات؟ احسب الخطأ النسبي مستخدمًا المعادلة التالية:

$$\text{الخطأ النسبي} = \frac{|\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة التجريبية}|}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\%$$

الاستنتاج والتطبيق

1. هل كنت قادرًا على تحديد دقيق للحيز الذي تشغله الكؤوس بناء على الاحتمالات؟ فسر ذلك من حيث الخطأ النسبي.
2. اكتب قائمة بمصادر محتملة للخطأ في هذه التجربة، واصفًا تأثيرها في نتائجك.

التوسع في البحث

إذا استخدمت كؤوسًا ذات أحجام أكبر من الكؤوس التي استخدمتها في تجربتك، فهل تتوقع أن تحتاج إلى عددٍ أكبر من الكؤوس، أم عدد مساوٍ، أم عدد أكبر من عدد الكؤوس التي استخدمتها لتحصل على نتائج أكثر دقة.

الفيزياء في الحياة

أجرى معلمك استطلاعًا في الصف من أجل تأجيل موعد امتحان. هل تعتمد دقة الاستطلاع على عدد الطلبة الذين تم استطلاعهم؟ وضح ذلك.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات عن الذرة ارجع إلى الموقع الالكتروني

www.obeikaneducation.com

التحليل

الخطوات من 1 إلى 9 انظر عينة البيانات.

10. 1.8%

الاستنتاج والتطبيق

1. سوف تختلف إجابات الطلبة اعتمادًا على قيمة الخطأ النسبي. يمكن للقيمة القصوى للخطأ النسبي أن تنتج من تقنيات المختبر غير الكافية التي تعطي توزيعًا غير منتظمًا للحبيبات الصغيرة.
2. تتضمن مصادر الخطأ قياس أطوال غير صحيحة، وتوزيعات غير منتظمة للحبيبات الساقطة. يعدّ العامل الأخير المصدر الرئيس للخطأ.

التوسع في البحث

كلما ازدادت مساحة فوهات الكؤوس، فإن الخطأ العشوائي الناتج عن التوزيع غير المنتظم للحبيبات الساقطة يتناقص. لذلك، فإن الكؤوس الأكبر تسمح باستخدام عدد أقل من الحبيبات.

الفيزياء في الحياة

تزداد دقة الاستطلاع كلما ازداد عدد الطلبة الذين شملهم الاستطلاع.

تجربة استقصاء بديلة

لجعل هذه التجربة تجربة بديلة: ناقش التقنية التجريبية التي استخدمت في تجربة صفيحة الذهب لرذرفورد، واطلب إلى الطلبة تطوير الخطوات التجريبية الخاصة بهم لنمذجة هذه التجربة. اسمح للطلبة صياغة بعض الأسئلة التي تظهر بخصوص الاحتمالية، أو المواضيع الأخرى. قم بمراجعة خطوات الطلبة لغايات السلامة والجانب التجريبي.

الخلفيّة النظرية

تظهر الصورة 10^5 إلى 10^6 نبضة لذرات صوديوم مترابطة لذرة الليزر الأولى. تنتقل الذرات من تكاثف بوز–أينشتاين كل 5 ms بوساطة نبضة ذات تردد راديوي قصيرة. وكلما سقطت نبضة بسبب الجاذبية، فإنها تنتشر بعيدًا، نتيجة لقوى التنافر بين الذرات.

استراتيجيات التدريس

- راجع مع الطلبة خصائص الضوء المترابط الناتج بوساطة الليزر. أشر إلى أن "الترابط" يعود للخاصية الموجية.
- ناقش كيف يمكن أن يستخدم شعاع ضيّق من الجسيمات لرسم دائرة إلكترونية. أشر إلى أن تشتت الشعاع سوف يحدد الدقة التي يمكن بوساطتها رسم عناصر الدائرة.

المناقشة

تسارع النبضة اسأل الطلبة ما الدليل في الصورة الذي يشير إلى أن نبضات ذرات الصوديوم تتسارع. إن زيادة البعد الرأسي بين النبضات يشير إلى أن النبضات تتسارع باتجاه الأسفل.

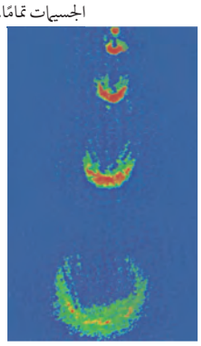
التأثير التقني أكّد على انه بسبب حداثة تقنية الذرة الليزرية، فمن غير المعلوم كيفية تأثيرها في المجتمع التقني لغاية الآن. اطلب الى الطلبة مناقشة الطرائق التي أثر فيها ضوء الليزر في العالم. قد يذكر الطلبة جراحة العين باستخدام الليزر، ومشغلات القرص المدمج CD، وآلات حفر الأسنان، ومزيل الوشم، وطابعات الليزر.

تقنية المستقبل

ليزر الذرة Atom Laser

التطور الحديث تقنية الليزر الذري التي طُوّرت مؤخرًا لها مستقبل واعد. فبخلاف أجهزة الليزر التقليدية التي تصدر حزمًا أو نبضات من الفوتونات المترابطة، فإن الليزرات الذرية تصدر حزمًا أو نبضات من الذرات المترابطة. وكما سيتضح لاحقًا، فإن الذرات المترابطة تختلف عن الذرات غير المترابطة التي تكوّن المادة الطبيعية.

تاريخ توقع العالم برولي عام 1923م أن لجميع الجسيمات خصائص موجية، وطولها الموجي يتناسب عكسيًّا مع كتلة وسرعة الجسيم، وهو قصير جدًا بحيث يصعب ملاحظته عند درجة حرارة الغرفة، لكن عند تبريد الذرة تقل سرعتها ويزداد طولها الموجي.



يبعث الليزر الذري نبضات من ذرات الصوديوم المترابطة. تحتوي كل نبضة على 10^5 إلى 10^6 من الذرات، وتتسارع النبضات إلى أسفل نتيجة تأثير الجاذبية. وتنتشر النبضات بسبب تأثير قوى التنافر

بحث العالمان أينشتاين وبوز في عام 1920م في جسيمات تسمى بوزونات. وقد توقعا أنه إذا كان بالإمكان تبريد البوزونات إلى أدنى مستوى طاقة ممكن، فإن كل تلك الجسيمات سيكون لها الطور والطول الموجي نفساهما. أي أن هذه الجسيمات سيكون لها خصائص مترابطة. والطور غير الطبيعي هذا يسمى تكاثف بوز–أينشتاين.

إن أول تكاثفات بوز – أينشتاين أُنتجت عام 1995م، حيث قام بإنتاجها العالمان إيرك كورنل، وكارل ويمان، وقام بإنتاجها كذلك بشكل منفصل العالم فولجانج كيترل، الذي قام بإجراء بحث آخر، حيث وضع عينتين منفصلتين لتكاثف بوز–أينشتاين إحداهما بجانب الأخرى، ولاحظ أنماط التداخل من الذرات في هذه التكاثفات. فذهب إلى تأكيد أن جميع الذرات في حالة التكاثف لها الطول الموجي والطور نفساهما. وكانت الذرات في التكاثف مترابطة تمامًا كما توقع ذلك كل من بوز وأينشتاين.

الليزر الذري الأول أعلن العالم كيترل ومساعدوه عام 1997م الخطوات الأولى في تطوير الليزر الذري؛ فقد طوّروا طريقة لقذف نبضات صغيرة (بين 100,000 و 1000,000 ذرة) من ذرات مترابطة من تكاثف بوز– أينشتاين في حزمة.

في هذا الليزر الذري الأول، يمكن لنبضات الذرات المترابطة الانتقال في اتجاه واحد فقط، بينما تسلك الذرات المنبعثة سلوك الجسيمات تمامًا، بحيث تتبع المسار القوسي إلى أسفل؛ نتيجة تأثير الجاذبية. وكما هو موضح في الصورة فإن الذرات المترابطة في كل نبضة تميل إلى الانتشار بعيدًا عندما تنتشر الحزمة.

وفي عام 1999م وجد وليم فيلبس طريقةً لإرسال نبضات من الذرات المترابطة في أي اتجاه، وكيفية منع الذرات من الانتشار بعيدًا عندما تنتشر الحزمة. وبتكوين سلسلة من الحزم القصيرة جدًّا، استطاع فيلبس تكوين حزمة مستمرة من الذرات المترابطة.

المستقبل سيتم استخدام تكاثف بوز–أينشتاين، والليزرات الذرية في دراسة الخصائص الأساسية لميكانيكا الكم والموجات المادية. ويتوقع العلماء أن تكون الليزرات الذرية مفيدة في صناعة الساعات الذرية العالية الدقة، وفي صناعة دوائر إلكترونية صغيرة. ويمكن أن تستخدم الليزرات الذرية أيضًا في علم القياس بالتداخل الضوئي الذري لقياس قوى التجاذب بدقة عالية، ولاختبار النسبية.

التوسع

1. **بحث** ابحث في ماهية الفيرميونات. وهل باستطاعتها تكوين تكاثف بوز– أينشتاين.
(**توضيح**: انظر كيف يطبق مبدأ باول في الاستبعاد على الفيرميونات).
2. **التفكير الناقد** تعمل الليزرات الذرية في منطقة تفريغ عالية جدًّا. ترى، ما سبب صحة ذلك؟

التوسع

1. الفيرميونات التي تحتوي على الإلكترونات، والبروتونات، والنيوترونات، والليبتونات والكوركات هي جسيمات لها دوران كسري فردي تستطيع تكوين تكاثف بوز–أينشتاين.
2. إذا اصطدمت الجسيمات المتحركة بسرعة عالية كجزيئات في درجة حرارة هواء الغرفة مع تكاثف بوز– اينشتاين. فإن ذلك سيؤدي إلى تسخين التكاثف ويحطمه.

الأفكار الرئيسة

يمكـن أن يسـتخدم الطلبـة العبـارات التلخيصيـة لمراجعة المفاهيم الرئيسة في الفصل.

قم بزيارة الموقع الإلكتروني التالي:
www.obeikaneducation.com

الفصل 2
دليل الدراسة

2–1 نموذج بور الذري The Bohr Model of the Atom

المفردات

- جسيمات ألفا
- نيوكليونات
- طيف الامتصاص
- مستوى الطاقة
- حالة الاستقرار
- حالة الإثارة
- عدد الكم الرئيس

الأفكار الرئيسة

- قذف العالم إرنست رذرفورد جسيمات ألفا الموجبة الشحنة، ذات السرعات العالية على صفيحة رقيقة من الذهب. ومن دراسته لمسارات الجسيمات المنحرفة استنتج أن معظم حجم الذرة فراغ، كذلك توقع وجود نواة ثقيلة وصغيرة جدًّا، وذات شحنة موجبة في مركز الذرة.
- يمكن استخدام الطيف الناتج عن ذرات العنصر لتحديد عينة مجهولة من ذلك العنصر.
- إذا عبر ضوء أبيض خلال غاز فإن الغاز يمتص الأطوال الموجية نفسها التي سوف يبعثها عندما يثار. وإذا عبر الضوء بعد ذلك خلال منشور فإن طيف الامتصاص للغاز يكون مرئيًّا.
- أظهر نموذج نيلز بور للذرة بصورة صحيحة أن طاقة الذرة لها قيم محددة فقط، لذلك فإنها مكمّاة. وأن طاقة ذرة الهيدروجين في مستوى طاقة n تساوي:

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2}\ \text{eV}$$

- اعتمادًا على نموذج بور، ينتقل الإلكترون بين مستويات الطاقة المسموح بها، وهذه الطاقة تمتص أو تبعث على شكل فوتونات (موجات كهرومغناطيسية). طاقة الفوتون تساوي الفرق بين الحالتين الابتدائية والنهائية للذرة.

$$E_{\text{فوتون}} = |E_f - E_i|$$

- اعتمادًا على نموذج بور، فإن نصف قطر مدار الإلكترون يكون له قيم محددة مكماة. نصف قطر مدار الإلكترون في مستوى الطاقة n لذرة الهيدروجين يعطى بالمعادلة:

$$r_n = 5.3 \times 10^{-11} n^2\ \text{m}$$

2–2 نموذج الذرة الكمي The Quantum Model of the Atom

المفردات

- النموذج الكمي
- السحابة الإلكترونية
- ميكانيكا الكم
- الضوء المترابط
- الضوء غير المترابط
- الانبعاث المستثار
- الليزر

الأفكار الرئيسة

- في النموذج الكمي– الميكانيكي للذرة، تملك الذرة قيمًا محددة للطاقة، وهذه القيم مكماة.
- في النموذج الكمي– الميكانيكي للذرة، يمكن تحديد احتمالية إيجاد الإلكترون في منطقة محددة فقط في ذرة الهيدروجين، فالمسافة الأكثر احتمالية للإلكترون عن النواة تساوي نصف قطر مستوى الإلكترون في نموذج بور.
- نجحت ميكانيكا الكم إلى حدٍّ كبير في تحديد خصائص الذرات والجزيئات والمواد الصلبة.
- تنتج أجهزة الليزر ضوءًا أحادي اللون، ومترابطًا، وموجهًا، وذا طاقة عالية. وكل خاصية تمنح الليزر تطبيقات مفيدة.

التقويم

خريطة المفاهيم

18. انظر الصفحة المقابلة من كتاب الطالب والمتضمنة في هذا الدليل.

إتقان المفاهيم

19. وجّه شعاع جسيمات ألفا باتجاه صفيحة رقيقة من الذهب وقاس عدد الجسيمات المنحرفة. العدد الصغير المنحرف بزوايا كبيرة يدل على نواة مركّزة.

20. إن طاقة الفوتون المنبعث أو الفوتون الممتص يساوي التغير في الطاقة والتي يمكن فقط أن يكون لها قيم محددة.

21. عندما تخضع الإلكترونات لتسارع مركزي، فإنها سوف تخسر طاقة فتتخذ مسارًا حلزونيًّا نحو النواة، وتشع عند جميع الأطوال الموجية.

22. الحالات المستقرة (مستويات الطاقة المكمّاة)، وتبعث الذرة أو تمتص الإشعاع فقط، عندما تغير حالاتها، والزخم الزاوي مكمى.

23. تنتقل الطاقة إلى الغاز؛ مما يسبب إثارة الإلكترونات، فتنتقل إلى مستويات طاقة أعلى. ومن ثم تتخلص الإلكترونات من فرق الطاقة بين مستويات الطاقة، عندما تسقط عائدة إلى المستوى الأقل اثارة. ترتبط فروقات الطاقة بين المستويات مع الخطوط الطيفية.

24. تحدد الأطوال الموجية للفوتون بوساطة الفروقات في طاقات المستويات المسموح بها.

25. كل عنصر يمتلك تكوين مختلف من الإلكترونات ومستويات الطاقة.

26. يتركز الضوء في حزمة ضيقة، بدلاً من أن ينتشر على مساحة واسعة.

27. الليزر موجات ضوئية موجّهة ومركزة وذات أطوال موجية موحدة و أحادية اللون.

تطبيق المفاهيم

28. تصبح الأطياف أكثر تعقيدًا.

29. طيفٌ خطيٌّ – الضوء القادم من الغاز مكون من عناصر محددة.

30. لا، طاقات معينة سوف تمتص بوساطة الغازات في الغلاف الغازي، لذلك سوف يحتوي الطيف على خطوط امتصاص.

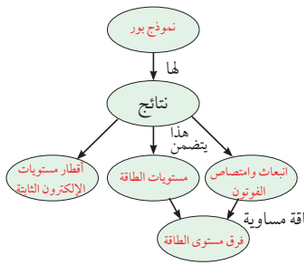
31. نعم، النقود تأتي بقيم محددة. لا، يأتي الماء في أي كمية محتملة.

32. ستة خطوط محتملة والفوتون ذو الطاقة الأعلى ينتج فقط بين المستويين $E_4 \rightarrow E_1$.

الفصل 2
التقويم

خريطة المفاهيم

18. أكمل خريطة المفاهيم التالية مستخدمًا ما يلي: مستويات الطاقة، أقطار مستويات الإلكترون الثابتة، نموذج بور، انبعاث وامتصاص الفوتون، فرق مستوى الطاقة.



إتقان المفاهيم

19. وضح كيف حدد رذرفورد أن الشحنة الموجبة في الذرة متمركزة في منطقة صغيرة جدًّا، وليست منتشرة في الذرة.

20. كيف فسر نموذج بور تضمين طيف الامتصاص للهيدروجين ترددات طيف الانبعاث نفسها للهيدروجين؟

21. قم بمراجعة نموذج رذرفورد للذرة. ما المشكلات المتعلقة بهذا النموذج؟

22. حلل وانتقد نموذج بور للذرة. ما الافتراضات الثلاثة التي قدمها بور لتطوير نموذجه؟

23. **أنابيب الغاز المفرغة** وضح كيف تنتج الأطياف الخطية في أنابيب الغاز المفرغة؟

24. كيف قدّم نموذج بور تفسيرًا للطيف المنبعث من الذرات؟

25. فسّر لماذا تختلف الأطياف الخطية الناتجة عن أنابيب التفريغ لغاز الهيدروجين عن تلك الأطياف الناتجة عن أنابيب التفريغ لغاز الهيليوم.

تطبيق المفاهيم

26. **الليزرات** إن مصدر الطاقة لجهاز الليزر المختبري 8×10^{-4} W فقط لماذا يبدو أنه أكثر قدرة من ضوء مصباح كهربائي 100 W؟

27. ما خصائص ضوء الليزر التي أدت إلى استخدامه في العروض الضوئية؟

28. يختلف مستوى التعقيد لمستويات الطاقة من ذرة إلى أخرى. كيف تتوقع أن يؤثر ذلك في الأطياف التي تنتجها؟

29. **الأضواء الشمالية** تحدث الأضواء الشمالية بوساطة جسيمات ذات طاقة عالية قادمة من الشمس عندما تصطدم بذرات في الغلاف الغازي للأرض، إذا نظرت إلى هذه الأضواء خلال منظار طيفي فهل تشاهد طيفًا متصلاً، أم طيفًا خطيًّا؟ فسّر.

30. إذا انبعث ضوء أبيض من سطح الأرض، وشاهده شخص من الفضاء، فهل يظهر الطيف بحيث يكون متصلاً؟ فسّر.

31. هل تعدّ قطع النقود مثالاً جيدًا للتكمية؟ هل يعدّ الماء في الكوكب الأرضي كذلك؟ فسّر.

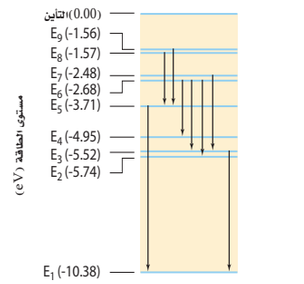
32. ذرة لها أربعة مستويات للطاقة، E_4 مستوى الطاقة الأعلى، و E_1 مستوى الطاقة الأدنى. إذا حدثت انتقالات بين أي مستويين للطاقة، فما عدد الخطوط الطيفية التي تستطيع الذرة أن تبعث بها؟ ما الانتقال الذي يبعث فوتونًا بأعلى طاقة؟

58

تقويم الفصل 2

33. يبين **الشكل 21–2**، دخول فوتون طاقته 6.2 eV ذرة زئبق في حالة استقرار. هل تمتصه الذرة ؟ فسّر.

شكل مستوى الطاقة لذرة الزئبق



الشكل 21–2

34. ينبعث فوتون عندما ينتقل إلكترون ذرة الهيدروجين المثارة خلال مستويات الطاقة. ما مقدار الطاقة العظمى التي يمكن أن تكون للفوتون؟ إذا مُنحت كمية الطاقة هذه إلى ذرة في حالة الاستقرار، فما الذي يحدث؟

35. قارن بين نظرية الكم الميكانيكية للذرة ونموذج بور.

36. أي الليزرات الأحمر، والأخضر، والأزرق ينتج فوتونات بطاقة أكبر؟

إتقان حل المسائل

2–1 نموذج بور الذري

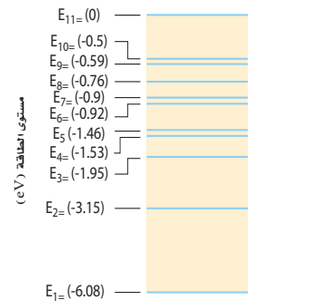
37. ينتقل إلكترون ذرة كالسيوم من مستوى الطاقة السادس، إلى مستوى الطاقة الثاني. ما الطول الموجي للفوتون المنبعث؟

38. إذا دخل فوتون ضوء برتقالي طوله الموجي 6.00×10^{2} nm في ذرة كالسيوم مثارة عند مستوى الطاقة E_6 فتأينت الذرة، فما مقدار طاقة حركة الإلكترون المنبعث من الذرة؟

39. ذرة كالسيوم مثارة إلى مستوى طاقة E_2. اصطدم بها فوتون طاقته 1.20 eV، فامتصته. إلى أي مستوى طاقة تنتقل ذرة الكالسيوم؟ انظر إلى **الشكل 22–2**.

40. ذرة كالسيوم مثارة عند مستوى طاقة E_6. ما مقدار الطاقة المتحررة عندما تهبط الذرة إلى مستوى الطاقة E_2؟ ارجع إلى **الشكل 22–2**.

شكل مستوى الطاقة لذرة الكالسيوم



الشكل 22–2

41. احسب الطاقة المرتبطة بمستويات الطاقة E_7 و E_2 لذرة الهيدروجين.

42. احسب الفرق في مستويات الطاقة في المسألة السابقة.

ارجع إلى **الشكل 21–2** لحل المسألة 43.

43. ذرة زئبق مثارة عند مستوى طاقة E_6، ما مقدار الطاقة:

a. اللازمة لتأيين الذرة؟

b. المتحررة عندما تهبط الذرة إلى مستوى الطاقة E_2؟

التقويم

33. لا، تحتاج 5.43 eV لنقل الإلكترون لمستوى الطاقة E_4 و 6.67 eV لنقل الإلكترون إلى مستوى الطاقة E_5 وتمتص الذرة فقط الفوتونات التي تمتلك الطاقة الصحيحة.

34. الطاقة العظمى 13.6 eV وهذه أيضًا طاقة التأين لذرة الهيدروجين. سوف يغادر الإلكترون النواة.

35. لنموذج بور أقطار مدارية ثابتة ويسمح بالحسابات فقط لذرات الهيدروجين. يعطي النموذج الحالي احتمالية إيجاد إلكترون في موقع ما، ويمكن أن يستخدم لجميع الذرات.

36. الضوء الأزرق

إتقان حلّ المسائل

2-1 نموذج بور الذري

37. 556 nm

38. 1.15 eV

39. E_3

40. 2.23 eV

41. $E_7 = -0.278$ eV; $E_2 = -3.40$ eV

42. 3.12 eV

43. **a.** 2.68 eV **b.** 3.06 eV

التقويم

44. a. 4.77×10^{-10} m

b. 1.01×10^{-9} N

c. 1.11×10^{21} m /s^2

d. 0.24% أو 7.28×10^5 m /s

2-2 نموذج الذرة الكمي

45. 1.5 eV

46. a. 428 nm **b.** أزرق

47. 0.117 eV

48. a. 1.08 eV، 2.28 eV، 1.96 eV

b. تحت الحمراء، وأخضر، وأحمر على التوالي.

مراجعة عامة

49. 0.4 eV

50. $r_5 = 1.33 \times 10^{-9}$ m

$r_6 = 1.91 \times 10^{-9}$ m

التفكير الناقد

51. 436 nm (2.84 eV) من E_6 إلى E_3

546 nm (2.27 eV) من E_6 إلى E_4

579 nm (2.14 eV) من E_8 إلى E_5

52. لا، الخطوط الطيفية الثلاث الأعلى طاقة تغادر الذرة في الحالات فوق حالة الاستقرار (فوق البنفسجية). التغير من E_4 إلى E_2 تنتج فوتون تحت الحمراء.

الكتابة في الفيزياء

53. يجب أن يتضمن البحث نموذج تومسون، النموذج المداري الكلاسيكي، نموذج بور، والنموذج الكمي.

54. يستخدم نبضات ليزر Nd عند 1064 nm توضع IR في داخل بلورة مضاعف التردد. ينتج الضوء بنصف ذلك الطول الموجي أو 532 nm

مراجعة تراكمية

55. 1.2×10^{-18} J

تقويم الفصل 2

44. ذرة هيدروجين مثارة إلى $n = 3$. وفق نموذج بور، أوجد كلًا مما يلي:

a. نصف قطر المستوى.

b. القوة الكهربائية بين البروتون والإلكترون.

c. التسارع المركزي للإلكترون.

d. سرعة الإلكترون في مداره (قارن بين هذه السرعة وسرعة الضوء).

2–2 نموذج الذرة الكمي

45. **مشغل القرص المدمج CD** تستخدم ليزرات زرنيخات الجاليوم بصورة شائعة في مشغلات القرص المدمج. إذا بعث مثل هذا الليزر عند طول موجي 840 nm، فما مقدار الفرق بوحدة eV بين مستويات الطاقة ؟

46. أُدخل ليزر GaInNi بين مستويات طاقة مفصولة بطاقة مقدارها 2.90 eV، أجب عما يأتي:

a. ما الطول الموجي للضوء المنبعث من الليزر؟

b. في أي جزء من الطيف يقع هذا الضوء؟

47. ينبعث ليزر ثاني أكسيد الكربون بفوتون أشعة تحت حمراء طاقته عالية جدًا. ما مقدار فرق الطاقة بوحدة eV بين مستويات الطاقة الليزرية؟ ارجع إلى **الجدول 1–2**.

48. **ليزرات HeNe** يمكن صنع الليزرات HeNe المستخدمة بوصفها مؤشرات يستخدمها المحاضرون، بحيث تنتج ليزرًا عند الأطوال الموجية الثلاثة: 1152.3 nm، 543.4 nm، 632.8 nm.

a. أوجد فرق الطاقة بين كل وضعين متضمنين في حزمة كل طول موجي.

b. حدد لون كل طول موجي.

مراجعة عامة

49. يدخل فوتون طاقته 14.0 eV ذرة هيدروجين في حالة الاستقرار فيؤينها. ما مقدار الطاقة الحركية للإلكترون المتحرر من الذرة؟

50. احسب نصف قطر المستوى لكل من مستويي الطاقة E_5 و E_6 لذرة الهيدروجين.

التفكير الناقد

51. **تطبيق المفاهيم** يوضح **الشكل 23–2** نتيجة إسقاط طيف مصباح غاز الزئبق ذي الضغط العالي على حائط في غرفة مظلمة. ما فروق الطاقة لكل من الخطوط المرئية الثلاثة؟

الشكل 23–2

52. **تفسير الرسوم التوضيحية** بعد انبعاث الفوتونات المرئية التي تم وصفها في المسألة 51، تستمر ذرة الزئبق في بعث فوتونات حتى تصل إلى حالة الاستقرار. من خلال اختبار **الشكل 21–2** حدد ما إذا كانت هذه الفوتونات مرئية أم لا. فسر ذلك.

الكتابة في الفيزياء

53. اكتب بحثًا عن تاريخ تطور نماذج الذرة. واصفًا كل نموذج باختصار، ومحددًا أوجه القوة والضعف لكل نموذج.

54. يبعث مؤشر ليزر أخضر ضوءًا طوله الموجي 532 nm اكتب بحثًا في نوع الليزر الذي يستخدم في هذا النوع من المؤشرات، وصف طريقة عمله. وحدّد ما إذا كان الليزر على شكل نبضات أم مستمر.

مراجعة تراكمية

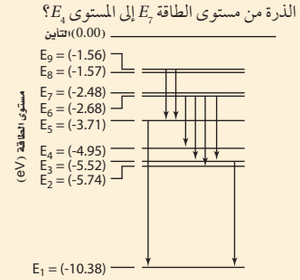
55. جهد الإيقاف اللازم لاستعادة جميع الإلكترونات المنبعثة من فلز 7.5 V، ما مقدار الطاقة الحركية القصوى للإلكترونات بوحدة الجول؟

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

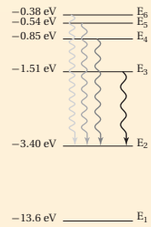
اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. أي نماذج الذرة الآتية تعتمد على تجربة صفيحة الذهب الرقيقة لرذرفورد؟
   - (A) نموذج بور
   - (B) النموذج النووي
   - (C) نموذج تومسون
   - (D) النموذج الكمي
2. تبعث ذرة زئبق ضوءًا طول موجته 405 nm، ما مقدار فرق الطاقة بين مستويي الطاقة في هذا الانبعاث؟
   - (A) 0.22 eV
   - (B) 2.14 eV
   - (C) 3.06 eV
   - (D) 4.05 eV
3. يبيّن الرسم أدناه مستويات الطاقة لذرة الزئبق. ما طول موجة الضوء المنبعث عندما تحدث تحولات في الذرة من مستوى الطاقة E_7 إلى المستوى E_4؟



   - (A) 167 nm
   - (B) 251 nm
   - (C) 400 nm
   - (D) 502 nm
4. أي الجمل الآتية يعدها النموذج الكمي للذرة غير صحيحة؟
   - (A) مستويات الطاقة المسموح بها للذرة مكماة.
   - (B) مواقع الإلكترونات حول النواة معروفة بدقة.
   - (C) تحدد سحابة الإلكترون المساحة التي يحتمل أن تواجد الإلكترون فيها.
   - (D) ترتبط مستويات الإلكترون المستقرة مع طول موجة دي برولي.

لحل المسألتين 5 و 6 ارجع إلى الرسم التوضيحي الذي يبين سلسلة بالمر لانتقال الإلكترون في ذرة الهيدروجين.



5. أي إنتقال مسؤول عن انبعاث ضوء بأكبر تردد؟
   - (A) E_5 إلى E_2
   - (B) E_2 إلى E_3
   - (C) E_6 إلى E_3
   - (D) E_2 إلى E_6
6. ما مقدار تردد خط سلسلة بالمر المرتبط بالإنتقال من مستوى الطاقة E_4 إلى E_2؟ (لاحظ أن $1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$)
   - (A) $2.55 \times 10^{14}\ Hz$
   - (B) $4.32 \times 10^{14}\ Hz$
   - (C) $6.15 \times 10^{14}\ Hz$
   - (D) $1.08 \times 10^{15}\ Hz$

الأسئلة الممتدة

7. حدد الطول الموجي للضوء المنبعث، نتيجة إنتقال إلكترون ذرة الهيدروجين من مستوى طاقة $n = 5$ إلى مستوى طاقة $n = 2$؟

إرشاد

التعثر ليس كالسقوط

أحيانًا قد تواجه سؤالاً ليس لديك فكرة عن إجابته، وحتى بعد أن تقرأ السؤال عدة مرات قد لا تتكون عندك فكرة منطقية عن الإجابة. إذا كان السؤال من نوع الاختيار من متعدد، فركّز على جزء من السؤال تعرف شيئًا عنه، واستثنِ أكبر عدد ممكن من الخيارات، واختر أحد الخيارات المتبقية، وانتقل إلى سؤال آخر.

61

أسئلة اختيار من متعدد

1. B
2. C
3. D
4. B
5. D
6. C

الأسئلة الممتدة

7. 435 nm

سلّم تقدير

يمثّل الجدول الآتي نموذجًا لسلم تقدير لإجابات الأسئلة الممتدة.

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملًا لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، فيمكن أن تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائية التي درسها، والاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًّا، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا للمواضيع الفيزيائية، وربما يكون قد استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلًّا صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلًّا غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

الفصل 3

مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
3–1 النواة	
1. **تحدد** عدد النيوترونات، والبروتونات في النواة. 2. **تعرف** طاقة الربط النووية للنواة. 3. **تربط** الطاقة الناتجة عن التفاعل النووي مع التغير في طاقة الربط النووية في أثناء التفاعل.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** 3 إلى 6 مغانط سيراميك اسطوانية، 3 إلى 6 أقراص من الخشب أو الألومنيوم ذات حجم مماثل للمغانط، شريط لاصق ذو وجهين.
3–2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية	
4. **تصف** ثلاثة أنماط للإضمحلال الإشعاعي. 5. **تحل** معادلات نووية. 6. **تعرف** الاندماج النووي والانشطار النووي. 7. **تصف** عمل المفاعل النووي.	**تجارب الطالب** **تجربة إضافيّة** أنبوب جايجر مع العداد، وورق، وشريط لاصق. **عرض المعلم** **عرض سريع** مصادر مشعة اصطناعية مختومة (ألفا، وبيتا، وجاما)، وأنبوب جايجر – مولر مع عداد، وورق، وصفيحة رقيقة من ألومنيوم، ورصاص.
3–3 وحدات بناء المادة	
8. **تصف** عمل مسارعات الجسيمات، وكواشف الجسيمات. 9. **تصف** النموذج المعياري للمادة، وتفسر دور حاملات القوة.	**تجارب الطالب** **مختبر الفيزياء** مصادر مشعة اصطناعية تعليمية (ألفا وبيتا وجاما)، وأنبوب جايجر – مولر مع عداد، مسطرة مترية، شريط لاصق، ساعة وقف. **عرض سريع** غرفة سحابة صغيرة، كحول، 2 kg من جليد جاف، ومصدر ألفا على إبرة.

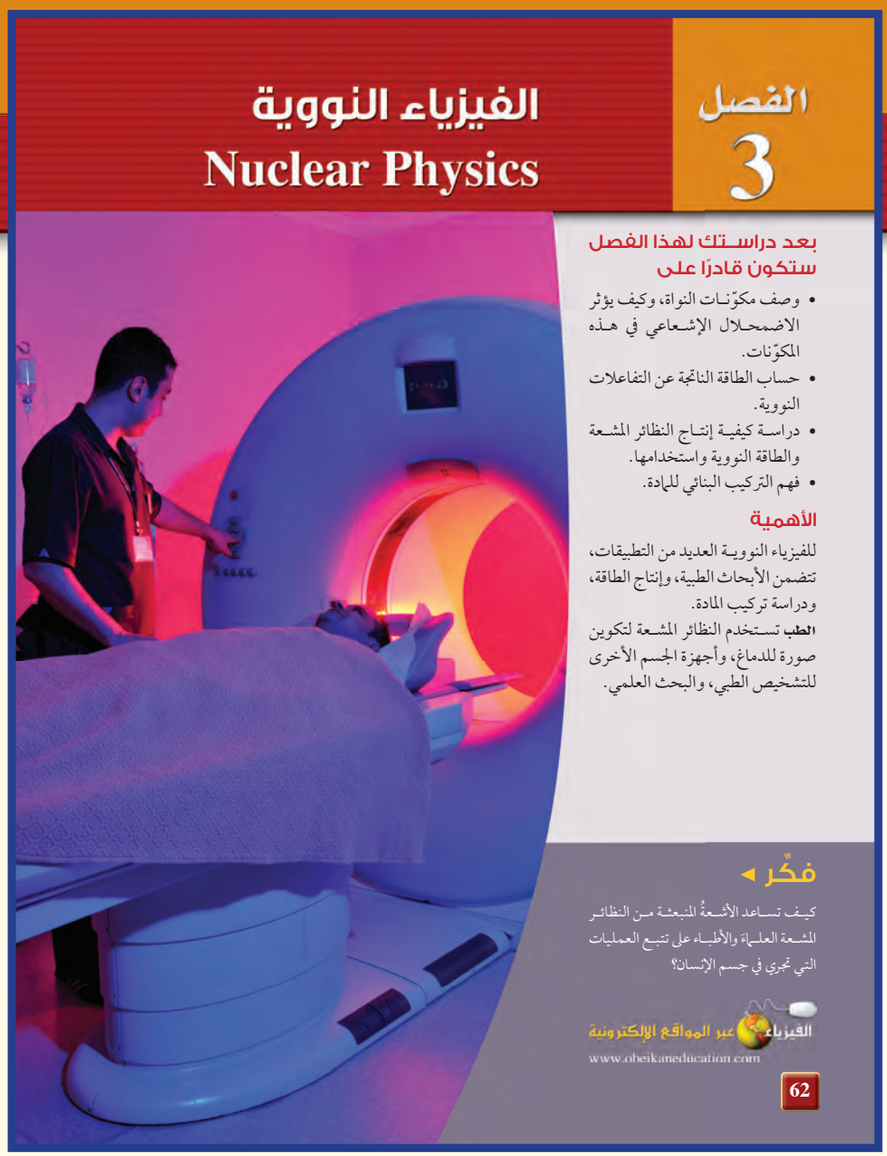
طرائق تدريس متنوعة

م 1 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي صعوبات التعلّم.	م 2 أنشطة مناسبة للطلبة ذوي المستوى المتوسط.	م 3 أنشطة مناسبة للطلبة المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل الثالث

الفصل 3

الفيزياء النووية



نظرة عامة إلى الفصل

في نهاية القرن التاسع عشر، تم اكتشاف بعض المواد غير المستقرة والتي تشع جسيمات. وقادت البحوث إلى النموذج النووي للذرة، والذي يفترض وجود مركز صغير يحتوي على معظم كتلة الذرة. وتم اكتشاف ثلاثة أنواع من التفاعلات النووية. وأدى العمل في الكواشف والمسارعات عالية الطاقة إلى النموذج المعياري الذي يعتمد على ثلاثة أنواع من الجسيمات الأولية.

فكّر

الطاقة المكتشفة والمنبعثة من النظائر المشعة ترتبط بجزيئات الجسم فتسمح بالكشف عن هذه الجزيئات في مجموعة متنوعة من الأنسجة. هذه تطبيقات مهمة في التشخيص الطبي. وستتعرف على بعض هذه التطبيقات في سياق الفصل.

المفردات الرئيسة

- العدد الذري
- انبعاث جاما
- وحدة الكتل الذرية
- التفاعل النووي
- العدد الكتلي
- الانشطار النووي
- النويدة (نواة النظير)
- التفاعل المتسلسل
- القوة النووية القوية
- الاندماج النووي
- النيوكليونات
- الكواركات
- طاقة الربط النووية
- الليبتونات
- نقص الكتلة
- النموذج المعياري
- المواد المشعة
- حاملات القوة
- انبعاث ألفا
- إنتاج الزوج
- انبعاث بيتا
- القوة النووية الضعيفة

3-1 النواة

1. التركيز

نشاط محفز

المواد المشعة استخدم عداد جايجر الدقّاق لتبين وجود الإشعاع في بعض الأجسام والمواد الطبيعية. وإن أمكن احصل على كاشف دخان يحتوي على الأمريسيوم (وهو أحد العناصر ويسمى الأمريكيوم. عدده الذري 95 وعدده الكتلي 243 ورمزه الكيميائي هو Am) ، وساعة قديمة ذات قرص مدرج بالراديوم، و فانوس ذو فتيلة تحتوي على الثوريوم (التي تخلصت منها بعض الشركات المصنعة تدريجيًا). وقطعة فخار مطلية بلون فوسفوري، وقطعة صخرية تحتوي على خام اليورانيوم. سوف تسبب كل من هذه المواد زيادة معدل النقر، كلما أصبح عداد جايجر قريبًا منها.

م 1 سماعي–موسيقي

الربط مع المعرفة السابقة

مفاهيم الفيزياء الحديثة يستند هذا الجزء على مفاهيم الشحنة المكمّاة، التي نوقشت سابقًا والنظرية الكمية التي تم عرضها في الفصل الأول والنظرية الذرية للمادة التي تمت دراستها سابقًا.

3–1 النواة The Nucleus

الأهداف

- **تحدد** عدد النيوترونات، والبروتونات في النواة.
- **تعرّف** طاقة الربط النووية للنواة.
- **تربط** الطاقة الناتجة عن التفاعل النووي مع التغير في طاقة الربط النووية في أثناء التفاعل.

المفردات

العدد الذري	وحدة الكتل الذرية
العدد الكتلي	النويدة (نواة النظير)
القوة النووية القوية	النيوكليونات
طاقة الربط النووية	نقص الكتلة

لم يثبت العالم إرنست رذرفورد وجود النواة فقط، بل أجرى أيضًا بعض التجارب المبكرة بهدف اكتشاف تركيبها. من الأهمية أن تدرك أن تجارب رذرفورد والتجارب التي أجراها العلماء بعده لم يتم فيها مراقبة الذرة مباشرةً؛ فقد تم استخلاص الاستنتاجات من المشاهدات التي توصل إليها الباحثون. تذكّر أن فريق رذرفورد أجرى بعناية قياسات دقيقة لانحراف جسيمات ألفا عندما اصطدمت بشريحة الذهب. هذه الانحرافات يمكن تفسيرها، إذا كان معظم حجم الذرة فراغًا. وقد أظهرت التجارب كذلك أن الذرة تحتوي على مركز صغير جدًّا ذي كثافة كبيرة وشحنة موجبة وتتركز فيه كتلة الذرة، ومحاط بإلكترونات مهملة الكتلة تقريبًا.

بعد أن اكتشف العالم بيكرل عام 1896م النشاط الإشعاعي توجّه البحث إلى التأثيرات الناتجة عن اضمحلال النواة نتيجة التحلل الإشعاعي الطبيعي.

ثم اكتشف كل من ماري وبيير كوري عنصرًا جديدًا (الراديوم)، وجعلا منه عنصرًا متوافرًا للباحثين في كافة أنحاء العالم؛ مما أثرى دراسة النشاط الإشعاعي. ثم اكتشف العلماء أنه يمكن من خلال النشاط الإشعاعي تحويل نوع من الذرات إلى نوع آخر، ومن ثم، فإن الذرات لا بد أنها تتكوّن من أجزاء أصغر. ثم استخدم كل من إرنست رذرفورد، وفريدرك سودي النشاط الإشعاعي لدراسة مركز الذرة (النواة).

63

تجربة استهلالية

كيف يمكنك عمل نموذج للنواة؟

سؤال التجربة فيم تتشابه القوة التي يؤثر بها شريط ذو وجهين لاصقين مع القوة النووية القوية؟

الخطوات

1. غلّف المحيط الخارجي لـ(3–6) أقراص مغناطيسية، باستخدام الشريط اللاصق ذي الوجهين، ثم كرر الشيء نفسه لـ(3–6) أقراص من الخشب أو الألومنيوم مماثلة لها في الحجم. تمثل المغانط البروتونات، بينما تمثل الأقراص الأخرى النيوترونات.
2. رتّب المغانط بحيث تكون أقطابها الشمالية متقابلة.
3. صف القوة المؤثرة في بروتون في أثناء تقريبه إلى بروتون آخر حتى يتلامسا.
4. صف القوة المؤثرة في نيوترون في أثناء تقريبه إلى نيوترون آخر أو من بروتون حتى يتلامسا.

التحليل

تهبط القوة النووية القوية إلى الصفر عندما يبتعد مركزا النيوكليونين أحدهما عن الآخر مسافة تزيد على نصفي قطريهما.

كيف يمكن مقارنة ذلك مع مدى قوة الشريط اللاصق؟ القوة النووية القوية متساوية لكل من النيوترونات والبروتونات. هل يصف هذا المثال ما يحدث في النواة؟

التفكير الناقد تحتوي النواة المستقرة في الغالب على عدد من النيوترونات يزيد على عدد البروتونات. لماذا يسلك هذا النموذج الطريقة نفسها التي تحدث داخل النواة؟

تجربة استهلالية

الهدف بناء نموذج للقوى القوية داخل النواة.

المواد والأدوات 3 إلى 6 مغانط سيراميك أسطوانية، 3 إلى 6 أقراص من الخشب أو الألومنيوم ذات حجم مماثل للمغانط، شريط لاصق ذو وجهين.

استراتيجيات التدريس

تأكد من أن كل الأقطاب الشمالية للمغانط متجهة إلى الأعلى.

النتائج المتوقعة قوة التنافر بين المغانط تعبر عن قوة التنافر بين البروتونات. وتستخدم الأقراص الخشبية أو أقراص الألومنيوم للتعبير عن النيوترونات التي لا تتأثر بقوة تنافر. لا تحدث القوة القوية (الشريط مزدوج الوجه) إلاّ عندما تتلامس البروتونات والنيوترونات بعضها ببعض.

التحليل يؤثر الشريط اللاصق ذو الوجهين بقوة فقط عندما يُلمَس، لذلك فهو نموذج جيد. بالإضافة لذلك، فهي تمثل بالقوة نفسها بين بروتونين، وبين نيوترونين، أو بين بروتون ونيوترون.

التفكير الناقد تضيف النيوترونات ثباتية لهذا النظام بطريقتين. الأولى، تسمح للبروتونات بأن تكون أبعد بعضها عن بعض، لذلك تقلل من قوة التنافر بينها. والثانية، أنها تضيف مواقع إضافية حيث يمكن للشريط ذو الوجهين أن يؤثر بقوة تجاذب بين النيوكليونات.

2. التدريس

مناقشة

سؤال لماذا تظهر انبعاثات الأشعة السينية بأطوال موجية مختلفة عندما تُقذف ذرات الهدف ذات الأعداد الذرية المختلفة بالإلكترونات كما في تجارب موسلي؟

الإجابة إن حزمة الإلكترونات التي تصطدم بالهدف تستطيع نقل الطاقة إلى معظم الإلكترونات المرتبطة في ذرات الهدف فتحررها من الذرة – أي أنها تؤين الذرات. والنواة ذات الشحنة الأكبر Z تعني بالضرورة طاقة ربط أكبر لهذه الإلكترونات. ثم يحل إلكترون من الذرة نفسها سريعًا محل الإلكترون الذي تحرر خارج الذرة. ونتيجة لذلك فإنه يتحرر فوتون طاقته تساوي الطاقة التي فقدها الإلكترون. وهذا الفوتون يقع في منطقة الأشعة السينية من الطيف، لذلك فإن طول موجة الأشعة السينية مرتبط مع شحنة النواة للذرة. م2

التفكير الناقد

انبعاث الأشعة السينية من المواد هناك تقنيات متعددة، لسبر المواد تتضمن تشتت وانبعاث الأشعة السينية. إحدى هذه الطرائق تسمى تفلور الأشعة السينية. تستخدم هذه التقنية الأشعة السينية لاثارة الإلكترونات من مستويات الطاقة المتدنية. عندما تعود الإلكترونات إلى حالتها الأصلية، فإنها تبعث أشعة سينية بطول موجي يعتمد على مستويات الطاقة للذرة. يمكن استخدام الأشعة السينية هذه لتحديد العناصر (وخاصة المواد الفلزية) الموجودة في معظم العينات، بغض النظر عن التركيب الكميائي للمادة. اسأل الطلبة كيف يمكن ذلك.

تؤدي عملية فلورة الأشعة السينية إلى اثارة إلكترونات من المستوى الطاقة المتدني التي لا تتأثر طاقاتها بطبيعتها الكيميائية أو تركيب المادة. لأن الروابط الكيميائية تؤثر فقط في الإلكترونات ذات الطاقة العالية (إلكترونات التكافؤ). م2 **منطقي رياضي**

وصف النواة Description of the Nucleus

هل تتكوّن النواة من جسيمات مشحونة بشحنة موجبة فقط؟ تم التعرّف على كتلة النواة، وحقيقة أن شحنتها موجبة فقط، نتيجة تجارب تشتّت الأشعة السينية. وأظهرت النتائج أن البروتونات موجبة الشحنة، وأنها مسؤولة عن نصف كتلة النواة تقريبًا. وافترضت إحدى الفرضيات أن الإلكترونات مسؤولة عن كتلة الجزء الباقي من النواة، وفسرت هذه الفرضية انبعاث جسيمات الفا وجسيمات بيتا من داخل النواة، ولكن حسب نظرية الكم فإن الإلكترون لا يمكن أن يتواجد داخل النواة. وفي عام 1932 حلّ العالم الانجليزي جيمس شادويك هذه المشكلة عندما اكتشف وجود جسيم متعادل تساوي كتلته كتلة البروتون تقريبًا داخل النواة. وعُرف هذا الجسيم بالنيوترون، وهو المسؤول عن الكتلة المفقودة للنواة دون زيادة شحنتها

كتلة النواة وشحنتها البروتون هو الجسيم الوحيد المشحون داخل النواة. **والعدد الذري** Z للذرة هو عدد البروتونات. لذا فإن شحنة النواة الكلية تساوي عدد البروتونات مضروبًا في الشحنة الأساسية (شحنة الإلكترون عدديًّا).

$$\text{شحنة النواة} = Z \times e$$

ولكل من البروتون والنيوترون كتلة تزيد حوالي 1800 مرة على كتلة الإلكترون؛ وكتلة كل من البروتون أوالنيوترون تساوي تقريبًا 1u؛ حيث u **وحدة الكتلة الذرية**، وتعادل 1.66×10^{-27} kg، ولتحديد الكتلة التقريبية للنواة؛ احسب حاصل ضرب العدد الكتلي A (مجموع عدد النيوترونات والبروتونات) في وحدة الكتل الذرية u.

$$\text{كتلة النواة} \cong A \times u$$

حجم النواة أظهرت نتائج رذرفورد القياسات الأولى لحجم النواة؛ فقد وجد أن للنواة قطرًا يساوي 10^{-14} m تقريبًا. وبذلك يكون للذرة المثالية نصف قطر أكبر 10,000 مرة من حجم النواة.

وعلى الرغم من أن النواة تحتوي على كل كتلة الذرة تقريبًا، فإن النواة تشغل حيزًا في الذرة أقل من الحيز الذي تشغله الشمس في النظام الشمسي. إن النواة مركّزة بطريقة غير مُتخيَّلة؛ فكثافتها 1.4×10^{18} kg/m^3 تقريبًا. فإذا افترضنا أن حجم النواة سنتيمتر مكعب واحد فسوف تكون كتلتها بليون طن تقريبًا.

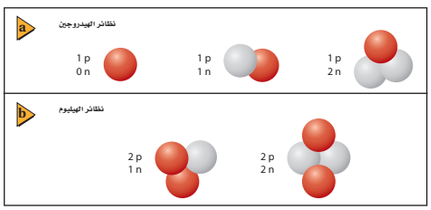
هل لجميع العناصر العدد الكتلي نفسه؟
Do all elements have the same mass numbers?

بالنظر إلى الجدول الدوري– لاحظ الملحق ص128– ستلاحظ أن العناصر الأربعة الأولى لها عدد كتلي A قريب من العدد الصحيح، على الرغم من أن كتلة البورون 10.8 u، فلو كانت النواة تتكون من البروتونات والنيوترونات فقط وكانت كتلة كل منها 1 u تقريبًا، فإن الكتلة الكلية لأي ذرة يجب أن تكون عددًا صحيحًا، وليس قريبة من العدد الصحيح.

إن اللغز المتمثل في أن الكتل الذرية التي لا تساوي عددًا صحيحًا، تم حله باستخدام جهاز مطياف الكتلة. لقد تعلمت كيف يُظهر مطياف الكتلة أنه يمكن أن يكون لذرات العنصر

64

الواحد كتلًا مختلفة. ففي تحليل عينة نقية من النيون مثلاً لم تظهر بقعة واحدة فقط، بل ظهرت بقعتان على شاشة مطياف الكتلة. والبقعتان ناتجتان عن ذرات نيون مختلفة الكتلة. وقد وجدت ذرة نيون واحدة لها كتلة 20 u، بينما كتلة النوع الثاني 22 u. إن ذرة النيون الطبيعية تحتوي على عشرة بروتونات في النواة، وعشرة الكترونات في الذرة، لكن وجد أنه بينما تحتوي أنواعا من ذرات النيون على 10 نيوترونات في نواتها، فإن أنواعا أخرى تحتوي نواتها على 12 نيوترونًا. هذان النوعان من الذرات يسميان نظائر النيون. وتسمى نواة النظير **النويدة**. وجميع نويدات العنصر لها العدد نفسه من البروتونات، ولكن لها أعدادًا مختلفة من النيوترونات، كما في نويدات الهيدروجين والهيليوم الموضحة في **الشكل 1–3**، علمًا بأن جميع نظائر العنصر المتعادل كهربائيًا لها عدد الإلكترونات نفسه حول النواة، ولها السلوك الكيميائي نفسه.



الشكل 1–3 تظهر نويدات الهيدروجين (a) والهيليوم (b) لجميع نويدات العنصر العدد نفسه من البروتونات، وعدد مختلف من النيوترونات. رسمت البروتونات بلون أحمر والنيوترونات بلون رمادي في الرسم التوضيحي.

متوسط الكتلة الكتلة المقيسة لغاز النيون هي 20.183 u، وهذا الرقم يعرف بمتوسط كتلة نظائر النيون الموجودة طبيعيًّا. وعلى الرغم من أن كتلة الذرة المفردة للنيون قريبة من العدد الصحيح لوحدات الكتل، فإن الكتلة الذرية المحسوبة من متوسط الكتل للنيون ليست كذلك. ولمعظم العناصر أشكال متعددة من النظائر التي تنتج طبيعيًّا ويمكن قياس كتل هذه النظائر باستخدام جهاز مطياف الكتلة، وتستخدم كتلة أحد نظائر الكربون –12، بوصفها وحدة الكتل الذرية؛ فوحدة الكتل الذرية الواحدة u تساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة نظير الكربون –12

ولوصف النظير، يستخدم الرمز Z المنخفض عن يسار رمز العنصر، ليمثل العدد الذري أو الشحنة، بينما يكتب الرمز العلوي A عن يسار رمز العنصر أيضا ليمثل العدد الكتلي، بحيث يأخذ هذا الترميز الشكل $^{A}_{Z}X$؛ حيث X رمز العنصر. فيكتب الكربون –12 مثلاً $^{12}_{6}C$ ، ويكتب نظيرا النيون اللذان عددهما الذري 10 في صورة $^{20}_{10}Ne$ و $^{22}_{10}Ne$.

مسائل تدريبية

1. الأعداد الكتلية لنظائر اليورانيوم هي 234 و235 و238، والعدد الذري لليورانيوم هو 92، ما عدد نيوترونات نواة كل نظير؟
2. ما عدد نيوترونات نظير الزئبق $^{200}_{80}Hg$ ؟
3. اكتب رموز نظائر الهيدروجين الثلاثة التي تحتوي على صفر، وواحد، واثنين من النيوترونات.

تعزيز الفهم

العدد الكتلي والعدد الذري يلزم عددان لتحديد النويدة، العدد الذري والعدد الكتلي. العدد الذري يساوي عدد البروتونات. جميع ذرات العنصر لها عدد البروتونات نفسه، لذلك فإن الرمز الكيميائي والعدد الكتلي كافيان لتحديد جسيمات النواة. لتتأكد من فهم الطلبة للعلاقات، اطلب اليهم تحديد نوع النواة عندما تحدد رمزها الكيميائي وعددها الكتلي. مثل: " ما العدد الذري للعنصر وكم عدد النيوترونات في نواته في كل من ^{137}Cs ؟ ^{15}N ؟ ^{143}Ce ؟ " 55 و82.7 و 8.58 و 85 مشيرًا لكل من العدد الكتلي والعدد الذري لجميع النويدات. وهذا أمر ضروري لتتبع ما يجري عند كتابة التفاعل النووي. (انظر الجدول الدوري). م 2

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

النظائر والنشاط الإشعاعي الطبيعي لدى كثير من الناس فكرة غير صحيحة بأن النشاط الإشعاعي دائمًا " غير طبيعي ". في الحقيقة، فإن بعض النويدات الموجودة في الطبيعة غير مستقرة، فالعديد من العناصر الشائعة جدًّا في الطبيعة تحتوي على نويدات مشعة (غير مستقرة). فمثلاً، النظائر $^{39}_{19}K$، $^{40}_{19}K$، $^{41}_{19}K$ ، تتواجد في البوتاسيوم الطبيعي ووفرتها 93.08 % و 0.01 % و 6.91 % على الترتيب. النظير الثاني من هذه النظائر مشع قليلاً، ويضمحل الى نظير الأرغون $^{40}_{18}Ar$ المستقر ونظير الكالسيوم $^{40}_{20}Ca$ المستقر.

مسائل تدريبية

1. 142, 143, 146 نيوترون على التوالي.
2. 120 نيوترون
3. $^{1}_{1}H$، $^{2}_{1}H$، $^{3}_{1}H$

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

النيوترونات اعتقد رذرفورد وفيزيائيون آخرون بدايةً، أن النواة تتكوّن من بروتونات وإلكترونات. ولقد دعّمت هذه النظرية بانبعاث الإلكترونات من النواة في أثناء اضمحلال بيتا. اقترح رذرفورد عام 1920م أن البروتون والإلكترون مرتبطان معًا بشدة بحيث يمكن اعتبارها كجسيم واحد. وقد فشلت هذه النظرية لعدة أسباب، منها أن ميكانيكا الموجة ومبدأ عدم التحديد أظهرا أن الإلكترون الذي ينحصر وجوده في منطقة بحجم البروتون يمتلك طاقة حركية أكبر من الطاقة الحركية التي تظهر نتيجة انبعاث بيتا. وأيضًا، لا يمكن تفسير الزخم الزاوي والمغناطيسي بوساطة نموذج بروتون–إلكترون.

تطبيق الفيزياء

لقد تم إيجاد نسبة قوة التجاذب الكهربائية إلى قوة الجاذبية لزوج (الإلكترون–البوزترون) في حالة السكون عندما يبعدان عن بعضهما مسافة r بقسمة قوتي كولوم والتجاذب الأرضية على الشحنة الأولية e (شحنة الإلكترون) وكتلة الإلكترون m_e

$$\frac{\frac{Ke^2}{r^2}}{\frac{Gm_e^{\,2}}{r^2}} = \frac{Ke^2}{Gm_e^{\,2}}$$

$$= \frac{(9.0\times10^{9}\ \mathrm{N.m^2/C^2})\ldots}{(6.67\times10^{-11}\ \mathrm{N.m^2/kg^2})\ldots}$$

$$\frac{\ldots(1.6\times10^{-19}\ \mathrm{C})^2}{\ldots(9.11\times10^{-31}\ \mathrm{kg})^2}$$

$$= 4.2\times10^{42}$$

نشاط

استقصاء طاقة الربط النووية

اطلب إلى الطلبة إعداد جدول على صفحة إكسل في الحاسوب تحتوي على الأعمدة التالية: اسم العنصر، ورمزه الكيميائي وعدده الكتلي، والعدد الذري، وعدد النيوترونات، ومجموع كتل الجسيم، والكتلة الذرية، ونقص الكتلة، وطاقة الربط النووية لكل نويّة. يمكن أن تحصل على بعض المعلومات لهذه الأعمدة من الجدول الدوري. أو إجراء بحثٍ إضافيًا للحصول على بعض المعلومات اللازمة. يجب على الطلبة تكوين صيغ رياضية لحساب مجموع كتل الجسيم، نقص الكتلة، وطاقة الربط لكل نوية. يملء الطلبة عشرة أسطر تقريبًا عن النويدات وينظروا إذا كان بإمكانهم تعيين نقاط في الرسم البياني في الشكل 2–3. م 3

منطقي - رياضي

تطبيق الفيزياء

القوى

البوزترون عبارة عن إلكترون موجب الشحنة. وقوة التجاذب الكهرومغناطيسية بين الإلكترون والبوزترون أكبر بمقدار 4.2×10^{42} مرة من قوة الجاذبية بين كتلتيهما.

ما الذي يحافظ على نيوكليونات النواة معًا؟
What holds the nucleus together?

ترتبط الإلكترونات السالبة الشحنة المحيطة بنواة الذرة الموجبة الشحنة نتيجة تأثير قوة التجاذب الكهرومغناطيسية. ولأن النواة تتكون من بروتونات موجبة الشحنة ونيوترونات متعادلة الشحنة، فقد يكون من المتوقع أن تسبب قوة التنافر الكهرومغناطيسية بين البروتونات تباعد بعضها عن بعض. ولأن هذا لا يحدث فإن قوة تجاذب متبادلة وقوية يجب أن توجد داخل النواة.

القوة النووية القوية The Strong Nuclear Force

تسمى كذلك **القوة القوية (الشديدة)**، وهي القوة التي تؤثر بين البروتونات والنيوترونات الموجودة في النواة، والقريبة جدًّا بعضها إلى بعض. وهذه القوة تزيد عن 100 مرة من قوة التنافر الكهرومغناطيسية. إن مدى القوة القوية قصير، ويساوي نصف قطر البروتون فقط، أي 1.4×10^{-15} m تقريبًا. وهي قوة تجاذب، تؤثر بين البروتونات والبروتونات، وكذلك بين البروتونات والنيوترونات، وأيضًا بين النيوترونات والنيوترونات.

تسمى كل من النيوترونات والبروتونات **النيوكليونات**، وتحافظ القوة النووية القوية على بقاء النيوكليونات في النواة. ولإخراج النيكليون خارج النواة يجب بذل شغل للتغلب على قوة التجاذب، وهذا الشغل يضاف إلى النظام. لذلك فإن طاقة النواة أقل من مجموع طاقات البروتونات والنيوترونات المنفردة التي تتكوّن منها النواة. ويتحول فرق الطاقة للنواة إلى **طاقة ربط نووية**. ولأن النواة الفعلية لها طاقة أقل، فإن طاقات الربط جميعها تكون سالبة.

طاقة الربط النووية Binding Energy of the Nucleus

بيّن أينشتاين أن كلًّا من الكتلة والطاقة متكافئتان. لذلك يمكن التعبير عن طاقة الربط على شكل كمية مكافئة من الكتلة بالمعادلة التالية:

الطاقة المكافئة للكتلة $E = mc^2$

الطاقة المحتواة في المادة تساوي حاصل ضرب الكتلة في مربع سرعة الضوء في الفراغ.

حيث إن كتلة النواة الفعلية تكون أقل من مجموع كتل النيوكليونات التي تحويها. لذا يجب أن تضاف طاقة لفصل مكونات النواة.

فمثلاً تحوي نواة الهيليوم $^4_2\mathrm{He}$ بروتونين ونيوترونين. وكتلة البروتون 1.007276 u، وكتلة النيوترون 1.008665 u، فإذا كانت كتلة نواة الهيليوم تساوي مجموع كتل بروتونين ونيوترونين فسوف تتوقع أن كتلة النواة 4.031882 u، لكن القياس الدقيق يُظهر أن كتلة نواة الهيليوم الفعلية 4.002603 u فقط. إن الكتلة الفعلية لنواة الهيليوم، أقل من كتل النيوكليونات المكوّنة لها بمقدار 0.029279 u، ويسمى الفرق بين مجموع كتل النيوكليونات المفردة المكونة للنواة والكتلة الفعلية لها **نقص الكتلة**.

نشاط مشروع فيزياء

القوى الأربعة الأساسية في الطبيعة يقوم الطلبة بتحضير ملصقات معلوماتية عن كل من القوى الأربعة الأساسية. وهذه القوة (مرتبة وفق قوتها النسبية)، القوة النووية القوية، والقوة الكهرومغناطيسية، والقوة النووية الضعيفة، وقوة الجاذبية. يبحث كل طالب على حده أو من خلال تقسيم الطلبة إلى مجموعات في كل من هذه القوى. يجب أن يقوم طالب على الأقل أو مجموعة صغيرة بالبحث في تطور نظرية توحيد المجالات. ويجب أن يتضمن البحث توحيد الكهرومغناطيسية والتفاعلات الضعيفة في تفاعلات الكهرو ضعيفة، ويتضمن كذلك عمل أينشتاين على الجاذبية، ونظريات الأوتار الحديثة.

م 2 لغوي

تقاس الكتل عادةً بوحدة الكتلة الذرية ويكون من المفيد أحيانًا تحديد مقدار الطاقة المكافئة لـ 1u (1.6605×10^{-27} kg) بوحدة الجول.

$$E = mc^2$$
$$= (1.6605 \times 10^{-27}\ \text{kg})\ (2.9979 \times 10^{8}\ \text{m/s})^2$$
$$= 1.4924 \times 10^{-10}\ \text{kg.}\ \text{m}^2/\text{s}^2$$
$$= 1.4924 \times 10^{-10}\ \text{J}$$

كما يمكن استخدام وحدات أخرى مثل وحدة الإلكترون فولت.

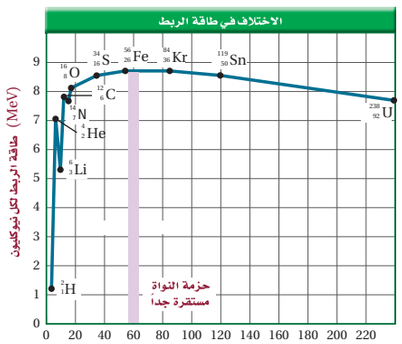
$$E = (1.4924 \times 10^{-10}\ \text{J})(1\ \text{eV}/1.60217 \times 10^{-19}\ \text{J})$$
$$= 9.3149 \times 10^{8}\ \text{eV}$$
$$= 931.49\ \text{MeV}$$

أي أن 1u من الكتلة تكافئ 931.49 MeV من الطاقة.

يبين **الشكل 2–3** كيف تعتمد طاقة الربط النووية على كتلة النواة، إن الأنوية الثقيلة ترتبط غالبًا بقوة أكبر من الأنوية الخفيفة، وتصل طاقة الربط لكل نوية إلى أقصى حد عند العدد الكتلي 56، الذي يمثل عدد النيوكليونات للحديد Fe. ونواة الحديد $^{56}_{26}\text{Fe}$ من أكثر الأنوية ترابطًا، لذلك تصبح الأنوية أكثر استقرارًا، كلما اقترب عددها الكتلي من العدد الكتلي للحديد. والأنوية التي أعدادها الكتلية أكبر أو أقل من العدد الكتلي للحديد تكون أقل ترابطًا، لذا تكون أقل استقرارًا.

يحدث التفاعل النووي طبيعيًا، إذا تحررت طاقة نتيجة التفاعل، وهذا يعني أنه إذا تحوّل موقع نواة عددها الكتلي أقل من العدد الكتلي لنواة الحديد إلى موقع أقرب من النقطة الدنيا للمنحنى البياني عند A = 56، فإن تفاعلًا نوويًا طبيعيًا يحدث لها.

فمثلاً يتحول الهيدروجين في الشمس، والنجوم الأخرى إلى هيليوم وكربون وبعض العناصر الأثقل الأخرى في تفاعلات تحرر طاقة، مولدة إشعاعًا كهرومغناطيسيًا.



الشكل 2–3 طاقة الربط لكل نوية تعتمد على عدد النيوكليونات A. وتكتسب الأنوية الخفيفة استقرارها من خلال الاندماج النووي، بينما تكتسب الانوية الثقيلة استقرارها من خلال الانشطار النووي.

تطوير المفهوم

أساس العلاقة $E = mc^2$ بيّن أينشتاين أن $E = mc^2$ لكن من أين أتت هذه العلاقة؟ يمكن ايجاد التفسير الكامل للعلاقة في العديد من المراجع العلمية في الفيزياء. التفسير المختصر التالي يمكن أن يساعد الطلبة الذين لديهم حب الاستطلاع بأن يفهموا هذه العلاقة بصورة أفضل ويسعوا إلى المزيد من المعلومات من تلقاء أنفسهم. وضّح أن النظرية النسبية الخاصة تُظهر بأن قياس الكميات الفيزيائية الأساسية– الزمن، والمسافة، والزخم، والطاقة– جميعها عرضة للتحول لتصبح مهمة أو كبيرة عندما تكون السرعة النسبية للمشاهد والمُشاهَد قريبةً من سرعة الضوء. لقد درست سابقًا أنه عند السرعات الصغيرة فإن الطاقة الحركية والزخم يرتبطان معًا بالمعادلة $KE = p^2/2m$. وبيّن أينشتاين أن الزخم يرتبط فعليًا مع الطاقة الكلية للجسم، و الطاقة الحركية بالاضافة الى الطاقة التي يمتلكها الجسم حتى في حالة السكون. هذه الطاقة السكونية تعطى بالعلاقة $E_0 = mc^2$. ويمكن التفكير في الطاقة السكونية كأنها طاقة الوضع للكتلة نفسها.

استخدام الشكل 2–3

وضح للطلبة أن كلاً من اندماج العناصر الخفيفة وانشطار العناصر الثقيلة سوف يحرران طاقة نووية. وفي الغالب يساء فهم طاقة الربط على أنها تلك الطاقة التي يجب أن تضاف للحصول على نواة أكثر استقرارًا، لكن العكس هو الصحيح فهي الطاقة المتحررة، عندما يزيد نقص الكتلة لكل نوية وتتحول النويات إلى تركيب أكثر استقرارًا. والتركيب الأكثر استقرارًا قريب من نظير عنصر الحديد $^{56}_{26}\text{F e}$ م 2 **بصري–مكاني**

نشاط — مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

وحدات الكتلة والطاقة تظهر صعوبات لدى بعض الطلبة فيما يتعلق بوحدات الكتلة والطاقة. إن استخدام وحدات معينة ليست من النظام الدولي للوحدات SI، مثل وحدة الكتل الذرية u والإلكترون فولت eV وافتراض تكافؤ الكتلة–الطاقة يمكن أن يكون مربكًا جدًّا. أكّد على ان كل من وحدات الكتلة والطاقة يمكن استخدامها بالتبادل. فمثلاً، تكافؤ

$$1.000\ \text{u} = 1.6605 \times 10^{-27}\ \text{kg}$$
$$= \frac{931.49\ \text{MeV}}{c^2} = 1.4924 \times 10^{-10}\ \text{J}$$

اسأل الطلبة ما هي الفائدة من التعبير عن الكتلة المكافئة بوحدة u والطاقة بوحدة MeV. إنها من نظام قياس أكثر ملاءمة في العمليات الحسابية. م 1 **منطقي–رياضي**

مناقشة

سؤال عند بداية الجدول الدوري، فإن الأنوية المستقرة لها تقريبًا أعداد متساوية من البروتونات والنيوترونات. وعندما يزداد العدد الذري، فإن الأنوية تميل إلى أن يكون عدد النيوترونات أكبر من عدد البروتونات في الأنوية المستقرة. لماذا؟

الإجابة تتنافر البروتونات بعضها مع بعض، ولكن النيوترونات لا تتنافر. والطاقة اللازمة لإضافة المزيد من البروتونات تزداد فعليًا كلما ازدادت Z. بينما الطاقة اللازمة لإضافة نيوترون لا تعتمد على التغلب على قوة التنافر، لذلك تضاف نيوترونات أكثر للنواة المستقرة. بالإضافة لذلك، فإن إضافة نيوترونات أكثر يزيد من الفراغ بين البروتونات، وبالتالي يقلل من قوى التنافر فيما بينها. م 2

مثال صفي

سؤال قارن بين كل من نقص الكتلة وطاقة الربط النووية لنواتي الديوتيريوم $^{2}_{1}H$ و الهيليوم $^{4}_{2}He$. إذا علمت أن كتلة $^{2}_{1}H$ تساوي 2.014102 u وكتلة $^{4}_{2}He$ تساوي 4.002603 u

الجواب

بالنسبة للنظير $^{2}_{1}H$، اجمع كتلة نيوترون واحد مع كتلة بروتون واحد لتحصل على الكتلة الكلية.

$= 1.008665\ u + 1.007825\ u$

$= 2.016490\ u$

نقص الكتلة $^{2}_{1}H$ هو

$= 2.016490\ u - 2.014102\ u$

$= 0.0023880\ u$

لذلك فإن طاقة الربط

$= (-0.002388\ u)\ (931.49\ MeV/u)$

$= -2.2244\ MeV$

بالنسبة للهيليوم $^{4}_{2}He$، اجمع كتلة نيوترونين وبروتونين لتحصل على الكتلة الكلية.

$2.017330\ u + 2.015650\ u$

$= 4.032980\ u$

نقص الكتلة للهيليوم $^{2}_{1}He$ تساوي

$= 4.032980\ u - 4.002603\ u$

$= 0.030377\ u$

لذلك فإن طاقة الربط

$= (0.030377u)\ (931.49\ MeV/u)$

$= -28.296\ MeV$

يوجد فرق شاسع بين طاقة الربط النووية للديوتيريوم $^{2}_{1}H$ والهيليوم $^{4}_{2}He$

وكذلك عند الأعداد الكتلية الأكبر من 56، يحدث تفاعل نووي طبيعي، فعندما يضمحل اليورانيوم– 238 إلى الثوريوم– 234، فإن نواة الثوريوم الناتجة تكون أكثر استقرارًا من نواة اليورانيوم، وتتحرر الطاقة على شكل جسيم مشع ذي كتلة وطاقة حركية. ولكن لا يتحوّل الثوريوم تلقائيًا إلى اليورانيوم؛ لأنه يجب أن تضاف طاقة إلى النواة لحدوث ذلك. وقد ولدّت أنوية عناصر ثقيلة موجودة في الجدول الدوري بهذه الطريقة، وعمومًا فإن العناصر الثقيلة قد تتكون لعدة أجزاء من الثانية فقط، قبل أن تضمحل إلى أنوية أصغر، وأكثر استقرارًا. وعندما تكتسب الأنوية الصغيرة نيوكليونات، فإن طاقة الربط النووية للنواة الأكبر، تكون أكثر سالبية، لذا تكون أكثر استقرارًا من مجموع طاقات الربط للأنوية الأخف.

مثال 1

نقص الكتلة وطاقة الربط النووية أوجد نقص الكتلة وطاقة الربط النووية للتريتيوم $^{3}_{1}H$. إذا كانت كتلة نظير التريتيوم 3.016049 u وكتلة ذرة الهيدروجين 1.007825 u وكتلة النيوترون 1.008665 u

1 تحليل المسألة ورسمها

المعلوم	المجهول
كتلة ذرة الهيدروجين الواحدة = 1.007825 u	كتلة النيوكليونات والإلكترون الكلية = ؟
كتلة النيوترون الواحد = 1.008665 u	نقص الكتلة = ؟
كتلة التريتيوم = 3.016049 u	طاقة الربط النووية للتريتيوم = ؟
طاقة الربط النووية 1 u = 931.49 MeV	

2 إيجاد الكمية المجهولة

اجمع كتل ذرة الهيدروجين (بروتون واحد وإلكترون واحد) ونيوترونين.

كتلة ذرة هيدروجين + كتلة نيوترونين تساوي: $1.007825\ u + 2.017330\ u$

كتلة النيوكليون الكلية: $3.025155\ u$

نقص الكتلة يساوي كتلة التريتيوم الفعلية ناقص مجموع كتل مكوّناته

كتلة التريتيوم: كتلة النيوكليونات تساوي: $3.016049\ u - 3.025155\ u$

نقص الكتلة : $-0.009106\ u$

طاقة الربط النوية هي الطاقة المكافئة لمقدار نقص الكتلة.

(نقص الكتلة u)(طاقة الربط النووية لـ 1 u) = E

$E = (-0.009106\ u)\ (931.49\ MeV/u)$ بالتعويض عن نقص الكتلة = -0.009106 u

$E = -8.4821\ MeV$ طاقة الربط لكل u = 931.49 MeV

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الكتلة بوحدة u، وتقاس الطاقة بوحدة MeV.
- **هل للإشارة معنى؟** يجب أن تكون طاقة الربط سالبة.
- **هل الجواب منطقي؟** اعتمادًا على الشكل 2–3 فإن طاقة الربط لكل نيوكليون في المدى بين 2 MeV– و 3 MeV–، لذلك فالجواب للنيوكليونات الثلاثة منطقي.

نشاط

تحدٍّ

مقارنة طاقة الربط النووية والطاقة الكيميائية تحدى الطلبة بأن يفسّروا، لماذا لا تقود التفاعلات الكيميائية طبيعيًا إلى تفاعلات نووية. فمثلاً، عندما يحترق الهيدروجين، فإن حرارة الاحتراق 286 kJ /mol–، والذي يعني أن كل مول من الهيدروجين المحترق يحرر طاقة 286 kJ. اطلب إلى الطلبة أن يحسبوا الطاقة بوحدة eV المحررة من كل ذرة. 286 kJ /mol من الذرات = ذرة / 1.3 eV، اطلب الى الطلبة مقارنة هذه الطاقة مع طاقة الربط النووية للهيدروجين. نقص الكتلة للهيدروجين 0.002388 u، لذلك فإن طاقة الربط 2.224 MeV–، فالطاقة المحررة نتيجة احتراق الهيدروجين أقل كثيرًا من طاقة الربط النووية لنواة الهيدروجين. م 3 **منطقي–رياضي**

مسائل تدريبية

استخدم القيم المبينة أدناه لحل المسائل التالية:

كتلة الهيدروجين تساوي 1.007825 u، وكتلة النيوترون تساوي 1.008665 u، و 1u = 931.49 MeV

4. كتلة نظير الكربون $^{12}_{6}C$ تساوي 12.0000 u، احسب:
   a. نقص الكتلة.
   b. طاقة الربط النووية بوحدة MeV
5. نظير الهيدروجين الذي يحتوي على بروتون واحد ونيوترون واحد يسمى ديوتيريوم، كتلة ذرته 2.014102 u، ما مقدار:
   a. نقص كتلته؟
   b. طاقة الربط للديوتيريوم بوحدة MeV؟
6. يحتوي نظير النيتروجين $^{15}_{7}N$ على سبعة بروتونات، وثمانية نيوترونات، وكتلته 15.010109 u، احسب:
   a. نقص الكتلة لهذه النواة.
   b. طاقة الربط النووية لهذه النواة.
7. إذا كانت الكتلة النووية لنظير الأكسجين $^{16}_{8}O$ تساوي 15.994915 u ما مقدار:
   a. نقص الكتلة لهذا النظير؟
   b. طاقة الربط النووية لهذا النظير؟

في مجال الفيزياء النووية بدأ استخدام عنصر الراديوم المشع في الطب خلال عشرين عامًا من اكتشافه. واستخدمت مسارعات البروتون في التطبيقات الطبية، بعد أقل من عام من اختراعها. وبدأ التطبيق العسكري للانشطار النووي (انقسام الأنوية) وما زال تحت التطوير، حتى قبل أن تعرف الأساسيات الفيزيائية. وقد تبعتها التطبيقات السلمية بعد أقل من عشر سنوات.

3-1 مراجعة

8. **الأنوية** لاحظ أزواج الأنوية التالية: $^{12}_{6}C$ ، $^{13}_{6}C$ و $^{11}_{6}C$ ، $^{11}_{5}B$ بماذا يتشابه كل زوج منها، وبماذا يختلف؟
9. **طاقة الربط النووية** عندما يضمحل نظير التريتيوم $^{3}_{1}H$ فإنه ينبعث جسيم بيتا، ويصبح $^{3}_{2}He$، أي نواة تتوقع أن يكون لها أكبر طاقة ربط نووية؟
10. **الطاقة النووية القوية** مدى الطاقة النووية القوية قصير جدًّا؛ حيث إن النيوكليونات القريبة جدًّا بعضها من بعض تتأثر بهذه القوة. استخدم هذه الحقيقة في تفسير سبب تغلب قوة التنافر الكهرومغناطيسية على قوة التجاذب القوية في الأنوية الثقيلة، مما يجعل النواة غير مستقرة.
11. **نقص الكتلة** أي النواتين في المسألة 9 لها نقص كتلة أكبر؟
12. **نقص الكتلة وطاقة الربط** إذا علمت أن كتلة نظير الكربون المشع $^{14}_{6}C$ تساوي 14.003074، فاحسب مقدار:
    a. نقص الكتلة لهذا النظير.
    b. طاقة الربط النووية لهذا النظير.
13. **التفكير الناقد** في النجوم المتقدمة في العمر، ليس فقط الهيليوم والكربون ينتجان عن طريق اتحاد أنوية مترابطة معًا بشدة، ولكن ينتج الأكسجين (Z = 8) والسيليكون (Z = 14) أيضًا. ما العدد الذري للنواة الثقيلة التي يمكن أن تتكون بهذه الطريقة؟ فسّر.

3-1 مراجعة

8. الزوج الأول له عدد البروتونات نفسه ولكن عدد مختلف من النيوكليونات. الزوج الثاني له العدد نفسه من النيوكليونات ولكن عدد مختلف من البروتونات.
9. نواة التريتيوم، لأن التريتيوم يُطلق جسيم بكتلة وطاقة حركية نتيجة اضمحلاله.
10. للقوة الكهربائية مدى كبير، لذلك، جميع البروتونات تتنافر بعضها مع بعض حتى في الأنوية الثقيلة. القوة القوية لها مدى قصير، لذلك فقط البروتونات المتجاورة تتجاذب. تزداد قوة التنافر بزيادة حجم النواة بمعدلٍ أسرع من القوة القوية.
11. نواة التريتيوم
12. a. -0.113196 u
    b. -105.44 MeV
13. 26 وهو الحديد، لأن طاقة الربط النووية لها هي الأكبر.

مسائل تدريبية

4. a. -0.098940 u
   b. -92.161 MeV
5. a. -0.002388 u
   b. -2.2244 MeV
6. a. -0.113986 u
   b. -106.18 MeV
7. a. -0.137005 u
   b. -127.62 MeV

3. التقويم

التحقّق من الفهم

طاقة الربط النووية مجموع كتل نيوترونين منفردين و بروتونين منفردين وإلكترونين منفردين تساوي 4.032980 u لكن كتلة ذرة الهيليوم التي تحتوي على هذه الجسيمات قيست فكانت 4.002603 u اسأل الطلبة أين ذهبت الكتلة الزائدة. تمثل خسارة الكتلة الشغل الذي يجب أن يبذل للتغلب على قوة التنافر، حينما تزال النيوكليونات من النواة. هذه هي طاقة الربط النووية للذرة. م 2 **منطقي–رياضي**

التوسع

جدول النشاطية الإشعاعية للنويدات يزودنا جدول النويدات بمعلومات موسعة عن جميع النظائر المعروفة لكل عنصر. و تعدّ نسخة موسّعة للجدول الدوري. اطلب إلى الطلبة أن يستخدموا جدول النويدات، لإيجاد الكتلة والوفرة النسبية لثلاثة نظائر توجد في الطبيعة للنيون.

$^{20}_{10}Ne$	19.992440 amu	90.48%
$^{21}_{10}Ne$	20.9938467 amu	0.27%
$^{22}_{10}Ne$	21.991385 amu	9.25 %

م 3 **منطقي–رياضي**

3-2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية

1. التركيز

نشاط محفّز

الملح المشع احصل على عداد جايجر ووعاء يحتوي على كلوريد البوتاسيوم وهذه المادة آمنة جدًّا وتستخدم على الأغلب كبديل عن الملح عند الضرورة، ويمكن شراؤها من البقالة. يجب وضع أنبوب عداد جايجر قريبًا جدًّا من 100 g من المادة تقريبًا. شغل العداد واحمل الأنبوب أولاً في الهواء لكي يحصل الطلبة على درجة معدل النقر المستخدم، ثم ضع الأنبوب قريبًا من كلوريد البوتاسيوم. اسأل الطلبة الأسئلة التالية: ماذا حصل لمعدل العد؟ ماذا يعني هذا؟ ازداد معدل العد عند وضع انبوب العداد بالقرب من الملح. وهذا يثبت أنه يوجد على الأقل بعض الذرات غير المستقرة في العينة العادية من كلوريد البوتاسيوم. م 1 **سماعي–موسيقي**

الربط مع المعرفة السابقة

النويدات وطاقة الربط هذا الجزء مبني على مفهوم النويدات التي تم شرحها في الجزء 1–3 وكما تم وصف تحوّلاتها في التفاعلات النووية، فإن التغيرات في طاقة الربط أيضًا وصفت أولاً في الجزء 1–3. وتفسير انبعاث الطاقة خلال تفاعلات الانشطار والاندماج النووية.

2. التدريس

تعزيز الفهم

ألفا، وبيتا، وجاما هذه هي أسماء الأحرف الثلاثة الأولى للحروف الأبجدية الإغريقية وأيضًا أسماء ثلاثة أنواع رئيسية من الإشعاع.

عند انبعاث جسيم ألفا يقل عدد البروتونات بروتونين، وينقص عدد النيترونات نيوترونين، لذلك يقل العدد الكتلي بمقدار 4. انبعاث الإلكترون (يسمى جسيم بيتا) من النواة ينقص وحدة واحدة من الشحنة السالبة، ولكن لا يتغير العدد الكتلي. وهذا يعني أن نيوترون يجب أن يتحول إلى بروتون، عندما ينبعث إلكترون نتيجة انبعاث بيتا.

الأهداف
- **تصف** ثلاثة أنماط للانبعاث الإشعاعي.
- **تحل** معادلات نووية.
- **تحسب** كمية المادة المشعة المتبقية، ونشاطيتها بعد فترة زمنية محددة.
- **تصف** الاندماج النووي والانشطار النووي.
- **تصف** عمل المفاعل النووي.

المفردات
المواد المشعة
انبعاث ألفا
انبعاث بيتا
انبعاث جاما
عمر النصف
النشاطية
التفاعل النووي
الانشطار النووي
التفاعل المتسلسل
الاندماج النووي

في عام 1896م عمل بيكرل بمركبات تحتوي على عنصر اليورانيوم. وقد فوجئ عندما وجد أن لون الصفائح الفوتوجرافية التي كانت تغطي اليورانيوم، وتحجب الضوء عنه أصبح ضبابيًّا، ودل اللون الضبابي هذا على أن نوعًا من الأشعة المنبعثة من اليورانيوم قد نفذت من الصفيحة التي تغطيه. وقد وجد أن بعض المواد الأخرى غير اليورانيوم أو مركباته قادرة على أن تبعث مثل هذه الأشعة النافذة. والمواد التي تطلق مثل هذا النوع من الإشعاع تسمى (المواد المشعة). وبسبب انبعاث جسيمات من هذه المواد فقد قيل إنها تضمحل؛ حيث تضمحل النواة عندما تنتقل من حالة أقل استقرارًا، إلى حالة أكثر استقرارًا، تلقائيًّا.

الاضمحلال الإشعاعي Radioactive Decay

في عام 1899م، اكتشف العالم رذرفورد ورفاقه أن عنصر الرادون يتحول تلقائيًّا إلى نواة أخف وإلى نواة هيليوم خفيفة. وفي العام نفسه اكتشف أيضًا أن مركبات اليورانيوم تنتج ثلاثة أنواع مختلفة من الإشعاع، فُصل بينها اعتمادًا على قدرتها على اختراق المواد. وقد أطلق عليها اسم إشعاعات α (ألفا)، و β (بيتا) و γ (جاما). حيث يمكن إيقاف جسيمات ألفا عند اصطدامها بصفيحة رقيقة من الورق، بينما يلزم سمك 6 mm من الألومنيوم لإيقاف معظم جسيمات بيتا، ويلزم سمك عدة سنتمترات من الرصاص لإيقاف إشعاع جاما.

انبعاث ألفا جسيم ألفا عبارة عن نواة هيليوم ^4_2He، ويطلق على عملية انبعاث جسيمات ألفا من أنوية الذرات المشعة **انبعاث ألفا**. العدد الكتلي لجسيم ألفا ^4_2He هو 4، والعدد الذري له 2، فعندما تطلق النواة جسيم ألفا فإن عددها الكتلي A ينقص بمقدار 4، بينما ينقص العدد الذري Z لها بمقدار 2، فيتحوّل العنصر إلى عنصر مختلف. وعلى سبيل المثال يتحوّل اليورانيوم $^{238}_{92}U$ إلى ثوريوم $^{234}_{90}Th$ نتيجة انبعاث ألفا.

انبعاث بيتا جسيمات بيتا عبارة عن إلكترونات تنبعث من النواة. لا تحتوي النواة على إلكترونات، فمن أين تأتي هذه الإلكترونات؟ يحدث **انبعاث بيتا** عندما يتحول النيوترون إلى بروتون داخل النواة. في جميع التفاعلات يجب أن تبقى الشحنة محفوظة، لذا فإن الشحنة قبل التفاعل يجب أن تساوي الشحنة بعد التفاعل؛ فعندما تحدث عملية انبعاث بيتا يتحول النيوترون إلى بروتون وينتج أيضًا إلكترون. في هذا الاضمحلال تنتهي نواة عدد نيوتروناتها N وعدد بروتوناتها Z متحولة إلى نواة جديدة عدد نيوتروناتها N–1، وعدد بروتوناتها Z+1، مع ظهور جسيم آخر يدعى أنتي (ضديد) نيوترينو $^0_0\bar{\nu}$ مرافقًا لانبعاث بيتا.

انبعاث جاما تنبعث أشعة **جاما** نتيجة إعادة توزيع الطاقة داخل النواة. وإشعاع جاما عبارة عن فوتونات ذات طاقة عالية. ونتيجة لذلك لا يتغير العدد الكتلي أو العدد الذري للنواة المضمحلة. ويرافق إشعاع جاما عادة اضمحلال ألفا أو بيتا. وقد تم تلخيص خواص أنواع الانبعاثات الثلاثة للإشعاع في **الجدول 1–3**.

تمر العناصر المشعة خلال سلسلة الاضمحلالات الإشعاعية لتكوّن نواة مستقرة في النهاية. فاليورانيوم $^{238}_{92}U$ عندما يضمحل مثلاً يخضع إلى 14 انبعاثًا قبل أن ينتج نظير الرصاص $^{206}_{82}Pb$ المستقر.

تجربة إضافية

الأشعة الكونية

الهدف تحديد نوع الإشعاع الموجود في الفضاء المحيط بنا.

المواد والأدوات أنبوب جايجر مع العدّاد، وورق، وشريط لاصق.

الخطوات

ضع أنبوب جايجر على سطح طاولة المختبر بعيدًا عن أي مصدر مشع. شغّل العدّاد وسجّل عدد العدات خلال ثلاثة دقائق، ألصق قطعة من الورق حول الأنبوب بحيث تغطي نافذة الأنبوب وأعد تشغيل العداد وسجل عدد العدات لمدة ثلاث دقائق. إذا كان لديك وقت كافٍ، أعد التجربة وسجل عدد العدات خلال ساعة كاملة بدلاً من ثلاث دقائق وسجّل العدات الجديدة.

التقويم سوف يحدث تغير عشوائي في معدل العد خلال ثلاث دقائق. ويجب أن لا يكون هناك فرق إحصائي بوجود أو عدم وجود الغطاء الورقي على نافذة العداد. ونسبة تحديد الخطأ للعد العشوائي تساوي الجذر التربيعي لعدد العدات المسجّلة. لذلك، فإن عدتين تعتبران مختلفتان إحصائيا فقط، إذا كان مقدار الاختلاف بينهما يساوي مضاعفات نسبة الخطأ في كل عدة. العد لفترة ساعة (أو أكثر) سيجعل من السهل تحديد، ما إذا كان لديك اختلاف. الفضاء المحيط بنا يحتوي مبدئيًا على إشعاعات جاما قادمة من الفضاء الكوني والتي لا يمكن إيقافها بوساطة القطعة الورقية.

تطوير المفهوم

التفاعلات الكيميائية مقابل التفاعلات النووية

في التفاعلات الكيميائية يعاد ترتيب الذرات في الجزيئات. فالجزيئات تتغير ولكن الذرات لا تتغير. أما في التفاعلات النووية فيعاد ترتيب البروتونات والنيوترونات داخل النواة. بالإضافة لذلك، يمكن أن يتحول البروتون والإلكترون كل منهما للآخر. مجموع الشحنة والأعداد الكتلية لا تتغير.

الجدول 1 – 3

الخاصية	أشعة ألفا	أشعة بيتا	أشعة جاما
الرمز	α	β	γ
التركيب	جسيمات ألفا	جسيمات بيتا	أشعة كهرومغناطيسية عالية الطاقة
وصف الاشعاع	نواة الهيليوم ^4_2He	الكترونات	فوتونات
الشحنة	$+2$	-1	0
الكتلة	6.64×10^{-27} kg	9.11×10^{-31} kg	0
الطاقة القصوى	5 MeV	$(0.05-1)$ MeV	1 MeV
قوة النفاذ النسبية	يمكن حجزها بورقة	يمكن حجزها بصفيحة الومنيوم	قد تخترق عدة سنتمترات من الرصاص

التفاعلات والمعادلات النووية
Nuclear Reactions and Equations

يحدث **التفاعل النووي** عندما تتغير طاقة النواة أو عدد النيوترونات أو عدد البروتونات فيها. وكما في التفاعلات الكيميائية، فإن بعض التفاعلات النووية ينتج عنها طاقة، بينما تحتاج تفاعلات أخرى للطاقة كي تحدث.

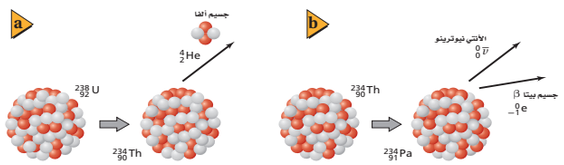
تتضمن بعض أنواع التفاعلات النووية انبعاث جسيمات بوساطة النشاط الاشعاعي للأنوية المشعة، ويرافق انبعاث هذه الجسيمات انطلاق طاقة زائدة على شكل طاقة حركية. ويمكن وصف التفاعلات النووية باستخدام الكلمات، والتمثيل البياني، أو المعادلات. فيمكن التعبير عن التفاعل النووي الموضح في **الشكل 3a–3** كما يلي:

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

وخلال اضمحلال بيتا ينتج إلكترون $^0_{-1}e$، والأنتي نيوترونيو $^0_0\bar{\nu}$. وعملية تحوّل ذرة الثوريوم بانبعاث جسيم بيتا أيضًا موضحة في **الشكل 3b–3**، كما يمكن التعبير عنها كما يلي:

$$^{234}_{90}Th \rightarrow {}^{234}_{91}Pa + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\bar{\nu}$$

وتخضع جميع التفاعلات النووية لمبادئ حفظ الكميات، ومنها مبدأ حفظ الشحنة ومبدأ حفظ العدد الكتلي، لذلك فإن مجموع الأعداد العلوية في طرف المعادلة الأيسر، يساوي مجموع الأعداد العلوية في الطرف الأيمن للمعادلة. وهناك أيضًا مساواة بين الأعداد السفلية في طرفي المعادلة.



الشكل 3–3 انبعاث جسيم ألفا بوساطة عنصر اليورانيوم– 238 ينتج عنه تكوّن الثوريوم 234 (a). انبعاث جسيم بيتا بوساطة عنصر الثوريوم – 234 ينتج عنه تكوّن البروتكتانيوم – 234 (b).

نشاط

طرائق تدريس متنوعة

ضعاف البصر وضعاف السمع إن أجهزة العد الإشعاعي تعدّ معدات جيدة ومفيدة لمساعدة كل من الطلبة ضعاف البصر وضعاف السمع الذين يدرسون الفيزياء. الأجيال القديمة لعدّادات جايجر كانت تعطي نقرات مسموعة ومقياس ميكانيكي يشير إلى معدل العد. إذا قمت بشراء جهاز جديد، تأكد من الحصول على جهاز يحتوي مكبر صوت للحصول على نقرات مسموعة ومقياس عددي للإنتاج المرئي. والتوصيل مع مكبر الصوت الخارجي يمكن أن يكون مفيدًا نظرًا لأن مكبرات الصوت هذه يمكن أن تقدم استجابة ملموسة للطلبة الذين يعانون من ضعف السمع. **م ا سماعي-موسيقي**

مثال صفي

سؤال اكتب معادلة التفاعل النووي لاضمحلال النظير المشع $^{87}_{37}Rb$ إلى $^{87}_{38}Sr$ بانبعاث جسيم بيتا وأنتينوترينو.

الجواب

$$^{87}_{37}Rb \rightarrow {}^{87}_{38}Sr + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$$

سؤال اكتب معادلة التفاعل النووي لانحلال النظير المشع $^{222}_{86}Rn$ إلى $^{218}_{84}Po$ بانبعاث جسيم ألفا.

الجواب

$$^{222}_{86}Rn \rightarrow {}^{218}_{84}Po + {}^{4}_{2}\alpha$$

مسائل تدريبية

14. $^{234}_{92}U \rightarrow {}^{230}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$

15. $^{230}_{90}Th + {}^{226}_{88}Ra + {}^{4}_{2}He$

16. $^{214}_{82}Pb \rightarrow {}^{214}_{83}Bi + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$

مثـــال 2

انبعاث ألفا وبيتا اكتب المعادلة النووية لكل من التحولات الإشعاعية التالية:

a. نظير الراديوم المشع $^{226}_{88}Ra$ ، يبعث جسيم ألفا؛ ليتحول إلى نظير الرادون $^{222}_{86}Rn$

b. نظير الرصاص المشع $^{209}_{82}Pb$ ، يبعث جسيم بيتا، وأنتي نيوترينو ليتحول إلى نظير البزموث $^{209}_{83}Bi$

1 تحليل المسألة ورسمها

	المعلوم	المجهول
a.	$^{226}_{88}Ra \rightarrow \alpha$ جسيم $+ {}^{222}_{86}Rn$ α جسيم $= {}^{4}_{2}He$	هل هذا الاضمحلال ممكن؟
b.	أنتي نيوترينو + جسيم $\beta + {}^{209}_{83}Bi \rightarrow {}^{209}_{82}Pb$ $\overline{\nu} = {}^{0}_{0}$ أنتي نيوترينو، β جسيم $= {}^{0}_{-1}e$	هل هذا الاضمحلال ممكن؟

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. عوّض $^{4}_{2}He$ لجسيم α $^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{222}_{86}Rn$

b. عوّض $^{0}_{-1}e$ لجسيم β و $\overline{\nu}$ للأنتي نيوترينو $^{209}_{82}Pb \rightarrow {}^{209}_{83}Bi + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$

3 تقويم الجواب

- **هل عدد النيوكليونات محفوظ؟**

a. $226 = 222 + 4$، لذلك فإن العدد الكتلي محفوظ.

b. $209 = 209 + 0 + 0$، لذلك فإن العدد الكتلي محفوظ.

- **هل الشحنة محفوظة؟**

a. $88 = 2 + 86$، لذلك فإن الشحنة محفوظة.

b. $82 = 83 - 1 + 0$، لذلك فإن الشحنة محفوظة.

مسائل تدريبية

14. اكتب المعادلة النووية لتحول نظير اليورانيوم المشع $^{234}_{92}U$ إلى نظير الثوريوم $^{230}_{90}Th$ ، بانبعاث جسيم ألفا.

15. اكتب المعادلة النووية، لتحول نظير الثوريوم المشع $^{230}_{90}Th$ ، إلى نظير الراديوم المشع $^{226}_{88}Ra$ ، بانبعاث جسيم ألفا.

16. يتحول نظير الرصاص المشع $^{214}_{82}Pb$ ، إلى نظير البزموث المشع $^{214}_{83}Bi$ ، بانبعاث جسيم بيتا وأنتي نيوترينو. اكتب المعادلة النووية.

عند انبعاث جسيمات ألفا أو بيتا، تظهر في الطرف الأيسر من المعادلة نواة واحدة تضمحل إلى نـواة أخـرى، بالإضافة إلى جسيم واحد أو أكثر من الجسيمات المشعة التي تظهر في الطرف الأيمن من المعادلة. مثال آخر على التحوّل، يحدث عندما يصطدم جسيم مع نواة ينتج عنه غالبًا انبعاث جسيمات أخرى، كما في المعادلة $^{12}_{6}C + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{13}_{7}N$. ومثل هذه التفاعلات موضحة في المثال التالي، وكذلك في مناقشة موضوع الانشطار النووي لاحقًا في الفصل.

نشاط

مساعدة الطلبة ذوي صعوبات التعلّم

مخططات الإشعاع المرجعية إن تتبع تفاصيل الأنواع المختلفة من الإشعاع، يمكن أن يكون صعبًا بالنسبة لبعض الطلبة. لمساعدتهم اطلب إليهم أن يعمل كل منهم جداول أو مخططات خاصة به تلخّص أسماء، ورموز، وخصائص الأنواع الثلاثة الشائعة للإضمحلال الإشـعاعي، والتغـيرات المرافقـة في العدد الكتـلي والعدد الذري. ومن ثـم اطلب إليهم استخدام مخططاتهم المرجعية هذه لكتابة عدة أمثلة عن معادلات تفاعلات الإضمحلال النووي. م ١ لغوي

مثـــــال 3

حل المعادلات النووية عند قذف غاز النيتروجين بجسيمات ألفا ينبعث بروتونات ذات طاقة عالية. ما العنصر الجديد الناتج؟

1 تحليل المسألة ورسمها

المعلوم	المجهول
نيتروجين $= {}^{14}_{7}\mathrm{N}$ ، ألفا $= {}^{4}_{2}\mathrm{He}$	ما العنصر الذي يتولد في الطرف الأيمن للمعادلة.
بروتون $= {}^{1}_{1}\mathrm{H}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

اكتب معادلة التفاعل النووي.

$${}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{14}_{7}\mathrm{N} \longrightarrow {}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$$

حل المعادلة بالنسبة للعدد Z والعدد A.

$$A = 4 + 14 - 1 = 17 \qquad Z = 2 + 7 - 1 = 8$$

استخدم الجدول الدوري. العنصر ذو العدد الذري $Z = 8$ هو الأكسجين. والنظير يجب أن يكون ${}^{17}_{8}\mathrm{O}$

3 تقويم الجواب

- **هل المعادلة موزونة؟** عدد النيوكليونات محفوظ: $17 + 1 = 14 + 4$. الشحنة محفوظة: $8 + 1 = 2 + 7$

مسائل تدريبية

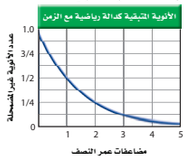
17. استخدم الجدول الدوري لإكمال المعادلتين النوويتين التاليتين:
   a. ${}^{14}_{6}\mathrm{C} \longrightarrow \mathrm{X} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$
   b. ${}^{55}_{24}\mathrm{Cr} \longrightarrow \mathrm{Y} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$
18. اصطدم بروتون بنظير النيتروجين ${}^{15}_{7}\mathrm{N}$، فتكوّن عنصر جديد وجسيم ألفا. ما العنصر الناتج؟ اكتب معادلة نووية تبين ذلك.
19. اكتب المعادلات النووية لانبعاث جسيم بيتا من العناصر التالية:
   a. ${}^{210}_{83}\mathrm{Bi}$
   b. ${}^{234}_{90}\mathrm{Th}$
   c. ${}^{239}_{93}\mathrm{Np}$

عمر النصف Half – Life

تسمى الفترة الزمنية اللازمة لاضمحلال نصف ذرات أي كمية من نظير العنصر المشع **عمر النصف** لذلك العنصر. بعد مرور فترة عمر النصف كاملة يقل عدد الأنوية غير المضمحلة إلى النصف، كما هو موضح في **الشكل 4–3**. ولكل نظير مشع عمر نصف خاص به.

فعمر النصف لنظير الراديوم ${}^{226}_{88}\mathrm{Ra}$ مثلاً 1600 سنة. وبذلك فإن كل 1600 سنة يضمحل نصف الكمية المعطاة من الراديوم ${}^{226}_{88}\mathrm{Ra}$ إلى عنصر آخر، هو الرادون، وبعد 1600 سنة أخرى يضمحل نصف عينة الراديوم المتبقية. أي أنه بعد مرور 3200 سنة يبقى ربع الكمية الأصلية. وفي المقابل، تضمحل عينة من البولونيوم– 210 إلى ربع الكمية الأصلية خلال 276 يومًا فقط.

الشكل 4–3 اضمحلال النواة المشعة إلى حالات أكثر استقرارًا.



مثال صفي

سؤال يستخدم أحد أنواع مصادر النيوترونات في الأبحاث ويعرف باسم مدفع النيوترون. عندما تمتص أنوية البريليوم (الهدف) جسيمات ألفا ذات الطاقة العالية المنبعثة من مصدر بلوتونيوم الموجود في مدفع النيوترونات، فإنها تتحول إلى ذرة ${}^{13}_{6}\mathrm{C}$ المثارة، وعندما تعود بعض ذرات ${}^{13}_{6}\mathrm{C}$ المثارة إلى حالة الاستقرار، فإنها تتحول ثانية خلال انبعاث النيوترون. ما هو النظير الجديد الناتج؟

الجواب

${}^{13}_{6}\mathrm{C} \rightarrow {}^{12}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$ النظير الجديد هو ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$

مسائل تدريبية

17. a. ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$
   b. ${}^{55}_{25}\mathrm{Mn}$
18. ${}^{15}_{7}\mathrm{N} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{12}_{6}\mathrm{C} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$
19. a. ${}^{210}_{83}\mathrm{Bi} \rightarrow {}^{214}_{84}\mathrm{Po} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$
   b. ${}^{234}_{90}\mathrm{Th} \rightarrow {}^{234}_{91}\mathrm{Pa} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$
   c. ${}^{239}_{93}\mathrm{Np} \rightarrow {}^{239}_{94}\mathrm{Pu} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$

استخدام الشكل 4–3

اطلب إلى الطلبة استخدام **الشكل 4–3** لحساب نسب الأنوية المتبقية غير المضمحلة، لفترات زمنية متعددة. أولاً، يستخدم الطلبة عدد أعمار النصف كوحدة للزمن؛ ثم اطلب إليهم تعويض قيمة عمر النصف من الجدول 2–3 وإعادة التمرين. فمثلاً، ما نسبة الكسر التي يقل بها الجزء المتبقي من الأنوية غير المضمحلة من 1.5 إلى 2.5 عمر نصف؟ $\frac{3}{16} / \frac{3}{8} = \frac{1}{2}$ الآن عوّض قيمة عمر النصف للنظير ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ لعدد أعمار النصف. 1.5 عمر نصف تعادل 8595 سنة؛ 2.5 عمر نصف تعادل 14325 سنة. نسبة الكسر التي يقل بها الجزء المتبقي من النوية من 8595 سنة إلى 14325 سنة هو $\frac{1}{2}$.

م 2 **بصري–مكاني.**

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

التأريخ الإشعاعي بعد فترةٍ وجيزة من بداية القرن العشرين، بدأ الجيولوجيون بإجراء قياسات دقيقة على محتوى الصخور من المواد المشعة. قدّم العالم رذرفورد في عام 1904 محاضرة بين فيها أن الطاقة المتحررة من باطن الأرض تعود للاضمحلال الإشعاعي وأصبح تقدير العمر ممكنًا في تلك الفترة القصيرة جدًّا. حيث بين رذرفورد أيضًا أن أعمار معادن اليورانيوم يمكن أن تحدد بدقة وذلك بقياس نتائج الاضمحلال داخل الصخور. في الوقت الحاضر، يستخدم الجيولوجيون أنظمة اضمحلال متعددة تبدأ بالنظائر المشعة الطبيعية، متضمنة ${}^{87}_{37}\mathrm{Rb}$ و ${}^{40}_{19}\mathrm{K}$. وبعض نظائر اليورانيوم والثوريوم وذلك للحصول على تواريخ أكثر دقة للصخور.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

النشاطات الإشعاعية الطبيعية وعمر النصف كثيرًا ما يندهش الطلاب حين يدرسون أن بعض العناصر الشائعة يوجد لها نظائر مشعة في الطبيعة، وذات أعمار نصف طويلة ومستويات متدنية من النشاطية الإشعاعية. ونظائر العناصر المشعة الطبيعية هي $^{87}_{37}Rb$ ، $^{40}_{19}K$، و $^{238}_{92}U$ وأعمار النصف لها 4.75×10^{10} سنة، و 1.23×10^{9} سنة، و 4.51×10^{9} سنة على التوالي. ولأن هذه النظائر توجد الآن في الطبيعة فيجب أن يكون لها أعمار نصف طويلة جدًّا؛ لأنها كانت موجودة منذ تكوّن المواد التي تشكل الأرض.

مسائل تدريبية

20. 0.25 g

21. 0,25 g

22. 5×10^{5} Bq

23. ست سنوات تساوي نصف فترة عمر النصف للتريتيوم الذي عمر النصف له 12.3 سنة. لذلك فإن التوهج يساوي $\frac{1}{2}(\frac{1}{2})$، أو $\frac{7}{10}$ تقريبًا من التوهج الأصلي.

الجدول 2–3

عمر النصف لنظائر مختارة

العنصر	النظير	عمر النصف	الإشعاع الناتج
هيدروجين	$^{3}_{1}H$	12.3 yr	β
كربون	$^{14}_{6}C$	5730 yr	β
كوبلت	$^{60}_{27}Co$	5.272 yr	β, γ
يود	$^{131}_{53}I$	8.07 days	β, γ
رصاص	$^{212}_{82}Pb$	10.6 h	β
بولونيوم	$^{194}_{84}Po$	0.7 s	α
بولونيوم	$^{210}_{84}Po$	138 day	α, γ
يورانيوم	$^{235}_{92}U$	7.1×10^{8}yr	α, γ
يورانيوم	$^{238}_{92}U$	4.51×10^{9}yr	α, γ
بلوتونيوم	$^{236}_{94}Pu$	2.85 yr	α
بلوتونيوم	$^{242}_{94}Pu$	3.79×10^{5}yr	α, γ

من خلال أعمار النصف للنظائر المختارة الموضحة في **الجدول 2–3**. إذا عرفت الكمية الأصلية للمادة المشعة الأصلية، وعمر نصفها، فإنك تستطيع حساب الكمية المتبقية بعد عدد معين من أعمار النصف.

الكمية المتبقية من العنصر المشع: $N = N_0 (1/2)^n$

حيث أن N الكمية المتبقية و N_0 الكمية الأولية و n عدد فترات عمر النصف التي انقضت.

الكمية المتبقية تساوي الكمية الأولية مضروبة في نصف مرفوعة لأس يساوي عدد فترات عمر النصف التي انقضت.

تستخدم أعمار النصف للنظائر المشعة لتحديد عمر الأجسام. فيمكن إيجاد عمر عينة من مادة عضوية بقياس كمية الكربون– 14 المتبقية. ويمكن حساب عمر الأرض اعتمادًا على اضمحلال اليورانيوم إلى الرصاص.

يسمى معدل الاضمحلال، أو عدد انحلالات المادة المشعة كل ثانية **النشاطية**. وتتناسب النشاطية طرديًّا مع عدد الذرات المشعة الموجودة. لذلك فإن النشاطية الإشعاعية لعينة معينة تقل أيضًا بمقدار النصف خلال عمر نصف واحد. تأمل النظير $^{131}_{53}I$ الذي عمر النصف له 8.07 أيام. فإذا كانت النشاطية لعينة معينة من اليود –131 تساوي 8×10^{5} اضمحلال/ ثانية، فسوف تكون نشاطيتها بعد انقضاء 8.07 أيام أخرى 4×10^{5} اضمحلال/ ثانية؛ وبعد 8.07 أيام أخرى تكون نشاطيتها 2×10^{5} اضمحلال/ ثانية، فنشاطية العينة ترتبط أيضًا مع عمر النصف. فعمر النصف الأقصر يعني نشاطية أكبر. فإذا عرفت نشاطية مادة معينة، وكتلة تلك المادة، فإنك تستطيع تحديد عمر النصف لها. ووحدة الاضمحلال لكل ثانية في النظام الدولي للوحدات SI هي البيكرل(Bq).

مسائل تدريبية

*ارجع إلى **الشكل 4–3** و**الجدول 2–3** لحل المسائل التالية:*

20. تولدت عينة تريتيوم $^{3}_{1}H$ كتلتها 1.0 g، ما كتلة التريتيوم التي تتبقى بعد مرور 24.6 سنة؟

21. عمر النصف لنظير النبتونيوم $^{238}_{93}Np$ هو 2.0 يوم. فإذا أنتجت عينة كتلتها 4.0 g من النبتونيوم يوم الإثنين، فما الكتلة التي ستبقى منه يوم الثلاثاء من الأسبوع التالي؟

22. تم شراء عينة من البولونيوم–210 بتاريخ 9/ 1، وكانت نشاطيتها 2×10^{6} Bq، استخدمت العينة لإجراء تجربة في 6/ 1 من السنة التالية. ما النشاطية المتوقعة للعينة؟

23. استخدم التريتيوم $^{3}_{1}H$ في العقود الأولى من القرن الماضي في بعض ساعات اليد لتوليد التوهج الفلوري؛ لكي تستطيع قراءة الوقت في الظلام. إذا كان سطوع التوهج يتناسب طرديًّا مع نشاطية التريتيوم، فكيف يكون سطوع هذه الساعة، بالمقارنة مع سطوعها الأصلي عندما يكون عمر الساعة ست سنوات؟

عرض سريع

إشعاع الإيقاف

الزمن المقدّر 10 دقائق.

المواد والأدوات مصادر مشعة اصطناعية تعليمية (ألفا، وبيتا، وجاما). وعداد جايجر، وورق، وصفيحة رقيقة من الألومنيوم، ورصاص.

الخطوات ضع عداد جايجر بحيث يكون قريبًا من مصدر ألفا. بعد ذلك، وبالتسلسل قم بتحريك كلٍ من قطعة ورق، والومنيوم ورصاص بين المصدر المشع وأنبوب جايجر. أعد الخطوات لمصادر بيتا جاما. العدّات الناتجة من مصدر ألفا ستكون بطيئة بصورة ملحوظة لهذه الحواجز الثلاثة. سوف يبطئ الألومنيوم والرصاص العدات الناتجة من مصدر بيتا. بينما الرصاص سيبطئ قليلاً العدات الناتجة من مصدر جاما.

يستخدم نظير الكوبلت $^{60}_{27}Co$ في الطب لأنه يطلق اشعاعين من أشعة جاما القوية في الجزء العالي من طيف الطاقة (1.17 MeV و 1.33 MeV). ونحصل عليها بوساطة قذف $^{59}_{27}Co$ بالنيوترونات في المفاعل النووي. لكن من الخطورة جدًّا أن تحملها بيديك. إن حبيبة صغيرة منها نصف قطرها 1 mm يلزمها مئات الكيلوجرامات من دروع الحماية لحملها بأمان لتوجيه الحزمة المشعة العلاجية

استخدام التشابه

نصف المسافة اطلب إلى طالبين أن يقفا متقابلين بحيث تكون المسافة بينهما 8 أمتار. وعلى بعد متر واحد منهما يقف طالبان آخران المسافة بينهما 4 أمتار، ثم آخران المسافة بينهما مترا ن، ثم آخران المسافة بينهما متر واحد. إن المسافة بين كل طالبين متقابلين نقصت إلى نصف المسافة بالنسبة للمجموعة التي سبقتهما. اطلب إلى الطلاب أن يتخيلوا مجموعات بمثل هذا الترتيب. إن مجموعة الأنوية المشعة تنقص إلى النصف بعد مرور كل عمر نصف بطريقة متماثلة. ولكن هذا التماثل ليس تامًّا؛ لأن الأنوية تأتي منفصلة بدلاً من الأرقام المستمرة. اسأل الطلاب عما إذا كان من الممكن الوصول إلى (نقطة الصفر) إذا استمر تناقص المسافة بين الطالبين بهذه الطريقة. لا؛ لأن قياس المسافة المقيسة مستمر، فسيكون هناك دائمًا نقطة منتصف المسافة بين الطالبين. اسأل الطلاب عما إذا كان عدد الأنوية المنفصلة غير المستقرة سوف يضمحل إلى الصفر. يمكن ذلك، إذا كانت مجموعة الأنوية غير المستقرة صغيرة بمقدار كافٍ، واحتمالية الاضمحلال عالية بمقدار كافٍ أيضًا. ومع ذلك فإن عدد الأنوية عادة كبير جدًّا بحيث لا يحدث هذا. م 2 **بصري–مكاني.**

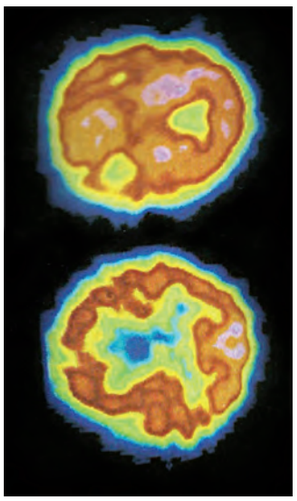
النشاط الإشعاعي الاصطناعي Artificial Radioactivity

يمكن إنتاج نظائر مشعة من العناصر المستقرة بقذفها بجسيمات ألفا، أو بروتونات، أو إلكترونات أو أشعة جاما؛ حيث تطلق الأنوية غير المستقرة الناتجة إشعاعات، حتى تتحول إلى نظائر مستقرة. ويمكن للأنوية المشعة أن تبعث جسيمات ألفا، وجسيمات بيتا، وإشعاع جاما. بالإضافة إلى النيوترينو، والأنتي نيوترينو، والبوزترونات.

تستخدم النظائر المشعة المنتجة اصطناعيًّا غالبًا في البحوث الدوائية والطبية. ففي العديد من التطبيقات الطبية يُحقن المرضى نظائر مشعة تمتصها أعضاء محددة من الجسم. ويستخدم الأطباء عدّاد الإشعاع لمراقبة الإشعاع في العضو الذي يخضع للعلاج. وبعض النظائر المشعة تتعلق بالجزيء الذي سيُمتص في منطقة العلاج، كما يحدث في تطبيق انبعاث البوزوترون في عملية التصوير الإشعاعي المقطعي، الذي يعرف بشكل أفضل بالتصوير الطبقي للدماغ PET كما هو موضح في **الشكل 5–3**.

وكثيرًا ما يستخدم الإشعاع لتدمير الخلايا السرطانية؛ فهذه الخلايا أكثر حساسية لتأثيرات التدمير الإشعاعي؛ لأنها تنقسم غالبًا أكثر من الخلايا الطبيعية. وتستخدم أشعة جاما المنبعثة من نظير الكوبلت $^{60}_{27}Co$ لمعالجة مرضى السرطان. ويحقن نظير اليود المشع في الغدة الدرقية المصابة بالسرطان.

وفي تطبيق ثالث، توجَّه الجسيمات الناتجة في مسارع الجسيمات على شكل شعاع إلى داخل النسيج بطريقة معينة، بحيث تضمحل في النسيج المصاب بالسرطان، فتدمر خلاياه.



الشكل 5–3 من أجل إجراء التصوير الطبقي للدماغ يقوم الأطباء بحقن سائل يحوي نظائر مشعة مثل $^{18}_{9}F$ ترتبط مع الجزيء الذي سوف يتركز في الأنسجة تحت العلاج. عندما يضمحل $^{18}_{9}F$ ينتج بوزترونات تفنى عندما تتحد مع الإلكترونات منتجة أشعة جاما، التي يكشف عنها بجهاز التصوير الطبقي. بعد ذلك يكوّن الحاسوب خريطة ثلاثية الأبعاد لتوزيع النظير. دماغ طبيعي – في أعلى الشكل – ودماغ شخص يعاني من داء الخرف – في أسفل الشكل –.

تطبيق الفيزياء

العلاج بالأشعة

أشعة جاما تدمر الخلايا السرطانية والخلايا السليمة لذلك يجب أن يُوجه الاشعاع مباشرة إلى الخلايا السرطانية فقط.

استخدام النماذج

عرض التفاعل المتسلسل احصل على درزن (12) أو أكثر من مصائد الفئران، وعلى العدد نفسه من كرات تنس الطاولة بالإضافة إلى كرة تنس إضافية، وعلى صندوق كبير بمقدار كافٍ لوضع المصائد. ومن الأفضل استخدام حوض سمك زجاجي بدلاً من الصندوق –إن وجد– حتى يتمكن الطلبة من مشاهدة ما يحدث في داخل الصندوق. هيء المصائد بعناية ثم ضع " طعم " كرة تنس طاولة لكل منها. إن إسقاط كرة تنس واحدة (تمثل النيوترون) بدقة في الصندوق يسبب بدء عمل نموذج التفاعل النووي المتسلسل. وباستخدام عدد أكبر من المصائد سيجعل النموذج أكثر تعبيرًا.

الانشطار النووي Nuclear Fission

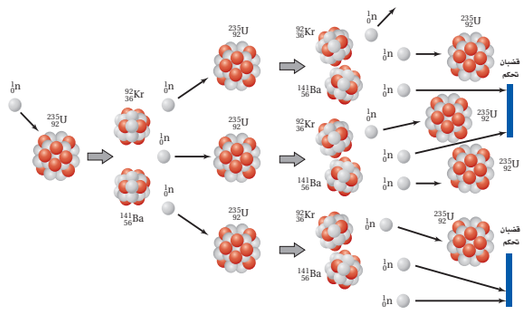
أنتج كل من العالمين أنريكو فيرمي، وأميليو سيرجي في ايطاليا عام 1934م العديد من النظائر المشعة الجديدة بقذف اليورانيوم بالنيوترونات؛ مما يسبّب انقسامها إلى نواتين أصغر، وإنتاج طاقة كبيرة جدًّا، ويسمى مثل هذا الانقسام للنواة الثقيلة إلى نواتين أو أكثر **الانشطار النووي**. وقد أدرك الكثير من العلماء إمكانية ألا يكون الانشطار النووي مصدرًا للطاقة فقط، ولكن أيضًا يمكن أن يكوّن أسلحة متفجرة.

يحدث الانشطار النووي لليورانيوم، عندما تنشطر نواة نظير اليورانيوم إلى نواتي عنصري الباريوم والكربتون عند قذفها بنيوترون بطيء. والمعادلة النووية التالية توضح هذا التفاعل:

$$ {}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \longrightarrow {}^{92}_{36}Kr + {}^{141}_{56}Ba + 3\,{}^{1}_{0}n + 200\ MeV $$

ويمكن إيجاد الطاقة المتحررة نتيجة كل انشطار بحساب كتل الذرات في كل من طرفي المعادلة. ففي تفاعل اليورانيوم– 235، تكون الكتلة الكلية في الطرف الأيمن للمعادلة أقل بمقدار 0.215 u من الكتلة الكلية في الطرف الأيسر. والطاقة المكافئة لهذه الكتلة هي 3.21×10^{-11} J، أو 2.00×10^{2} MeV، وهذه الطاقة تظهر على شكل طاقة حركية لنتائج الانشطار.

عندما يُحدث النيوترون الواحد انشطارًا نوويًّا، فإن ذلك الانشطار يحرر ثلاثة نيوترونات، كل منها يستطيع أن يُحدث انشطارًا جديدًا، وهكذا. وتسمى العملية المستمرة في تفاعلات الانشطار المتكررة التي تسبب تحرير نيوترونات من تفاعلات الانشطار السابقة **التفاعل المتسلسل**. وهذه العملية موضحة في **الشكل 6–3**.



الشكل 6–3 تفاعل الانشطار النووي المتسلسل لليورانيوم–235 الذي يحدث في قلب المفاعل النووي.

نشاط

الفيزياء في الحياة

تشكيل العناصر إن تشكيل العناصر الأثقل من الهيدروجين، يتطلب عملية اندماج نووي. اسأل الطلبة من أين تأتي كل المادة الموجودة في الكون. كقاعدة روتينية، تنتج النجوم تفاعلات نووية حارة جدًّا ومتفجرة، عندما يندمج الهيدروجين إلى الهيليوم. الأنوية الثقيلة كالسيليكون تنتج في بطون النجوم. وعندما تحدث بعض الحالات النادرة بالقرب من نهاية نشوء النجوم، فإن مجموعة معقدة من التفاعلات النووية الحرارية عالية الطاقة والتي ترافق انهيار النجم سريعًا مما يؤدي إلى نشوء نجوم مسعرة أوانفجار نجم فوق مستعر. وتتكون العناصر الثقيلة لغاية اليورانيوم في مثل هذه الانفجارات. **م 2 بصري–مكاني**

المفاعلات النووية Nuclear Reactors

لإحداث تفاعل متسلسل مسيطر عليه بحيث تستخدم الطاقة الناتجة في الاغراض السلمية، تحتاج النيوترونات للتفاعل مع اليورانيوم المنشطر بمعدل مناسب؛ فمعظم النيوترونات المحررة نتيجة انشطار ذرات اليورانيوم $^{235}_{92}U$ تتحرك بسرعات عالية جدًّا، وهذه النيوترونات تسمى النيوترونات السريعة. وبالإضافة إلى ذلك فإن اليورانيوم الذي يوجد طبيعيًّا يحتوي على أقل من 1% من نظير اليورانيوم $^{235}_{92}U$ وأكثر من 99% من نظير اليورانيوم $^{238}_{92}U$ ، وعندما تمتص نواة $^{238}_{92}U$ نيوترونًا سريعًا فإنها لاتنشطر، ولكنها تصبح نظيرًا جديدًا $^{239}_{92}U$ ، إن امتصاص النيوترونات بوساطة $^{238}_{92}U$ يمنع معظم النيوترونات من الوصول إلى ذرات $^{235}_{92}U$ الانشطارية. ومن ثم فإن معظم النيوترونات المحررة نتيجة انشطار $^{235}_{92}U$ غير قادرة على إحداث انشطار لذرة أخرى من $^{235}_{92}U$.

للسيطرة على التفاعل يفتت اليورانيوم إلى قطع صغيرة توضع في مهدئ، وهي مادة يمكن أن تبطئ النيوترونات السريعة. وعندما يصطدم النيوترون بذرة خفيفة، فإنه ينقل عزمه وطاقته إلى تلك الذرة. وبهذه الطريقة فإن النيوترون يخسر طاقة. وهكذا فإن المهدئ يبطئ الكثير من النيوترونات السريعة، إلى سرعات يمكن عندها امتصاصها بسهولة أكثر بوساطة $^{235}_{92}U$ مقارنة مع $^{238}_{92}U$. إن العدد الأكبر من النيوترونات البطيئة، تزيد إلى حد كبير من احتمال انشطار نواة $^{235}_{92}U$ وقد يحدث تفاعلاً آخر. وإذا توافرت كمية كبيرة من نظير اليورانيوم $^{235}_{92}U$ في العينة، فإنه يمكن أن يحدث تفاعلاً متسلسلاً. ولزيادة نظير اليورانيوم القابل للانشطار يمكن تخصيب اليورانيوم؛ وذلك بإضافة كمية أكبر من $^{235}_{92}U$. علمًا بأن نوعي اليورانيوم كليهما يستخدمان في المفاعلات النووية.

مفاعل الماء المضغوط هو أحد أنواع المفاعلات النووية المستخدمة في الولايات المتحدة الأمريكية، ويحتوي على 200 طن متري من قضبان اليورانيوم المغمورة في الماء، كما في **الشكل 7–3**. لا يعمل الماء مهدئًا فقط، بل ينقل أيضًا الطاقة الحرارية بعيدًا عن انشطار اليورانيوم.

الشكل 7–3 عندما توضع قضبان الوقود داخل الماء تبعث الإلكترونات فوتونات تسبب توهج الماء، ويعود هذا التوهج إلى تأثير كرنيكوف الذي يحدث عندما تدخل جسيمات إلى الماء بسرعة عالية؛ وليس بسبب النشاطية الاشعاعية.

تجربة

نمذجة الاضمحلال الإشعاعي

نحتاج إلى 50 قطعة نقدية معدنية لتمثيل 50 ذرة نظير مشع. في هذا النموذج يمثل أحد وجهي القطعة (الشعار) أنوية غير مضمحلة.

1. **دوّن** 50 (شعارًا) في البداية.
2. **ضع** القطع النقدية في كأس كبيرة، ثم رج الكأس وأفرغها من القطع. ارفع القطع النقدية التي وجه الكتابة فيها إلى أعلى وضعها جانبًا. وعُدّ ودوّن عدد القطع الباقية.
3. **أعد** الخطوة 2 باستخدام القطع النقدية التي كان وجهها العلوي شعارًا في الرمية الأخيرة. كل رمية تمثل عمر نصف واحد.

التحليل والاستنتاج

4. **تمثيل بياني** مثّل عدد القطع النقدية في دالة رياضية مع عدد أعمار النصف.
5. **اجمع** النتائج من طلبة آخرين واستخدم المجاميع لعمل تمثيل بياني جديد.
6. **قارن** هذا الرسم البياني مع الرسوم البيانية لزملائك. أيها أكثر تطابقًا مع الرسم البياني النظري في الشكل 4–3؟

تجربة

نمذجة الاضمحلال الإشعاعي

الهدف بناء نموذج الانحلال الإشعاعي.

المواد والأدوات 50 قطعة نقدية، وكأس كبير يتسع لأي مزج من القطع النقدية ، تأكد من أن يفهم الطلبة أن القطع النقدية المختلفة لا تمثل عناصر مختلفة.

النتائج المتوقعة سيتم إزالة نصف القطع النقدية تقريبًا عند كل رمية. سيلزم سبعة رميات تقريبًا قبل أن لا تظهر أي قطعة نقدية يمثل وجهها العلوي صورة.

التحليل والاستنتاج

4. يجب أن يشابه الرسم البياني للاضمحلال الرسم الموجود في الشكل 4–3 ابدأ عند النقطة 50 لعمر النصف صفر ثم ابدأ في انقاص النقاط حتى الصفر.
بيانات العينة : 50، 28، 19، 9، 3، 2، 0

5. سيتشابه الرسم البياني في الرسوم البيانية الفردية، ولكن قد يختلف تدريج المحور العمودي. ستبقى تأخذ 7 أعمار نصف لعدد الصور حتى تتناقص إلى الصفر.

6. إن إضافة النتائج يزيد عدد القطع النقدية في كل رمية. والأعداد الكبيرة تخفف من حدة التغيرات الإحصائية، لذلك، فإن تجميع أكبر عدد من البيانات ، يعني أن الرسم البياني يصبح أقرب لما هو متوقع نظريًا.

معلومة للمعلم

مهن في الحياة اليومية

الفيزياء الطبية والفيزياء الصحية على الرغم من أن أسماء هذين المجالين متشابهان، إلا أنهما يمثلان مسارين لمهنتين مختلفتين. تستخدم الفيزياء الطبية المفاهيم والطرائق الفيزيائية للمساعدة على تشخيص، ومعالجة أمراض الإنسان، فتستخدم النظائر المشعة وأجهزة التصوير الطبية، لتزويد الطبيب بالمعلومات التي يحتاج إليها من أجل التشخيص والمعالجة. في المقابل، تختص الفيزياء الصحية بالتأثيرات والحماية من التعرض الإشعاعي بجميع أنواعها. ويعمل فيزيائيو الفيزياء الصحية في محطات الطاقة النووية، وصناعات المواد النووية، أو في المواقع الطبية.

التفكير الناقد

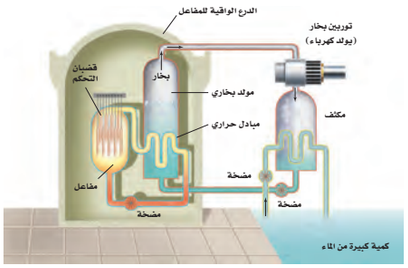
تخصيب اليورانيوم تعمل المفاعلات النووية على التفاعل المتسلسل (المضبوط) المسيطر عليه لوقود اليورانيوم ، حيث تكون نسبة اليورانيوم المخصب $^{235}_{92}U$ قليلة جدًا حيث من المحتمل أن تبلغ فقط من 3% إلى 5% من 0.7 % من المكونات الطبيعية لليورانيوم الطبيعي. لكن القذائف النووية تنفجر بتفاعل متسلسل غير مضبوط. ومن الصعب تصنيع يورانيوم للمستوى اللازم للأسلحة النووية، لأنه يجب أن يخصّب إلى 90% من $^{235}_{92}U$ اسأل الطلبة لماذا يلزم اليورانيوم عالي التخصيب لتصنيع القنبلة النووية المعتمدة على اليورانيوم. لأن التفاعل غير مضبوط، لذا يجب أن يحدث سريعًا جدًّا. والنسبة الكبيرة جدًا من $^{235}_{92}U$ الموجودة سوف تمتص الكثير من النيوترونات البطيئة دون أن تُحدث انشطار وتمنع حدوث التفاعل المتسلسل.

م2 **منطقي–رياضي.**

توضع قضبان الكادميوم بين قضبان اليورانيوم، وتتحرك إلى داخل وخارج المفاعل للتحكم بمعدل التفاعل المتسلسل. لذلك تسمى هذه القضبان قضبان التحكم، فعندما يتم إدخال قضبان التحكم كليًا داخل المفاعل، فإنها تمتص عددًا كافيًا من النيوترونات المتحررة نتيجة التفاعلات الانشطارية، وبذلك تمنع حدوث تفاعل متسلسل آخر، وعندما ترفع من المفاعل فإن معدل الطاقة المتحررة يزداد بسبب توافر نيوترونات كافية لاستمرار حدوث التفاعل المتسلسل.

تسخن الطاقة المتحررة من الانشطار الماء المحيط بقضبان اليورانيوم، لكن الماء نفسه لا يغلي؛ لأنه تحت ضغط كبير جدًّا، يزيد من درجة غليانه. وكما هو موضح في **الشكل 8–3**. يضخ هذا الماء إلى المبادل الحراري، فيسبب غليان ماء آخر متحوّلًا بخارًا يعمل على إدارة التوربينات. وهذه التوربينات موصولة بمولدات لتوليد الطاقة الكهربائية.

إن انشطار نواة $^{235}_{92}U$ ، ينتج ذرات كربتون Kr، وباريوم Ba وبعض الذرات الأخرى في قضبان الوقود. ومعظم هذه الذرات مشعة. وبعد سنة تقريبًا يجب استبدال بعض قضبان اليورانيوم. التي لا يمكن أعادة استخدامها في المفاعل، لكنها تبقى مشعة بمقدار كبير وخطيرة جدًا، لذا يجب أن تخزّن في موقع آمن. وحاليًّا يتم تطوير أساليب دائمة لتخزين هذه المخلفات النووية الإشعاعية الناتجة.



الشكل 8–3 في محطة الطاقة النووية تتحول الطاقة الحرارية المتحررة من التفاعلات النووية إلى طاقة كهربائية.

الاندماج النووي Nuclear Fusion

في عملية **الاندماج النووي** تندمج أنوية خفيفة؛ لتكوين أنوية أثقل وتتحرر طاقة كبيرة نتيجة هذه العملية كما في **الشكل 9–3**. درست سابقًا أن النواة الأثقل تكون طاقة ربطها أكبر، وتكون كتلتها أقل من مجموع كتل النيوكليونات المكونة لها. وهذا النقص في الكتلة يحدد مقدار الطاقة المتحررة.

إن العمليات التي تحدث في الشمس هي مثال على عملية الاندماج النووي؛ ومن أمثلتها تفاعل سلسلة (I) (بروتون – بروتون) حيث تندمج أربع أنوية هيدروجين (بروتونات) خلال عدة مراحل لتكوين نواة ذرة هيليوم واحدة. إن كتلة أربعة بروتونات أكبر من كتلة نواة الهيليوم – 4 الناتجة، وهذه الطاقة المكافئة لفرق الكتلة تظهر على شكل طاقة حركية للجسيمات الناتجة. والطاقة المتحررة نتيجة الاندماج تساوي 25 MeV، وبالمقارنة مع الطاقة المتحررة من تفاعل كيميائي لجزيء واحد من الديناميت والتي تعادل 20 eV، تقريبًا، نجد أنها أقل مليون مرة تقريبًا من طاقة الاندماج النووي.

78

نشاط تحدٍّ

الكتلة الحرجة اطلب إلى الطلبة دراسة الظروف اللازم توفرها لإدامة التفاعلات المتسلسلة المضبوطة وغير المضبوطة. فمثلاً، الأسلحة النووية التي تحتاج إلى كميات محددة (الكتلة الحرجة) من اليورانيوم عالي التخصيب $^{235}_{92}U$ لكي يبدأ التفاعل المتسلسل غير المضبوط. اطلب إلى الطلبة بأن يفسروا ذلك. إذا كانت كتلة $^{235}_{92}U$ ليست كبيرة بالقدر الكافي (اقل من الكتلة الحرجة)، فإن الكثير من النيوترونات ستغادر المادة قبل أن يكون بإمكانها بدء الانشطار في ذرات أخرى، عندما يتم جمع ما يكفي من $^{235}_{92}U$ معًا، فإن النيوترونات البطيئة الأولية سوف تُحدث انشطارات أكثر ونيوترونات أكثر قبل أن تغادر المادة والبدء في التفاعل المتسلسل. م3 **منطقي–رياضي.**

3. التقويم

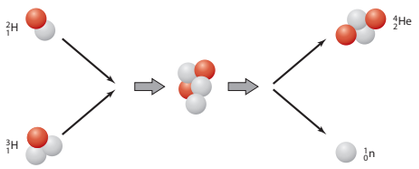
التحقّق من الفهم

الطاقة الكيميائية مقابل الطاقة النووية

إن نسبة الطاقة المتحررة بوساطة الاندماج النووي لنواة الهيليوم إلى تلك الطاقة المتحررة بوساطة جزيء واحد ثلاثي من TNT المتفجر كيميائيًا تساوي تقريبًا 1.25×10^6. اسأل الطلبة ما كتلة ألـTNT (كتلته المولية 227 g/mol) التي تكافيء طاقة الانفجار لاندماج 1.00 g من الهيليوم. (الكتلة المولية للهيليوم 4.00 g/mol) 1.00 g من الهيليوم He تكافئ 0.250 mol، طاقة الانفجار نفسه التي سوف تنتج $(0.250\ \text{mol})\ (1.25 \times 10^6) = 3.13 \times 10^5\ \text{mol}$ من مادة TNT. حيث

$(3.13 \times 10^5\ \text{mol})\ (227\ \text{g/mol}) = 7.09 \times 10^7\ \text{g}$

أو 71,000 kg من TNT. م2 **منطقي–رياضي**



الشكل 9–3 اندماج الديوتيريوم والتريتيوم لإنتاج الهيليوم. البروتون باللون الأحمر، والنيوترون باللون الرمادي في الشكل.

تندمج نواتي ذرة الهيدروجين ${}^1_1H$ لإنتاج نواة نظير الهيدروجين (الديوتيريوم) ${}^2_1H$

$${}^1_1H + {}^1_1H \longrightarrow {}^2_1H + {}^0_{+1}e + {}^0_0\nu$$

ثم تندمج نواة ديوتيريوم مع نواة هيدروجين لإنتاج نواة نظير الهليوم ${}^3_2He$

$${}^1_1H + {}^2_1H \longrightarrow {}^3_2He + \gamma$$

ويحدث التفاعلان السابقان مرتين لإنتاج جسيمين ${}^3_2He$ يلزمان لإحداث التفاعل التالي:

$${}^3_2He + {}^3_2He \longrightarrow {}^4_2He + 2\,{}^1_1H$$

والنتيجة النهائية هي أن أربعة بروتونات تنتج ذرة ${}^4_2He$ واحدة واثنين من البوزيترونات واثنين من النيوترينات وطاقة.

إن قوة التنافر بين النوى المشحونة تحتاج أن تكون طاقة النوى المندمجة عالية جدًا. لذلك لا تحدث تفاعلات الاندماج، إلا عندما يكون للأنوية كميات هائلة من الطاقة الحرارية. وتحتاج سلسلة بروتون– بروتون إلى درجة حرارة $2 \times 10^7\ \text{K}$، كتلك التي وجدت في مركز الشمس. وبالكيفية نفسها تحدث تفاعلات الاندماج في القنبلة الهيدروجينية، أو القنبلة النووية الحرارية. فنحصل على درجة الحرارة العالية الضرورية لإحداث التفاعل الاندماجي في هذه القنبلة من انشطار اليورانيوم أو القنبلة النووية.

3–2 مراجعة

24. **انبعاث بيتا** كيف يمكن لإلكترون أن ينبعث من النواة في انبعاث بيتا إذا لم تحتوي النواة على الإلكترونات؟

25. **التفاعلات النووية** يخضع نظير البولونيوم ${}^{210}_{84}Po$ لانبعاث ألفا. اكتب معادلة التفاعل.

26. **المفاعل النووي** يستخدم الرصاص واقيًا من الإشعاع. لماذا لا يمكن اعتباره خيارًا جيدًا ليكون مهدئًا في المفاعل النووي؟

27. **الاندماج النووي** يحتوي تفاعل اندماجي واحد على نواتي ديوتيريوم ${}^2_1H$، ويحتوي جزيء الديوتيريوم على ذرتي ديوتيريوم. لماذا لا يتعرض الجزيئان لعملية الاندماج؟

28. **طاقة** احسب الطاقة المتحررة من التفاعل النووي الاندماجي التالي في الشمس:

$${}^1_1H + {}^1_1H \longrightarrow {}^2_1H + {}^0_{+1}e + {}^0_0\nu$$

29. **التفكير الناقد** تستخدم بواعث ألفا في كواشف التدخين. فيوضع باعث على أحد ألواح المكثف. وتصطدم جسيمات ألفا باللوح الآخر، ونتيجة لذلك يتولد فرق في الجهد بين اللوحين. فسّر وتنبأ أي اللوحين يكون له جهد موجب أكبر.

3-2 مراجعة

24. في النواة، يتحول النيوترون إلى بروتون ويطلق إلكترون (بيتا) وانتي نيوترنيو.

25. ${}^{210}_{84}Po \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + {}^4_2He$

26. يستخدم الرصاص كدرع إشعاعي، لأنه يمتص الإشعاع متضمنًا النيوترونات، بينما المهديء يجب فقط أن يبطيء النيوترونات لذلك يمكن أن تمتص بوساطة المواد الانشطارية.

27. يجب أن تتحرك الأنوية داخل الجزيء بسرعة كبيرة جدًا حتى تخضع للاندماج.

28. 0.931 MeV

29. اللوحة التي تتعرض للقذف بوساطة جسيمات ألفا لها جهد موجب كبير لأن جسيمات ألفا الموجبة تحرّك الشحنة الموجبة من لوحة الباعث إلى لوحة القذف.

1. التركيز

نشاط محفّز

انحراف الجسيمات استخدم جهاز راسم الذبذبات وقضيبين مغناطيسيين لإظهار الطرائق التي يتم بوساطتها التحكم بحزم الجسيمات في المسارعات. إذا لم يكن جهاز راسم الذبذبات متوافرًا، فمن الممكن إيضاح انحراف حزم الجسيمات، وذلك بتقريب القضيب المغناطيسي إلى جانب أي أنبوب أشعة الكاثود (CRT) في جهاز التلفاز أو شاشة الحاسوب. استخدم تلفاز (الأبيض-الأسود) قديم إذا كان متوافراً لأن هذا التلفاز يعود إلى وضعه الطبيعي، بينما التلفاز الملوّن أو الشاشة الملونة لن يعودان. م 2 بصري-مكاني

الربط مع المعرفة السابقة

الفيزياء الذرية والفيزياء النووية يستخدم هذا الجزء بعض المصطلحات والمفاهيم من الجزء 2-3 والجزء 1-3، والفصول السابقة، كإشعاع ألفا، وبيتا، وجاما؛ والمجال الكهربائي؛ والجهد؛ والسرعة؛ والتسارع؛ والكترون فولت؛ والمجال المغناطيسي؛ والتردد؛ والتأين؛ والضغط؛ والتيار؛ ونقطة الغليان؛ وحفظ الطاقة والزخم، والقوة النووية القوية.

2. التدريس

تطوير المفهوم

- **طاقة الجسيم** أشر إلى أنه في فصل سابق عرِّفَ الإلكترون فولت eV على أنه يساوي 1.6×10^{-19} J الطاقة القصوى التي يمكن للمسارع الخطي أن ينقلها على الأغلب تعطى بوحدة G eV، حيث $1\ \text{G eV} = 10^9\ \text{eV}$
- **المسارعات الدائرية** تستخدم كل من المسارعات الخطية، والمسارعات الدائرية طرائق تسارع متماثلة؛لكن في الآلات الدائرية تُستخدم المجالات المغناطيسية لحني مسار الجسيمات إلى الشكل الدائري. والمسارعات الدائرية أكثر إحكامًا.

الأهداف
- تصف عمل مسارعات الجسيمات، وكواشف الجسيمات.
- تصف النموذج المعياري للمادة، وتفسر دور حاملات القوة.

المفردات
الكواركات
الليبتونات
النموذج المعياري
حاملات القوة
إنتاج الزوج
القوة النووية الضعيفة

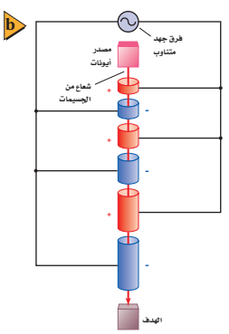
عندما درس الفيزيائيون الأوائل النواة بوساطة الجسيمات ذات السرعات العالية، كان عليهم استخدام جسيمات ألفا من مصادر مشعة. وقد استخدم مجربون آخرون الأشعة الكونية التي تنتج عن عمليات لم تفهم بصورة كاملة حتى الآن في النجوم والمجرات. في بداية عام 1930م طُورت أول أجهزة مختبرية استطاعت مسارعة البروتونات، وجسيمات ألفا لتكسبها طاقة كبيرة كافية لاختراق نواة الهدف. وفي الوقت الحاضر يستخدم جهازان لهذا الغرض هما المسارع الخطي والسنكروترون بشكل منتظم.

المسارعات الخطية Linear Accelerators

يستخدم المسارع الخطي لمسارعة البروتونات أو الإلكترونات، ويتكون المسارع من سلسلة من الأنابيب المجوّفة داخل حجرة طويلة مخلخلة الضغط. والأنابيب موصولة بمصدر جهد متناوب عالي التردد، كما في **الشكل 10–3**. تُنتج البروتونات في مصدر أيوني، وعندما يطبق جهد سالب على الأنبوب الأول فإن البروتونات الداخلة له تتسارع. ونتيجة لعدم وجود مجال كهربائي داخل الأنبوب، فإن البروتونات تتحرك داخله بسرعة ثابتة. ويعدل كل من طول الأنبوب وتردد الجهد؛ بحيث عندما تصل البروتونات إلى النهاية البعيدة له فإن جهد الأنبوب الثاني يصبح سالبًا بالنسبة للأنبوب الأول. فيعمل المجال الكهربائي المتكوّن في الفجوة بين الأنابيب على مسارعة البروتونات إلى داخل الأنبوب الثاني. تستمر هذه العملية بحيث تبقى البروتونات تتسارع بين كل زوج من الأنابيب. تزداد طاقة البروتون بمقدار 10^5 eV بتأثير كل تسارع. وفي نهاية المسارع تكون البروتونات قد اكتسبت عدة ملايين أو بلايين الإلكترون فولت من الطاقة.

وهناك طرائق أخرى مماثلة تستخدم لمسارعة الإلكترونات. لاحظ أن هذا النوع من المسارعات يعمل على تسارع الجسيمات المشحونة فقط.

الشكل 10–3 المسارع الخطي في جامعة ستانفورد طوله 3.3 km ويعمل على مسارعة الإلكترونات إلى طاقات 20 GeV (a). تتسارع بروتونات في مسارع خطي عن طريق تغيير الشحنة في الأنابيب أثناء حركة البروتونات (b).



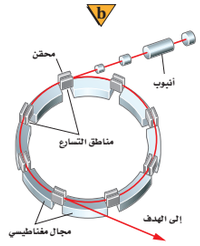
السنكروترون The Synchrotron

يمكن أن يصنع المسارع ليكون أصغر باستخدام المجال المغناطيسي؛ لجعل مسار الجسيمات دائريًّا. في جهاز السنكروترون تفصل مناطق الانحراف المغناطيسي بمناطق تسارع، كما في **الشكل 3–11b**. في المناطق المستقيمة، فإن الجهد المتناوب العالي التردد يسارع الجسيمات، إن شدة المجال المغناطيسي وطول المسار يتم اختيارهما؛ بحيث تصل الجسيمات إلى موقع المجال الكهربائي المتناوب بالضبط، عندما تعمل قطبية المجال على تسارعها. إن إحدى أجهزة السنكروترون الضخمة التي تعمل الآن موجودة في مختبر مسارع فيرمي الوطني بالقرب من شيكاجو الموضح في **الشكل 3–11a**، حيث تصل طاقة البروتونات فيه إلى 1 TeV (10^{12} eV) . ينتقل شعاع البروتون، وشعاع ضديد البروتون في اتجاهات متعاكسة في المسار الدائري (ضديد البروتون جسيم له كتلة البروتون نفسها لكن شحنة معاكسة) فتصادم الأشعة في مناطق تفاعلات متعددة، وتدرس النتائج.

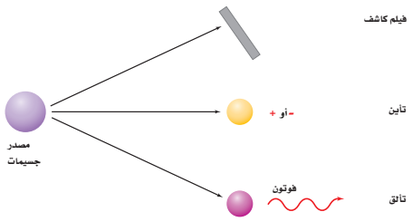
كواشف الجسيمات Paricle Detectors

عندما تنتج الجسيمات لا بد من الكشف عن نتائج التصادم. أي أنها تحتاج إلى التفاعل مع مادة بطريقة معينة؛ بحيث نستطيع الإحساس بها بحواسنا الإنسانية المحدودة نسبيًّا. فيدك توقف جسيم ألفا، رغم عدم إحساسك بأن الجسيم قد ارتطم بك. وفي اللحظة التي تقرأ فيها هذه العبارة، تعبر جسمك بلايين النيوترونات الشمسية دون أن تشعر بها. لذلك ابتكر العلماء خلال القرن الماضي أدوات لكشف وتمييز نواتج التفاعلات النووية.

درست أن عينات اليورانيوم كوّنت طبقة ضبابية على الصفائح الفوتوجرافية؛ فعندما اصطدمت جسيمات ألفا أو جسيمات بيتا أو أشعة جاما بالصفيحة الفوتوجرافية أصبح لون الصفيحة ضبابيًّا. لذلك يمكن استخدام تلك الصفائح للكشف عن الإشعاع. وتستخدم أجهزة أخرى عديدة للكشف عن الجسيمات المشحونة وأشعة جاما. ومعظم هذه الأجهزة تعمل على مبدأ الاستفادة من حقيقة أن تصادم الذرات مع جسيمات ذات سرعة عالية تعمل على تحرير إلكترونات من الذرات، أي أن الجسيمات العالية السرعة تؤين المادة التي تُقذف إليها. بالإضافة إلى ذلك تتألق (تلمع) بعض المواد، أو تبعث فوتونات، عند تعرضها لأنواع معينة من الإشعاع. وهكذا فإن المواد الفلّورية يمكن أن تستخدم أيضًا للكشف عن الإشعاع. وهذه الطرائق الثلاث للكشف عن الإشعاع موضحة في **الشكل 12–3**.



الشكل 11–3 سنكروترون مختبر فيرمي نصف قطره 2 km **(a)**. السنكروترون عبارة عن مسارع دائري، تستخدم فيه المغانط لضبط المسار وتسارع الجسيمات **(b)**.



الشكل 12–3 يمكن الكشف عن الجسيمات عندما تتفاعل مع المادة عن طريق التعرض لفيلم كاشف، أو شحن المادة، أو التسبب بانبعاث فوتونات من المادة.

81

استخدام التشابه

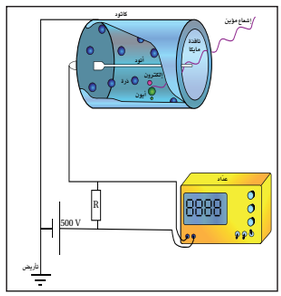
التأرجح تستقبل الجسيمات في جهاز السنكروترون دفعات من المجال الكهربائي المتناوب بعدد صحيح من المرات حتى تزداد الطاقة تدريجيًا. هذا الجانب للسنكروترون يتشابه مع طفل يتم دفعه على أرجوحة عند تردد الرنين. عند هذا التردد، تعزز الدفعات التسارع الأقصى لمجال الجاذبية الأرضية في كل دورة. وتكون النتيجة زيادة تدريجية في طاقة نظام الطفل–الأرجوحة.

التفكير الناقد

مصادر الجسيمات المصدر المعتاد للبروتونات المستخدمة في المسارعات هو غاز الهيدروجين المتأين. اسأل الطلبة ما الذي يمكن أن يشكل مصدرًا مناسبًا لجسيمات ألفا. ذرات غاز الهيليوم، التي تتحول إلى جسيمات ألفا عندما تتأين ثنائيًا. م 2 **منطقي–رياضي**

تعزيز الفهم

الكشف الاستراتيجية الأساسية للكشف عن الجسيم، تتمثل في تنظيم طريقة ما لجمع الشحنة الناتجة عندما تتفاعل الجسيمات مع المادة. اسأل الطلبة ما العملية الفيزيائية التي تحدث لتنتج النقرة المسموعة في مكبر الصوت عندما يؤين الجسم المشحون أو أشعة جاما الذرة في الأنبوب المملوء بالغاز المتصل مع عداد جايجر بوساطة أسلاك جهد عالي. يسارع المجال الكهربائي الإلكترون الذي نتج من التأين الأول للجزيء. فيصطدم ذلك الإلكترون مع جزيء آخر ويؤينه وفي النهاية يتكون سيل من الأيونات. تنتج الشحنة نبضة كهربائية يتم تضخّيمها وتشكيلها فتحرك ملف الصوت في مكبر الصوت. م 2



الشكل 13–3 يبين تركيب انبوب عداد جايجر

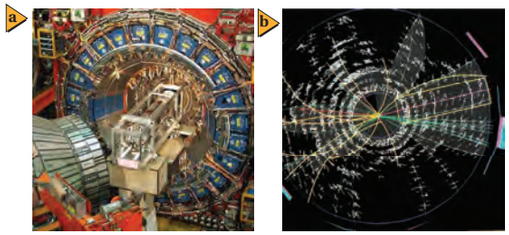
عدّاد جايجر يحتوي أنبوب عدّاد جايجر– مولر الموضح في **الشكل 13–3** على أسطوانة نحاسية ذات شحنة سالبة. يوضع في محورها قطب معدني موجب الشحنة، بحيث يبقى فرق الجهد المطبق على القطب والأسطوانة دون النقطة التي يحدث عندها التفريغ التلقائي للشحنات أو الومضة. عندما يدخل جسيم مشحون أو أشعة جاما إلى الأنبوب يؤيِّن ذرة غاز بين أسطوانة النحاس والقطب، فيتسارع الأيون الموجب الناتج في اتجاه أسطوانة النحاس، تحت تأثير فرق الجهد، ويتسارع إلكترون في اتجاه القطب الموجب. وحركة الجسيمات المشحونة في اتجاه الأقطاب تولِّد سيلاً من الجسيمات المشحونة، فتتحرك نبضة التيار خلال الأنبوب.

مسارات التكاثف أول جهاز استخدم للكشف عن الجسيمات كان حجرة غيمة ولسون. تحتوي هذه الحجرة على منطقة مشبعة ببخار الماء أو بخار الإيثانول. وعندما تنتقل الجسيمات المشحونة خلال الحجرة تترك أثرًا من الأيونات في مسارها، فيتكاثف البخار على شكل قطرات صغيرة على تلك الأيونات. وبهذه الطريقة تتكون مسارات مرئية من القطرات، أو الضباب. وفي الكشاف المماثل الذي لا يزال يستخدم حتى الآن، والمسمى بحجرة الفقاعة، تعبر الجسيمات المشحونة خلال سائل تبقى درجة حرارته فوق درجة الغليان. في هذه الحالة، فإن مسار الأيونات يسبب تكوُّن فقاعات بخار تحدد مسارات الجسيمات، كما في **الشكل 14–3**.

الشكل 14–3 تُظهر صورة حجرة فقاعة اللون الوهمية مسار الجسيمات المشحونة.

أنتجت التقنية الحديثة حجرات كشف تسمى حجرات سلكية تشبه أنابيب جايجر– مولر العملاقة. وتفصل الصفائح الكبيرة بوساطة فجوة صغيرة مملوءة بغاز ذي ضغط منخفض. يحدث التفريغ الكهربائي في مسار الجسيم الذي يعبر خلال الحجرة، فيكشف الحاسوب عن التفريغ ويسجّل موقعه للتحليل التالي.

الجسيمات المتعادلة كهربائيًا لا تغادر المسارات؛ لأنها لا تُحدث تفريغًا. ويمكن استخدام قوانين حفظ الطاقة، وحفظ الزخم في التصادمات، لتبين ما إذا أنتجت جسيمات متعادلة. وتستخدم كواشف أخرى لتقيس طاقة الجسيمات. تستخدم مجموعة متكاملة من أجهزة الكشف في تجارب المسارعات العالية الطاقة، ومنها الكاشف التصادمي في مختبر فيرمي؛ حيث يمكنه القيام بثلاث مهام، كما هو موضح في **الشكل 15a–3**. صمم الكاشف التصادمي في مختبر فيرمي لرصد ربع مليون تصادم للجسيم في الثانية. يعمل الكاشف كآلة تصوير كتلتها 5000–طن، لتكوين صورة حاسوبية لحالات التصادم كما في **الشكل 15b–3**.



الشكل 15–3 في مختبر فيرمي، يسجّل الكاشف التصادمي المسارات الناتجة عن بلايين التصادمات (a). صورة حاسوبية للكاشف التصادمي في مختبر فيرمي لحالة الكوارك العلوي موضحة في الشكل (b)

82

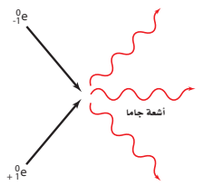
الفيزياء في الحياة

معلومة للمعلم

التداوي بالبروتون المسارع الدائري الاول، (السيلكترون)، اخترع في عام 1929 من قبل العالم إرنست لورنس، الذي حاز لاحقًا على جائزة نوبل على اختراعه. ما زال السيلكترون مستخدمًا لغاية الآن كطريقة للتداوي بالبروتون لعلاج الأورام الخبيثة. كالعلاج باستخدام أشعة X والكوبلت، فإن التداوي بالبروتون يستخدم حزمة خارجية لنقل الإشعاع المؤين للأنسجة المصابة في داخل الجسم. ويمكن توجيه حزمة البروتونات للهدف بدقة أكبر مقارنة مع التقنيات الأخرى، لأنه عند سرعة محددة، فإن اختراق البروتونات يختلف بمقدار قليل جدًّا. بالإضافة لذلك، فإن حزمة البروتونات مركزة جدًّا ويمكن أن تتشكل في ثلاثة أبعاد لتتناسب مع الورم وتقلل الضرر للأنسجة السليمة المحيطة.

ضديد المادة Antimatter

بداية عام 1920م توقع باولي ديراك وجود ضديد جسيم خاص بكل نوع من الجسيمات. والإلكترون الموجب الذي يسمى بوزترون مثال على ضديد الجسيم، للإلكترون وللبوزترون الكتلة ومقدار الشحنة نفساهما، ولكن إشارتيّ شحنتيهما متعاكستان. وعندما يصطدم إلكترون، وبوزترون معًا فإن كلًّا منهما يُفني الآخر، وينتج عن ذلك طاقة على شكل أشعة جاما. كما هو موضح في **الشكل 16–3**.

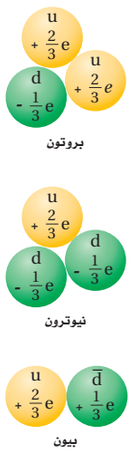


■ **الشكل 16–3** نتائج تصادم البوزترون والإلكترون في عملية إنتاج أشعة جاما

الجسيمات Particles

إن نموذج الذرة الذي اكتشف عام 1930م كان بسيطًا للغاية؛ فالذرة فيه مكونة من بروتونات ونيوترونات محاطة بالإلكترونات. ثم عملت الدراسات العميقة للاضمحلال الإشعاعي على تشويش هذه الصورة المبسطة. فبينما لجسيمات ألفا وأشعة جاما التي تنبعث من النواة المشعة طاقات أحادية تعتمد على النواة المضمحلة، فإن جسيمات بيتا تنبعث بمدى واسع من الطاقات. قد يظن البعض أن طاقة جسيمات بيتا قد تساوي الفرق بين طاقة النواة قبل الاضمحلال وطاقة النواة الناتجة عن الاضمحلال. والحقيقة أن المدى الواسع لطاقات الإلكترونات المنبعثة خلال انبعاث بيتا نبهت العالم نيلز بور إلى وجود جسيم آخر يمكن أن يشارك في التفاعل النووي، ويحمل جزءًا من الطاقة. توقع العالمان باولي عام 1931م وفيرمي عام 1934م وجود جسيم متعادل غير مرئي ينبعث مع جسيم بيتا أطلق عليه فيرمي اسم النيوترينو، ويعني في الإيطالية "جسيم صغير متعادل". ولكن في الواقع فإن هذا الجسيم هو الأنتي نيوترينو ولم يلاحظ مباشرة حتى عام 1956م. أظهرت دراسات أخرى وجود جسيمات أخرى، منها الميون الذي يبدو كإلكترون ثقيل، وقد اكتشف عام 1937م. وفي عام 1935م افترض يوكاوا وجود جسيم جديد يستطيع حمل القوة النووية خلال الفراغ، تمامًا كما يحمل الفوتون القوة الكهرومغناطيسية. وفي عام 1947م اكتشف الجسيم المفترض وهو بيون. وعلى الرغم أنه لم يكن يحمل القوة النووية القوية، لكنه كان نوعًا جديدًا من المادة.

■ **الشكل 17–3** بالرغم من أن للكواركات شحنات جزئية ($\frac{1}{3}$ ، $\frac{2}{3}$) شحنة الإلكترون فإن جميع الجسيمات التي تكوّنها يكون لها عدد صحيح من الشحنات.



لقد نتج عن التجارب التي أجريت على مسارعات الجسيمات معرفة المزيد عن جسيمات أخرى جديدة، بعضها ذو كتلة متوسطة وبعضها الآخر ذو كتلة أكبر من كتلة البروتون. وتحمل شحنات موجبة أو سالبة أو لا تحمل شحنة، وبعضها له فترة حياة 10^{-23}s، ولبعضها الآخر فترة حياة غير محددة. من جهة أخرى سئل العالم فيرمي أن يحدد مسار جسيم ما عند نقطة معينة، فأجاب "إذا استطعت أن أتذكر أسماء جميع هذه الجسيمات فعندئذٍ سأكون عالم نبات".

النموذج المعياري The Standard Model

لقد أصبح واضحًا في أواخر عام 1960م أن البروتونات والنيوترونات والبيونات ليست جسيمات أولية. بل مكوّنة من مجموعة من الجسيمات لا توجد بشكل منفصل وتسمى **الكواركات**، كما في **الشكل 17–3**. وتنتمي الإلكترونات والنيوترينات إلى عائلة مختلفة تسمى **لبتونات**. ويعزى الفرق الجوهري بين هذين النوعين (**الكواركات** ، **واللبتونات**) إلى وجود ونسبة الشحنة التي يحملها الجسيم. ويعتقد العلماء الآن وجود ثلاث عائلات من الجسيمات الأولية: الكواركات، واللبتونات **وحاملات القوة** (البوزونات)، وهذا النموذج من مكوّنات بناء المادة، يسمى **النموذج المعياري**. وتسمى الجسيمات مثل البروتونات والنيوترونات التي تتكون من ثلاثة كواركات الباريونات.

عرض سريع

حجرة الضباب

الزمن المقدّر عشرة دقائق

المواد والأدوات حجرة ضباب صغيرة، كحول، 2 كيلوجرام من جليد جاف، ومصدر ألفا على إبرة.

تحذير: تجنب التعرض للمصدر المشع لفترة طويلة. وتعامل معه بحذر شديد

الخطوات حضر غرفة السحاب بغمر قطعة من القماش في الكحول. ضع الإبرة المشعة إلى جانب حجرة الضباب ومن ثم ضع الحجرة في كتلة من الجليد الجاف. عندما تصبح الحجرة باردة جدًّا، يجب أن تكون قادرًا على مشاهدة مسارات الإشعاع. سوف تنطلق جسيمات ألفا بعيدًا عن الإبرة، مخلّفة وراءها نفثات لحظية في بخار الكحول.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

مكونات الذرة لمعظم الطلبة، فإن الدروس العلمية في السنوات السابقة قد أكدت على الجسيمات الذرية الأساسية: البروتون، والنيوترون، والإلكترون. لكن منذ عام 1940م، تم اكتشاف العديد من الجسيمات دون النووية.

نشاط — مشروع فيزياء

كواشف الحالة الصلبة تستخدم بلورة السيليكون أو الجرمانيوم التي صنعت كي تعمل كدايود كبير في كاشف الحالة الصلبة. فعندما يطبق جهد عكسي على مثل هذا الكاشف، فإن أشعة جاما التي تدخله سوف تولّد أزواج (إلكترون– فجوة) يمكنه أن ينتقل كالنبضات الكهربائية إلى محلل النبضات العالية، فيعمل المحلل على جمع النبضات، وتصنيفها وفق المقدار، فيعرض طيفًا لطاقة أشعة جاما. اطلب الى الطلبة كتابة بحث عن هذا النظام، ويجب أن يفسّروا لماذا من المهم أن نعرف بدقة طاقات أشعة جاما الموجودة في العينة. هذا يسمح بتحديد هوية النويدات التي تشكل مصدر أشعة جاما. **م 2 منطقي–رياضي**

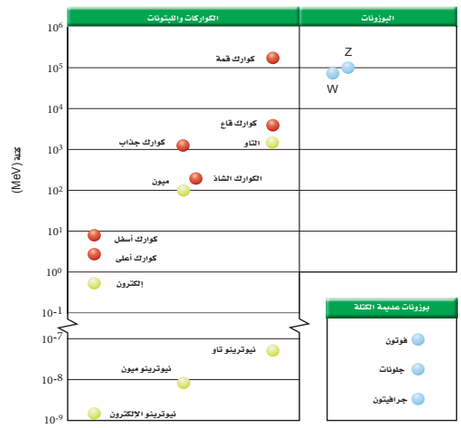
المناقشة

سؤال لماذا لا تتحلل البروتونات والنيوترونات إلى كواركات تحت الظروف العادية؟

الإجابة تتماسك الكواركات معًا ضمن النيوترونات والبروتونات بوساطة قوى تتزايد عند فصل الكواركات كما في قوة النابض. إذا أضيفت طاقة كافية فإن (النابض) فعالية الروابط تتكسر، حيث ينتج زوج الكوارك–ضديد الكوارك في موقع الكسر. والكواركات الحرة لا يمكن أبدًا إنتاجها مهما زادت الطاقة م 2 .

تطوير المفهوم

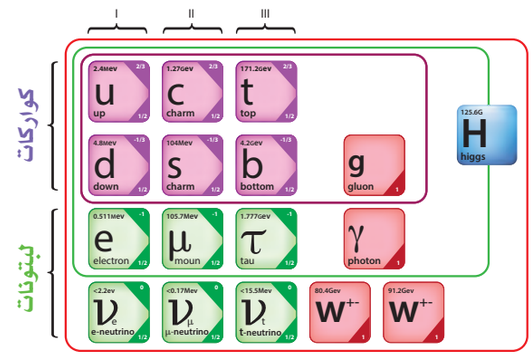
كتلة الفوتون لا يبدو أن إجراء تجربة للتحقق من أن للفوتونات والبوزونات الأخرى كتلة سكونية ممكنًا. لكن من الممكن من خلال تجربة وضع حد أعلى لكتلة الفوتون. أظهرت نتائج التجارب أن الحد الأعلى هذا يكون في حدود 10^{-54} kg



الشكل 18–3 تقسم الكواركات واللبتونات المعروفة إلى ثلاث أجيال. يتكوّن عالم اليوم من جسيمات من الجيل الأول (u, d, e). والجسيمات من الجيل الثاني (c,s,μ) موجودة في الأشعة الكونية، وتنتج بطريقة روتينية في مسارعات الجسيم. ويعتقد أن جسيمات الجيل الثالث (b,t,τ) مستنارة قليلاً خلال اللحظات المبكرة للانفجار العظيم، وتوجد نتيجة التصادمات العالية الطاقة. تحمل البوزونات القوى الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة والقوية وقوى الجاذبية، ويعبّر عن الكتل بمكافئات الطاقة المعطاة بمعادلة أينشتاين $E = mc^2$

والـزوج المكوّن من الكوارك وضديد الكوارك، مثل البيون يسمى ميزونًا أيضًا. وهناك نوع جديد من الجسيمات يتكوّن من أربعة كواركات، وضديد كوارك واحد، يسمى بنتاكوارك، ومن المحتمل أن يكون قد شوهد مؤخرًا. وهناك جسيمات تتكون من ستة كواركات وستة لبتونات. والكواركات واللبتونات تشكل المادة، بينما حاملات القوة جسيمات تنقل القوى؛ فمثلاً تحمل الفوتونات القوة الكهرومغناطيسية، وتحمل الجلونات الثمانية القوى النووية القوية التي تربط الكواركات في الباريونات والميزونات. أما جلونات البوزونات الثلاثة الضعيفة فهي متضمنة في إشعاع بيتا.

الجرافيتون، اسم يطلق على حامل قوة الجاذبية الذي لم يكتشف حتى الآن. وقد تم تلخيص خصائص الجسيمات الأولية التي تمثل أساس النموذج المعياري في **الشكلين 18–3، 19–3**.



الشكل 19–3 الأجيال الثلاثة للمادة.

حاملات القوة

84

الخلفية النظرية للمحتوى

معلومة للمعلم

الليبتونات والهادرونات الليبتونات عبارة عن جسيمات وضديد الجسيمات التي لا تستجيب للقوة النووية القوية، ولكنها تستجيب لقوى الجاذبية، والقوة الكهرومغناطيسية، و القوة الضعيفة. الإلكترون والنيوترينو والميون هي ليبتونات. تستجيب الهادرونات للقوة النووية القوية وتنقسم إلى بايرونات وميزونات. ومن الأمثلة على البايرونات البروتون والنيوترون. ومن الأمثلة على الميزونات البيون والكيون. والهادرونات ذات حجم قابل للقياس وتتكوّن من الكواركات.

البروتونات والنيوترونات Protons and Neutrons

نموذج الكوارك يصف النيوكليونات (البروتونات والنيوترونات) بوصفها تجمعًا من الكواركات. وكل نيوكليون مكوّن من ثلاثة كواركات، فيتكون البروتون من اثنين من كوارك أعلى u (شحنة $+\frac{2}{3}e$) وكوارك أسفل واحد d (شحنة $-\frac{1}{3}e$)، ويعبر عن البروتون بالرمز p = uud؛ فشحنة البروتون عبارة عن مجموع شحنة ثلاثة كواركات:

$$[\tfrac{2}{3}+\tfrac{2}{3}+(-\tfrac{1}{3})]e=+e$$

بينما يتكون النيوترون من كوارك أعلى واحد واثنين من كوارك أسفل ويعبر عن النيوترون بالرمز n = udd؛ فشحنة النيوترون صفر:

$$[\tfrac{2}{3}+(-\tfrac{1}{3})+(-\tfrac{1}{3})]e=0$$

لا يمكن مشاهدة الكواركات الحرة المنفردة؛ لأن القوة القوية التي تبقيها مجتمعة معًا تصبح أكبر كلما اندفعت الكواركات مبتعدة بعضها عن بعض. في مثل هذه الحالة، تعمل القوة القوية كقوة النابض، فهي لا تشبه القوة الكهربائية التي تصبح أضعف كلما تحركت الجسيمات مبتعدًا بعضها عن بعض. وتنتقل القوة القوية في نموذج الكوارك بوساطة الجلونات.

التحولات بين الكتلة والطاقة
Conversions Between Mass and Energy

يمكن حساب كمية الطاقة التي تتولّد نتيجة فناء جسيم باستخدام معادلة أينشتاين لتكافؤ الطاقة والكتلة $E = mc^2$. إن كتلة الإلكترون $9.11 + 10^{-31}$ kg وتساوي كتلة البوزترون. لذلك فإن الطاقة المكافئة للبوزترون والإلكترون معًا يمكن حسابها كما يلي:

$$E = 2\,(9.11 \times 10^{-31}\ \text{kg})(3.00 \times 10^{8}\ \text{m/s})^2$$
$$E = (1.64 \times 10^{-13}\ \text{J})\ (1\ \text{eV}/1.60 \times 10^{-19}\ \text{J})$$
$$E = 1.02 \times 10^{6}\ \text{eV}\ \text{أو}\ 1.02\ \text{MeV}$$

عندما يكون كل من البوزترون والإلكترون في حالة سكون، فإن كلًّا منهما يفنى الآخر. ومجموع طاقات أشعة جاما المنبعثة هو 1.02 MeV، ويمكن أن يحدث أيضًا معكوس الفناء، أي أن الطاقة يمكن أن تتحول مباشرةً إلى مادة. فإذا عبر شعاع جاما بطاقة 1.02 MeV على الأقل بالقرب من نواة فقد ينتج زوج من البوزترون والإلكترون.

$$\gamma \rightarrow e^- + e^+$$

يسمى تحوّل الطاقة إلى مادة وضديدها **إنتاجَ الزوج**. ولا يمكن أن تحدث التفاعلات منفردة، مثل تفاعل $\gamma \rightarrow e^-$ و $\gamma \rightarrow e^+$؛ لأن مثل هذه التفاعلات لا تحقق قانون حفظ الشحنة. وكذلك تفاعلات بروتون + $e^- \rightarrow \gamma$ لا تحدث أيضًا؛ فالزوج يجب أن يكون الجسيم وضديد الجسيم الخاص به.

جسيمات المادة وضديد المادة تتواجد كأزواج إنتاج زوج بوزترون – إلكترون موضح في **الشكل 20–3**. حيث يعمل المجال المغناطيسي حول حجيرة الفقاعة على ثني مسارات الجسيمات المتعاكسة الشحنة؛ لتتحرك في اتجاهات متعاكسة. وأشعة جاما المنتجة لا تتبع المسار. وإذا كانت طاقة أشعة جاما أكبر من 1.02 MeV، فإن الفائض في الطاقة يظهر على شكل طاقة

الشكل 20–3 عندما ينتج الجسيم فإن ضديد هذا الجسيم ينتج أيضًا. هنا تضمحل أشعة جاما إلى زوج من الإلكترون والبوزترون.

استخدام الشكل 20–3

يشير الرسم إلى الظروف التي قد تنشأ فيها الجسيمات، اسأل الطلبة فيما إذا كان من الممكن للجسيم المنفرد أن يُجسّد من طاقة. لا. الجسيم المنفرد لا يتجسّد من طاقة. مع ذلك، إذا كانت الطاقة المتوافرة أكبر من أو تساوي $2\,mc^2$ (في هذه الصيغة، m هي كتلة الجسيم). فإن الجسيم وضديد الجسيم الخاص به يمكن أن ينشأ لأن الجسيم، وضديد الجسيم لهما شحنات متساوية، ولكنهما مختلفتان في الإشارة. وجميع قوانين الحفظ متحققة. م 2

تقوية

حفظ الكتلة / الطاقة اطلب إلى الطلبة أن يحسبوا الطاقة اللازمة لإنتاج زوج النيوترون–ضديد النيوترون

$$E = 2\,(1.67 \times 10^{-27}\,\text{kg})\,(3.00 \times 10^{8}\,\text{m/s})^2$$
$$= 3.01 \times 10^{-10}\,\text{J}$$
$$E = (3.01 \times 10^{-10}\,\text{J})\ (1\ \text{eV}/1.6 \times 10^{-19}\,\text{J})$$
$$= 1880\ \text{MeV}$$

م 2 **منطقي–رياضي**

معلومة للمعلم — الخلفية النظرية للمحتوى

المادة وضديد المادة اكتشف علماء الفيزياء الفلكية أن الكون في الوقت الحاضر يحتوي على كمية من المادة أكبر بكثير من ضديد المادة، مبددين بذلك الفكرة القائلة انه إذا كان هناك تماثل متأصل بين المادة، وضديد المادة في الانفجار الأعظم، فسيستمر الإفناء المتبادل حتى تبقى الطاقة فقط. وهذا التباين والذي ربما يكون قد بدأ خلال 10^{-35} s تمامًا بعد بداية الكون كما نعرفه، تم تفسيره بوساطة الفيزيائي الروسي أندريه سيخورف ليكون نتيجة لعدم تحقق مخالفة الشحنة المرافقة C، لمعكوس الشحنة الكهربائية، وكل الأعداد الكمية الداخلية، وتكافؤ الثابتية P، ومعكوس الإحداثيات الفضائية باستثناء الزمن.

مسائل تدريبية

30. كتلة البروتون 1.67×10^{-27} kg ، أجب عما يلي:

a. أوجد الطاقة المكافئة لكتلة البروتون بوحدة الجول. **b.** حوّل هذه القيمة إلى وحدة eV.

c. أوجد الطاقة الكلية الصغرى لأشعة جاما التي يمكن أن تؤدي إلى تكون زوج من البروتون وضديد البروتون.

31. يمكن لكل من البوزترون والإلكترون أن يفني أحدهما الآخر، وينتج ثلاثة إشعاعات جاما. تم الكشف عن اثنين من إشعاعات جاما، فكانت طاقة أحدها 225 keV وطاقة الآخر 357 keV، ما طاقة إشعاع جاما الثالث؟

32. كتلة النيوترون 1.008665 u، أوجد الطاقة:

a. المكافئة لكتلة النيوترون بوحدة MeV.

b. الكلية الصغرى لأشعة جاما التي يمكن أن تؤدي إلى تكون زوج من النيوترون وأنتي نيوترون.

33. كتلة الميون 0.1135 u ، وهو يضمحل إلى إلكترون وزوج نيوترينو. ما مقدار الطاقة الناتجة عن هذا الاضمحلال؟

مسألة تحدٍ

يضمحل $^{238}_{92}U$ بانبعاث ألفا وبانبعاثين متتاليين لجسيم بيتا ويتحول ثانية إلى نظير لليورانيوم.

1. وضّح معادلات الاضمحلال النووي الثلاثة.

2. احسب العدد الكتلي لليورانيوم المتكوّن.

حركية للبوزترون والإلكترون، فيتصادم البوزترون في الحال مع إلكترون آخر، ويفني كل منهما الآخر، وينتج إشعاعان أو ثلاثة إشعاعات جاما، طاقتها الكلية لا تقل عن 1.02 MeV.

حفظ الجسيم: كل كوارك وكل لبتون أيضًا له ضديد جسيم. يتماثل ضديد الجسيمات مع الجسيمات ما عدا شحنتيهما؛ حيث تكون شحنة ضديد الجسيم معاكسة. فالكوارك الأعلى u مثلاً شحنته $+\frac{2}{3}$ e، بينما ضديد الكوارك الأعلى $\bar{u}$ شحنته $-\frac{2}{3}$ e، وشحنة البروتون uud تساوي $+1$ وشحنة ضديد البروتون $\bar{u}\,\bar{u}\,\bar{d}$ تساوي -1 وعندما يصطدم الجسيم وضديده فإن كلًّا منهما يفنى الآخر، ويتحولان إلى فوتونات، أو إلى زوج من جسيم وضديد جسيم أخف وإلى طاقة. ولأن العدد الكلي للكوارکات واللبتونات في الكون ثابت؛ فإن الكوارکات واللبتونات توجد أو تفنى فقط بوصفها زوج جسيم وضديد الجسيم. ومن جهة أخرى فإن حاملات القوة ومنها الجرافيتونات والفوتونات والجلونات، والبوزونات الضعيفة، قد توجد أو تفنى إذا كان هناك طاقة كافية.

يمكن أن يوجد ضديد للبروتونات أيضًا؛ فلضديد البروتون كتلة تساوي كتلة البروتون، ولكن شحنته سالبة، و كتلة البروتون أكبر 1836 مرة من كتلة الإلكترون. وهكذا، فإن الطاقة اللازمة لتكوين زوج من البروتون وضديد البروتون كبيرة نسبيًّا. وقد تم إنتاج وملاحظة زوج البروتون وضديد البروتون أول مرة في باركلي، في كاليفورنيا عام 1955م.

مسائل تدريبية

30. a. 1.50×10^{-10} J
b. 9.36×10^{8} eV
c. 1.87×10^{9} eV

31. 0.438 MeV

32. a. 939.56 eV
b. 1879.1 MeV

33. 105.2 MeV

مسألة تحد

1.
$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$
$$^{234}_{90}Th \rightarrow {}^{234}_{91}Pa + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\bar{\nu}$$
$$^{234}_{91}Pa \rightarrow {}^{234}_{92}U + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\bar{\nu}$$

2. $A = 234$

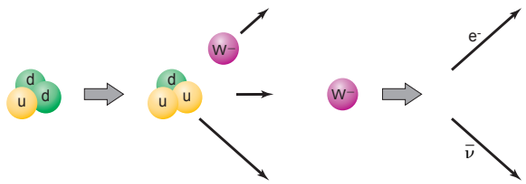
مهن في الحياة اليومية

معلومة للمعلم

فيزيائيو الجسيمات إن هدف فيزياء الجسيمات هو استقصاء، وفهم تكوين المادة وتفاعلاتها. توجد ثلاثة أنواع من فيزيائيي الجسيمات–الفيزيائيون النظريون، والتجريبيون، والحسابيون. يتعاون العاملون في هذه المجالات الثلاثة لتطوير واختبار الأفكار النظرية. فمثلاً، قدم فيزيائيو الجسيمات برهانًا من خلال النظريات والتجارب على وجود الكواركات، ومجالات البحث الأخرى التي تهم فيزيائيي الجسيمات تتضمن مجموعة من النظريات المتعلقة بعملية تكوّن الكون، وطبيعة القوى الأساسية.

تطوير المفهوم

أنماط انبعاث بيتا توجد ثلاثة أنماط مختلفة لاضمحلال بيتا: انبعاث إلكترون ($-\beta$)، وانبعاث أسر الإلكترون، وانبعاث البوزترون ($+\beta$). يناقش انبعاث بيتا بصورة عامة كانبعاث إلكترون يرافقه انبعاث انتي نيوترينو بعد أن يتحول النيوترون إلى بروتون. ولكن النواة تستطيع أسر إلكترون مداري، محولةً البروتون إلى نيوترون. ويحدث أيضًا انبعاث البوزترون من النواة، مصحوبًا بتحوّل البروتون إلى نيوترون مصاحبًا لانبعاث النيوترينو.



■ **الشكل 21–3** يبين انبعاث بيتا عند تحول نيوترون إلى بروتون بوساطة نموذج الكوارك:
$W^- \longrightarrow e^- + \bar{\nu}$ ثم $d \rightarrow u + W^-$

باعثات بيتا والتفاعل الضعيف
Beta Decay and the weak interaction

لا توجد الإلكترونات العالية الطاقة المنبعثة من اضمحلال جسيمات في أنوية ذرات مشعة داخل النواة. فمن أين جاءت هذه الإلكترونات إذًا؟ في عملية اضمحلال النيوترون يتحول النيوترون إلى بروتون، في حين أن النيوترون داخل النواة المستقرة لا يضمحل. فإن النيوترون الحر أو الموجود في النواة غير المستقرة هو الذي يمكن أن يضمحل إلى بروتون، ويرافقه انبعاث جسيم بيتا. ويشارك الأنتي نيوترينو في الطاقة الناتجة مع البروتون وجسيم بيتا. والأنتي نيوترينو جسيم كتلته صغيرة جدًا، وهو عديم الشحنة، ولكنه كالفوتون؛ له زخم وطاقة. وتكتب معادلة اضمحلال النيوترون كما يلي: ${}^1_0n \longrightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e + {}^0_0\bar{\nu}$

وعندما يضمحل النظير بإطلاق بوزترون تحدث عملية شبيهة بانبعاث بيتا. وعلى الرغم من أنه لم يلاحظ اضمحلال البروتون الحر، فإنه يمكن للبروتون داخل النواة أن يتحول إلى نيوترون مع إطلاق بوزترون ${}^0_{+1}e$ ونيوترينو ${}^0_0\nu$ كما يلي:

$${}^1_1P \longrightarrow {}^1_0n + {}^0_{+1}e + {}^0_0\nu$$

إن اضمحلال النيوترونات إلى بروتونات، واضمحلال البروتونات إلى نيوترونات، لا يمكن تفسيره بوساطة القوة النووية القوية.

إن وجود باعثات بيتا يشير إلى أنه يجب أن يكون هناك تفاعل آخر، وهو **القوة النووية الضعيفة** تؤثر في النواة. وهذه القوة أضعف كثيرًا من القوة النووية القوية.

نموذج الكوارك لانبعاث بيتا إن الفرق بين البروتون uud، والنيوترون udd كوارك واحد فقط، حيث يحدث انبعاث بيتا في نموذج الكوارك على مرحلتين، كما يتضح من **الشكل 21–3**. أولاً: كوارك d واحد في النيوترون يتحول إلى كوارك u مع انبعاث بوزون W^-؛ حيث W^- أحد حاملات القوة الضعيفة الثلاث. وفي الخطوة الثانية يتحول البوزون إلى إلكترون وضديد النيوترينو، وبالمثل في تحلل البروتون في النواة ينبعث نيوترون وبوزون W^+، ومن ثم يتحل البوزون W^+ إلى بوزوترن ونيوترينو.

إن انبعاث حامل القوة الضعيفة الثالث، بوزون Z°، لا يترافق مع تحوّل من كوارك إلى آخر. يُحدث البوزون Z° تفاعلاً بين النيوكليونات والإلكترونات في الذرات المماثلة، ولكنه أضعف كثيرًا من القوة الكهرومغناطيسية التي تحافظ على الذرة متماسكة؛ حيث تم الكشف عن هذا التفاعل أول

نشاط تحدٍّ

الوميض والكشف عن بيتا اطلب الى الطلبة، تقديم تقرير عن الطرائق التي تستخدم في الكشف عن جسيمات بيتا. احدى الطرائق تعرف بالعد الوميضي للسائل تسمح بقياس اشعاعات بيتا المحتواة في المحلول السائل. الإلكترونات المنبعثة نتيجة انبعاث بيتا للنظير الموجود في المحلول تثير جزيء المذيب وتنتقل الطاقة إلى المذاب. والوميض الصغير جدًا للفوتونات يُلتقط ويتحول إلى إشارة كهربائية. اسأل الطلبة كيف يمنع نظام السائل الوميضي الضوضاء الناتجة عن التداخل بين العدات الخلفية مع العدات الحقيقية. يُصخّم المضاعف الضوئي الوميض الصغير بمقدار كبير جدًّا إلى إشارة كهربائية يمكن قراءتها. يستخدم العد التطابقي مع اثنين من المضاعفات الضوئية لتقليل الضوضاء. م 3 **لغوي.**

التفكير الناقد

إيقاف النيوترينات اسأل الطلبة فيما إذا كان ممكنًا بناء درعٍ واقٍ ضد النيوترينات. سوف يكون ذلك صعبًا جدًّا لأن بإمكان النيوترينات الانتقال خلال المادة باحتمالية بسيطة جدًّا لتتفاعل مع جسيمات المادة. إن احتماليـة تفاعلهـا معًا منخفضة جـدًّا فمن أصل 100 , 000 نيوترينو قادمة من الشمس يمكن ملاحظة واحدًا منها فقط. م 2

الشكل 22–3 في النجم فوق المستعر، فإن القوى الكهرومغناطيسية والقوى الضعيفة ليست متمايزة. والضوء المتزايد والنيوترينات الصادرة من النجم فوق المستعر 1987A والموضحة هنا تصل الأرض في اللحظة نفسها، وهذا يظهر أن النيوترينات تنتقل بسرعة قريبة من سرعة الضوء وتنتج في النجم الأعظم. وكما هو متوقع، ظهر النجم فوق المستعر قبل الانفجار (a) خلال الانفجار (b) وبالقرب من هابل (c).

مرة عام 1979م. وتمت ملاحظة البوزونات W^+ وW^- و Z^0 بصورة مباشرة أول مرة عام 1983م.

لقد ساد الاعتقاد طويلاً أن كلًّا من النيوترينات وضديد النيوترينات عديمة الكتلة، إلا أن التجارب الأخيرة التي التقطت النيوترينات المنبعثة من الشمس ومن المسارعات الطويلة أظهرت أن للنيوترينات كتلة. على الرغم من أن هذه الكتل أقل كثيرًا من كتلة أي جسيم معروف.

اختبار النموذج المعياري Testing the Standard Model

تستطيع أن تلاحظ من **الشكلين 18–3، 19–3** أن الكواركات واللبتونات تنفصل إلى ثلاثة أجيال. فالعالم المحيط بنا يتكوّن من جسيمات الجيل الأول وجسيمات الجيل الثاني وجسيمات الجيل الثالث. ما الذي يحدد كتل الكواركات واللبتونات؟ تصوّر هيغز أن مجالاً يسمى مجال هيغز ينشأ عن وجود جسيمات هيغز، وأن الجسيمات تجد مقاومة تحت تأثير هذا المجال الذي يعمل على ظهور ما نسميه كتلة الجسيم، فالإلكترون مثلاً يلاقي مقاومة صغيرة فيكون له كتلة صغيرة، أما البروتون فيلاقي مقاومة كبيرة فتكون له كتلة كبيرة.

لماذا توجد أربعة قوى؟ إن الاختلافات بين القوى الرئيسية الأربعة واضحة؛ فقد تؤثر القوى بشكل مختلف في الشحنة أو الكتلة، وقد يكون لها تأثيرات مختلفة تبعاً للمسافات، وحاملات القوى لها خصائص مختلفة، وهناك بعض التماثل بين التفاعلات؛ فمثلاً القوى بين الجسيمات المشحونة والقوى الكهرومغناطيسية تُحمل بوساطة الفوتونات، كما تحمل البوزونات W وZ القوى النووية الضعيفة في التفاعلات النووية.

والقوى الكهربائية تؤثر في مدى واسع؛ لأن كتلة الفوتونات صفراً، بينما القوى النووية الضعيفة تؤثر في مسافات قصيرة؛ لأن كتل البوزونات W وZ كبيرة نسبيًّا. تشير النظريات الفلكية الفيزيائية للنجم فوق المستعر إلى حدوث تفاعلين متماثلين خلال الانفجارات النجمية الهائلة، كتلك الموضحة في **الشكل 22–3**. أما النظريات الحالية المتعلقة بأصل الكون فتتوقع أن القوتين كانتا متماثلتين خلال اللحظات المبكرة للكون. لهذا السبب، كانت القوى الكهرومغناطيسية والقوى الضعيفة متحدتين في قوة واحدة تسمى قوة كهربائية ضعيفة.

بالطريقة نفسها تبين خلال عام 1970م أن القوى الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة متحدتان بوصفها قوة كهربائية ضعيفة. كذلك توصل الفيزيائيون الآن إلى تطوير نظريات تتضمن القوة القوية أيضًا، ولا يزال العمل غير مكتمل. وما زالت النظريات تتطور، ويتم التخطيط لاختبار هذه النظريات الآن. ونظرية الاتحاد التام التي تتضمن التجاذب تحتاج إلى المزيد من العمل.

معلومة للمعلم

الفيزياء في الحياة

الكشف عن النيوترينو قام الفيزيائيون ببناء خزانات ضخمة مملوءة بالماء في دهاليز منجم وتجهيزها بكاشفات حساسة جدًّا على أمل رؤية دليل على النيوترينو. إن أحد الأهداف في بناء مثل هذا الجهاز لدراسة الآثار المترتبة على نظرية من نظريات المجال الموحد هو أن البروتون يجب أن ينحل بعمر نصف في حدود 10^{31} سنة. لم تعطي هذه التجارب نتائج نهائية. لكن لاحظت كاشفات النيوترينو وتحققت من انبعاثات النيوترينو من انفجار النجم الأعظم البعيد. وقد تم توقع انبعاث النيوترينو من النجم الأعظم نظريًا.

وقد ظهر ارتباك كبير نتيجة الدراسات التي أجريت على المجرات التي تتوقع أن المادة التي تـم وصفهـا بالنموذج المعياري، تكوّن فقـط جزءًا صغيرًا من كتلة الكـون. والجزء الأكبر مـن المادة شـكلت المـادة المعتمة؛ والتي سـميت كذلك لأنها لا تتفاعل مـع الفوتونات أو المادة العادية، ماعدا قوة التجاذب. بالإضافة إلى ذلك، فإنها تبدو كطاقة معتمة، وقوة غير معروفة تعمل على تسارع تمدد الكون.

لذلك، فإن الدراسـات المتعلقة بالجسـيمات المتناهيـة في الصغر التي تكـوّن الأنوية تتصل مبـاشرة مع البحـوث المتعلقة بالأنظمة الكبـيرة والمجرات التي تكوّن الكـون. وقد اعتاد فيزيائيـو الجسـيمات الأوليـة، وعلمـاء الكـون أن يكونـوا في النهايتين المتعاكسـتين لمقياس الطول. والآن يتسـاءلون معًا: "ما وحدات البناء الأساسـية التي يتكون منها العالم؟". قد يستطيعون الإجابة عن هذا السؤال في المستقبل.

3–3 مراجعة

34. قـذف النـواة لماذا يحتاج البروتـون إلى طاقة أكثر من النيوترون عندما يستخدم لقذف النواة؟

35. مسارع الجسيمات تتحرك البروتونات في مسارع مختبر فيرمي **الشكل 3–11** في اتجاه حركة عقارب الساعة. ما اتجاه المجال المغناطيسي في مغانط الانحراف؟

36. إنتـاج الـزوج يوضـح **الشكل 3–20** إنتـاج أزواج الإلكترون–البوزترون. لماذا تنحني مجموعة المسارات السفلية أقل من انحناء زوج المسارات العلوية؟

37. النمـوذج المعيـاري ابحـث في محـددات النمـوذج المعياري والبدائل المحتملة.

38. التفكير الناقد تأمل المعادلات التالية.

$W^+ \rightarrow e^+ + \nu$ و $u \rightarrow d + W^+$

كيـف يمكـن اسـتخدامها لتفسـير الاضمحـلال الإشـعاعي للنيوكليـون الـذي ينتـج عـن انبعـاث البوزتـرون والنيوترينو؟ اكتب المعادلة التي تتضمن نيوكليونات بدلاً من الكواركات.

3. التقويم

التحقق من الفهم

وحدات البناء اسأل الطلبة فيما إذا كانت جميع المواد المعروفـة تتكون من كـواركات وليبتونات. الإجابة نعـم، باسـتثناء البوزونات التي ربـما يجب أن تدرج أيضًا. ويرجع الفيزيائيون إلى اللبتونات وتلك المركبة من الكواركات كوحدات بناء المادة. ولكن حاملات القوة، والفوتونات، والجلونات، وبوزونات W و Z، يمكن ملاحظتها كجسيمات ولها كتلة، لذلك يمكن أن تعدّها كمادة. م 2 **لغوي**

إعادة التدريس

الجسيمات والقوى الخصائص والمقادير النسبية للقوى الأساسية والتفاعلات بين الجسيمات دون النووية تعدّ أسـاس الكون كما قدمتها الفيزياء. اطلب الى الطلبة عمل قائمة بهذه القوى والجسيم الذي يحمل كل منها، في ترتيب من الأقوى إلى الأضعف.

القوة	الجسيم
القوية	الجلون
الكهرومغناطيسية	الفوتون
الضعيفة	بوزونات W^+ و W^- و Z^0
الجاذبية	الجرافيتون (حاملات الجاذبية)

م 3 **منطقي–رياضي**

3-3 مراجعة

34. لأن كل مـن البروتـون والنـواة يمتلك شـحنة موجبـة، لذلـك فإنهـا يتنافـران بعضهـا عـن بعـض. يجـب أن يمتلـك البروتـون طاقـة حركيـة كافيـة للتغلب على طاقة الوضـع الناتجة عن التنافر. لا يتأثر النيوترون بقوة التنافر هذه.

35. إلى الأسفل، باتجاه داخل الأرض.

36. لزوج الإلكترون/البوزترون في الأسفل أكبر طاقة حركية.

37. تتضمن الإجابات: في النموذج المعياري العديـد من المعطيات تم الحصول عليها فقـط من خـلال التجـارب. جسـيمات هيغـز والتـي حـددت مقيـاس الطاقـة لمجموعـة لم يتـم العثـور عليهـا، وهذه ليسـت نظرية و لم تكتمل، ويعدّ كل من التماثل الأقصى ونظرية الوتر هما البدائل الممكنة.

38. بـما أن للبروتون كوارك u واحد أكثر مما يحتويـه النيوترون، فإن المعادلة سـتكون على النحو التالي:

$${}^{1}_{1}P \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{1}e + {}^{0}_{0}\nu$$

الزمن المقدر حصتي مختبر (واحدة للتصميم، وواحدة للإجراء).

المهارات العملية التجريب؛ واستخدام المتغيرات، الثوابت، والضوابط؛ والملاحظة والاستنتاج؛ وجمع وتنظيم البيانات؛ والمقارنة وإيجاد أوجه الاختلاف، تكوين واستخدام الرسوم البيانية.

احتياطات السلامة يجب على الطلبة توخي الحذر في التعامل مع المواد المشعة وعدم الأكل، أوالشرب أو استخدام مساحيق التجميل في المختبر. وكإجراء احترازي يجب عليهم غسل أيديهم عند نهاية التجربة ويجب أيضًا توخي الحذر في التعامل مع الأجهزة التي توصل مع مصدر جهد متردد 220 V.

المواد والأدوات البديلة إذا لم تكن مصادر جاما ومصادرا بيتا متوافرة، فإن بعض المصادر الأخرى تحتوي على المواد المشعة مثل أغطية فوانيس التخييم القديمة (تلك التي تحتوي على الثوريوم)، قطع الفخار الأحمر القديم (ذو درجة اللون البرتقالي-الأحمر، تحتوي على أكاسيد اليورانيوم)، أو بديل الملح يحتوي على كلوريد البوتاسيوم (نظائر البوتاسيوم المشعة).

استراتيجيات التدريس

- **إذا كان الحد الأدنى من الأجهزة متوافرًا، فإن بإمكان المجموعات الصغيرة جمع البيانات ومن ثم التبادل مع المجموعات الأخرى، لأن عملية تكوين الرسم البياني يستغرق بعض الوقت.**
- **إن توصيل مؤقت إلكتروني أتوماتيكي مع عداد جايجر سيسرع عملية جمع البيانات. يمكن أن يضبط المؤقت للعد لدقيقة واحدة أو أقل وبعد ذلك يتم تعديل العد إلى cpm (عدة لكل دقيقة).**
- **سيكون من الأفضل تثبيت أنبوب جايجر-مولر (إذا كان منفصلاً) على سطح الطاولة بوساطة شريط لاصق. وتحريك المصادر المشعة. هذا سيقلل من حمل الأنبوب وقد يقلل من خطر تعرضه للضرر.**
- **قم بتثبيت أنبوب جايجر-مولر على سطح العدّاد. ضع المسطرة المترية على طول سطح**

مختبر الفيزياء

استكشاف الإشعاع Exploring Radiation

تستخدم كاشفات الإشعاع طرائق مختلفة للكشف عن وجود الإشعاع. من الأنواع الشائعة للكواشف المستخدمة أنبوب جايجر- مولر. وهو يتكون من أنبوب فلزي مملوء بغاز عند ضغط منخفض، وقطب معدني على طول محور الأنبوب. يخضع القطب المعدني لفرق جهد عال 400-800V بالنسبة إلى الأنبوب الفلزي. ويوجد عند إحدى نهايتي الأنبوب نافذة رقيقة وهشّة. عندما يدخل فوتون أو جسيم مشحون بطاقة عالية إلى الأنبوب من خلال النافذة فإن جزءًا من الغاز يصبح مؤينًا، فتنجذب إلكترونات التأين في اتجاه القطب، وتزداد سرعتها. ومن ثم تؤين ذرات إضافية مكوّنة نبضة من الشحنات تصطدم بالقطب. وتتحول نبضة الشحنة هذه إلى نبضة جهد، ثم تُضخّم وتُعدّ أو ترسل إلى مكبر الصوت.

تعلمت سابقًا أن الضوء والاشعاعات الكهرومغناطيسية الأخرى تنتشر في جميع الاتجاهات، وفي خطوط مستقيمة من المصدر، كالشمس مثلاً. في هذه التجربة سوف تستكشف العلاقة بين المسافة من مصدر جاما وبيتا المشع، وشدة الإشعاع المقيس.

سؤال التجربة

ما العلاقة بين المسافة من مصدر إشعاع جاما وبيتا وشدة الإشعاع؟

الأهداف

- **تقيس** الإشعاع.
- **تستخدم المتغيرات والثوابت والضوابط** لتصميم تجربتك.
- **تجمع وتنظم البيانات** عن النشاطية الإشعاعية لأشعة جاما، وجسيمات بيتا، بدلالة البعد عن المصدر.
- **تقارن وتستنتج** نشاطية بيتا وجاما الإشعاعية.

احتياطات السلامة

- **إذا استخدمت عداد جايجر فحافظ على بقاء الأيدي والأقلام وغيرها من الأشياء بعيدةً عن نهاية أنبوب جايجر؛ فنافذة الأنبوب رقيقة وهشة جدًا.**
- **صل الأجهزة في المقابس المحمية فقط؛ وذلك تجنبًا لخطر الصدمة الكهربائية.**
- **لا تأكل ولا تشرب في أثناء العمل بالمواد المشعة.**
- **كن حذرًا من تمزق فتحة الحافظة البلاستيكية الحامية للمادة المشعة، فإذا حدث ذلك فأبلغ معلمك فورًا.**

المواد والأدوات

مصادر مشعة اصطناعية مختومة (الفا وبيتا وجاما).
أنبوب جايجر مع العداد.
مسطرة مترية.
شريط لاصق.
ساعة وقف.

عيّنة بيانات الإشعاع الأساسي = 4 cpm

cpm = عدة لكل دقيقة.

المسافة (cm)	نشاطية بيتا المقاسة (cpm)	نشاطية بيتا المصححة (cpm)	نشاطية جاما المقاسة (cpm)	نشاطية جاما المصححة (cpm)
2	423	419	243	239
4	123	119	86	82
6	79	75	56	52
8	61	57	42	38
10	37	34	26	22
12	32	28	21	17
14	26	22	17	13

جدول البيانات				
الإشعاع الأولي (عدات لكل دقيقة - cpm)	cpm			
المسافة (cm)	بيتا – المقيسة معدل الإشعاع (cpm)	بيتا – المصححة معدل الإشعاع (cpm)	جاما – المقيسة معدل الإشعاع (cpm)	جاما – المصححة معدل الإشعاع (cpm)
2				
4				
6				
8				
10				
12				
14				

الخطوات

1. نوع عداد الإشعاع أو أنبوب جايجر – مولر، والأنابيب المتوافرة في المدارس يختلف بعضها عن بعض بصورة كبيرة. يجب أن تأخذ هذا في الحسبان، والاهتمام بكيفية تجميع، وحمل الجهاز المتوافر لكل من الكاشف والمادة المشعة.
2. عندما يكون الكاشف على بعد 1 m على الأقل بعيدًا عن المواد المشعة، قم بتشغيل الكاشف، وقس الإشعاع. وهذا يسمى الإشعاع الأولي. دوّن سجّل المقدار في جدول البيانات.
3. قس إشعاع بيتا وجاما من المصادر المشعة لديك على مسافات مختلفة.
4. اطرح معدل الإشعاع الأولي من معدل الإشعاع المسجّل للحصول على النشاطية المصحّحة.
5. تأكد أن تفحص – بمساعدة معلمك – وتتأكد من تصميمك قبل أن تواصل تجربتك.

التحليل

1. **لاحظ واستنتج** ما مقدار الإشعاع الأولي في هذه التجربة؟
2. **مثّل بيانيًا واستخدم الرسوم البيانية** عيّن نقاطًا على الرسم البياني تمثل معدل إشعاع جاما مقابل البُعد، ثم عيّن البُعد على المحور الأفقي، ومعدل العد المصحح للعينة على المحور الرأسي. إذا كانت معدلات العد متماثلة فعيّن معدل عد بيتا على الرسم البياني نفسه، وميّز الرسم البياني لكل مجموعة بيانات.
3. **مثّل بيانيًا واستخدم الرسوم البيانية** عيّن نقاطًا على الرسم البياني، تمثّل معدل الإشعاع المصحح لكل من بيتا وجاما مقابل $1\backslash d^2$.

الاستنتاج والتطبيق

1. **وضح** فيم يتشابه المنحنيان؟ ما العلاقة بين البعد ومعدلات العد؟
2. **وضح** كيف يتغير معدل العد الأولي لشخص عندما ينتقل من الساحل في مستوى سطح البحر، مقارنة بمستوى قمة جبل؟
3. **صف** ماذا يحدث لمعدل عد بيتا عندما يتحرك أنبوب جايجر – مولر إلى الخلف ثلاثة أمثال المسافة الأولية. على سبيل المثال 18 cm مقارنة بـ 6 cm؟

التوسع في البحث

ما الظواهر الفيزيائية الأخرى التي تتبع أنماطًا مماثلة؟

الفيزياء في الحياة

اشرح كيف يشكل قربك من المواد المشعة خطرًا محتملاً لك أو للآخرين؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
لمزيد من المعلومات عن الإشعاع ارجع إلى الموقع الإلكتروني
www.obeikaneducation.com

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة الى تجربة استقصائية دع الطلبة يكتشفوا أسئلة أخرى تظهر من خلال إجراء هذه التجربة. يجب التأكد من الموافقة على خططهم وإجراءات السلامة. إن إجراء هذه التجربة سوف يعزّز معايير تعليم العلوم الوطنية في فهم التفسير العلمي وتطوير محتوى العلوم الفيزيائية للتركيب الذري وتفاعلات الطاقة والمادة.

العدّاد. خذ قراءة الإشعاع الأساسي على بعد واحد متر على الأقل من الأنبوب. من الممكن وضع المصادر المشعة بعد ذلك على بعد 2 cm إلى 20 cm من نافذة أنبوب جايجر–مولر. ابدأ بتجميع البيانات على مسافة 2 cm وحرّك المصدر مبتعدًا حتى تصبح النشاطية المقاسة عند مستوى العد الخلفي. قد يختار الطلبة وضع العينة في موقع معيّن ومن ثم تحريك أنبوب جاجير–مولر.

التحليل

1. قد تختلف الإجابات. مع ذلك، يجب على الطلبة أن يأخذوا في الحسبان الإشعاع الأساسي (المنبعث عن الشمس وبعض مصادر الإشعاع الكوني الأخرى) وربما مواد بناء الأبنية، والغلاف الجوي، والأرض.
2. يجب أن يظهر الرسم البياني منحنى هبوط؛ ينخفض معدل العد مع النسبة $1/d^2$
3. يجب أن ينتج الرسم البياني علاقة خطية (خط مستقيم).

الاستنتاج والتطبيق

1. إن مجموعة الرسوم البيانية للنشاطية مقابل المسافة لكل من مشعات بيتا وجاما، متشابهة وتظهر هبوطًا في معدل العد مع المسافة. إن مجموعة معدل عد إشعاع بيتا وجاما مقابل $1/d^2$ سوف تنتج خطًّا مستقيمًا، والذي يشير إلى أن العلاقة بين معدل العد والمسافة هي علاقة التربيع العكسي.
2. كلما ازداد الارتفاع، فإن معدل الإشعاع يجب أن يزداد، وذلك لوجود كثافة للغلاف الجوي أقل والتي تقلل من الأشعة الكونية القادمة.
3. يجب أن يكون معدل العد $\frac{1}{9}$ تقريبًا كحد أعلى.

التوسع في البحث

قد تختلف الإجابات، رغم أن على الطلبة أن يأخذوا بعين الاعتبار العوامل التالية: الجاذبية، والمجالات المغناطيسية، والمجالات الكهربائية، وشدة الضوء، وشدة الصوت.

الفيزياء في الحياة

ستكون أكثر أمانًا عند زيادة المسافة بينك وبين المصدر المشع، ولأن الإشعاع ينخفض وفق قانون التربيع العكسي.

الخلفيّة النظرية

يبشّر المفاعل النووي الحراري بتوفير طاقة تكون غير محدودة. لكن المفاعلات النووية الحرارية ما زالت تحت البحث منذ أكثر من خمسين عامًا، مستهلكة المليارات من الدولارات في العديد من الدول.

على الرغم أن مفاعلات الاندماج النووي تبقى طويلاً، فليس هناك بعد مفاعل ينتج طاقة أكثر مما يستهلك. لكن النظرية تبدو أنها سليمة، ولكنها تحتاج الى تقنيات جديدة أجلت النجاح في هذا المجال.

ومن الجدير بالذكر أن العديد من التقنيات الناتجة في نهاية الأمر (كالمحرك البخاري ومولد الطاقة الكهربائية) أيضًا تطورت ببطء وبطريقة مثيرة.

استراتيجيات التدريس

- البحوث الإضافية مفيدة هنا. راجع بعناية أية مصادر لها علاقة مثل قصة " الاندماج البارد". وما كتب عن العلوم الخيالية وفنون الخداع البصري التي ارتبطت بهذا الموضوع.
- إن قصة الاندماج البارد تعدّ مثالاً ممتازًا لكيفية بناء العلم لسياساته الجيدة ذاتيًا. ناقش لماذا يجب أن تحتوي الأوراق العلمية على معلومات كافية تمكّن الآخرين لمزيد من التجارب التي تم وصفها.

نشاط

زجاجة البلازما جد زجاجة بلازما واعراضها على الطلبة، واطلب إليهم ملاحظة كيف أن تيارات البلازما بطبيعتها غير مستقرة تمامًا. هذا يعطي فكرة عن المشكلات المتعلقة بطريقة العزل المغناطيسي.

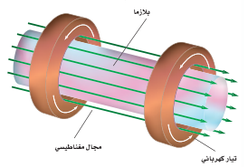
تقنية المستقبل

الاندماج النووي الحراري Thermonuclear Fusion

لعدة عقود مضت بحث الفيزيائيون في إيجاد ودعم تفاعل الاندماج الذي يولّد طاقة أكبر من تلك الطاقة التي يستهلكها. يولّد المفاعل النووي الحراري حرارة هائلة جدًّا من كميات صغيرة من الديوتيريوم $_1^2H$ ، والتريتيوم $_1^3H$ ، والذي يمكن استخلاصه من مياه البحر.

لبدء تفاعل الاندماج، يجب أن يسخن خليط من الديوتيريوم والتريتيوم ويضغط تحت ظروف معيارية مشابهة لتلك الموجودة في الشمس. وسوف تحطم الحرارة المتوافرة محتويات العبوات المستخدمة في محطات الانشطار النووي. ويعدّ احتجاز البلازما من مشكلات التصميم الرئيسة للمفاعلات الاندماجية.

العزل المغناطيسي في مفاعلات العزل المغناطيسي، يعبر تيار قوي خلال وعاء يحوي غازي الديوتيريوم والتريتيوم، فتنضغط البلازما داخل الجزء الدائري. وتحدد المجالات المغناطيسية الإضافية شكل سيل البلازما لتعزله بعيدًا عن جوانب الوعاء، كما في الشكل. يحافظ أحد التركيبات الإلكترونية الفضل على بقاء البلازما على شكل حلقي، مما يعطي فائدة عظيمة بعدم وجود نهايات تتطلب أن تختم.



العزل المغناطيسي، تنضغط البلازما وتعزل بوساطة المجال المغناطيسي.

العزل بالقصور الذاتي إذا نظرت إلى قوس كهربائي (تفريغ كهربائي مستمر في صورة شرر متكرر)، يتحرك سريعًا بحركة شبيهة لحركة وتر فستلاحظ أن هناك صعوبة كبيرة في أن تحافظ على البلازما في شكل ثابت.

في مفاعل العزل بالقصور الذاتي، تضاء كُريّة صغيرة الحجم من الديوتيريوم–التريتيوم المتجمد من كل الجوانب بوساطة حزم ليزر قوية جدًّا. تُسخّن حزم الليزر هذه الطبقة الخارجية للكريّة فتنفجر سريعًا. وبصورة متزامنة يُضغط المتبقي من الكرية، ويسخّن إلى درجة كبيرة، يبدأ عندها الاندماج النووي.

تعمل الطاقة الناتجة عن اندماج الكُرية على زيادة الطاقة التي تُستخدم لتسخين الكرية، فيندمج سيل من الكريات الواحدة تلو الأخرى للحصول على تخفيز مستمر، ويتم تجميع الحرارة الناتجة لإنتاج بخار لتشغيل التوربينات.

في العزل بالقصور الذاتي، تكوّن حزم من الضوء أو الأشعة السينية الناتجة عن تسخين سطح الكريات سريعًا بالليزر - غلافًا يحيط بالبلازما. أما الوقود المتبقي فيضغط بوساطة تيار من البخار الناتج عن سطح المادة الساخن.

المستقبل في الوقت الذي لا يزال الاندماج النووي الحراري مستمرًّا في كلا النوعين من المفاعلات النووية، يواجه الباحثون صعوبة في تحقيق التفاعل المتعادل (أي أن الطاقة الناتجة عن التفاعل تزيد على الطاقة اللازمة للمحافظة على استمرار التفاعل). والتقدم الذي يتم إنجازه في تصميم المفاعل النووي الحراري العملي يعدّ مكلفًا وبطيئًا، إلا أن الأمل في تحقيق ذلك كبير. ولا يخلو مفاعل الاندماج تمامًا من المخلّفات المشعة الخطرة؛ لأن النيوترونات تنتج في مفاعلات الاندماج، لكن بما أن الوقود غير مشع بنفسه فإنه يمكن تجاهل المخلفات النووية.

التوسع في البحث

1. **التحليل** لماذا يبدو المفاعل النووي الحراري مصدر طاقة مفضل؟
2. **المقارنة** درست ثلاثة أنواع من محطات توليد الطاقة الحرارية الكهربائية. ما الميزات العامة التي تمتاز بها كل من هذه المحطات؟

92

التوسع في البحث

1. تنتج مفاعلات الاندماج النووي القليل من النفايات النووية، فهي لا تستخدم، ولا تنتج الوقود المشع. تبدو المفاعلات النووية الحرارية أنها حل جيدٌ لبعض المخاطر المصاحبة للمفاعلات الانشطارية واستخدام الوقود الأحفوري.
2. توجد مراجل في جميع المحطات الحرارية لتُمكِّن البخار والتوربينات من الحصول على الطاقة من البخار. جميعها تستخدم نوع المولدات نفسها، وتعمل جميعها على تكثيف البخار (وهذا للتخلص من الحرارة المتبددة) بوساطة مياه التبريد عادة.

الأفكار الرئيسة

يمكـن أن يسـتخدم الطلبـة العبـارات التلخيصيـة لمراجعة المفاهيم الرئيسة في الفصل.

قم بزيارة الموقع الإلكتروني التالي:
www.obeikaneducation.com

الفصل 3
دليل الدراسة

3–1 النواة The Nucleus

المفردات
- العدد الذري
- وحدة الكتلة الذرية
- العدد الكتلي
- النويدة (نواة النظير)
- القوة النووية القوية
- النيوكليونات
- طاقة الربط النووية
- نقص الكتلة

الأفكار الرئيسة
- إن عدد البروتونات في النواة يمثل بالعدد الذري Z.
- إن مجموع عدد البروتونات والنيوترونات في النواة يساوي العدد الكتلي A.
- الذرات التي لها العدد نفسه من البروتونات وعدد نيوترونات مختلف تسمى النظائر.
- تربط القوة النووية القوية مكوّنات النواة معًا.
- تحسب الطاقة المتحررة في التفاعل النووي بحساب نقص الكتلة، وهو الفرق بين كتلة الجسيمات قبل التفاعل وبعده من العلاقة $E = mc^2$
- طاقة الربط النووية هي الطاقة المكافئة لنقص الكتلة.

3–2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية Nuclear Decay and Reactions

المفردات
- المواد المشعة
- انبعاث ألفا
- انبعاث بيتا
- انبعاث جاما
- التفاعل النووي
- عمر النصف
- النشاطية
- الانشطار النووي
- التفاعل المتسلسل
- الاندماج النووي

الأفكار الرئيسة
- تضمحل النواة غير المستقرة متحولّة إلى عنصر آخر.
- يُنتج الاضمحلال الإشعاعي ثلاثة أنواع من الجسيمات، هي: جسيمات ألفا (α) وهي أنوية هيليوم، وجسيمات بيتا، وهي إلكترونات عالية السرعة، وأشعة جاما (γ)، وهي أشعة مكوّنة من فوتونات عالية الطاقة.
- في التفاعلات النووية، لا يتغير مجموع العدد الكتلي A، ولا الشحنة الكلية Z.
- في الانشطار النووي تنقسم نواة اليورانيوم إلى نواتين أصغر وينبعث نيوترونات وطاقة.
- تستخدم المفاعلات النووية الطاقة المتحررة من الانشطار النووي لتوليد طاقة كهربائية.
- عمر النصف للنظير المشع هو الزمن اللازم لتحول نصف عدد أنويته. بعد عدد n من فترات عمر النصف تكون: الكمية المتبقية $= N_0 (1/2)^n$
- إن عدد اضمحلالات العينة المشعة لكل ثانية تمثل النشاطية الإشعاعية.

3–3 وحدات بناء المادة The Building Blocks of Matter

المفردات
- الكواركات
- اللبتونات
- النموذج المعياري
- حاملات القوة
- إنتاج الزوج
- القوة النووية الضعيفة

الأفكار الرئيسة
- المسارعات الخطية والسنكترونات تنتج جسيمات عالية الطاقة.
- يستخدم عداد جايجر–مولر، وحجرة السحابة، وكواشف الجسيمات الأخرى، التأين الناتج عن شحن الجسيمات عند عبورها خلال المادة.
- تبدو كل المادة أنها تتكون من الكواركات واللبتونات.
- تتفاعل المادة مع مادة أخرى عن طريق جسيمات تسمى حاملات القوة.
- النموذج المعياري يتضمن الكواركات واللبتونات وحاملات الطاقة.
- عندما تتحد جسيمات ضديد المادة المماثلة مع جسيمات المادة تتحول كتلتها وطاقتها إلى طاقة أو إلى مادة أخف –زوج من ضديد الجسيم.

التقويم

خريطة المفاهيم

39. انظر الصفحة المقابلة والمتضمنج في هذا الدليل.

إتقان المفاهيم

40. قوة التنافر الكهربائية؛ القوة النووية القوية.

41. نقص الكتلة هو الفرق بين مجموع كتل الجسيمات المنفردة للنواة وكتلة النواة. ويرتبط بطاقة الربط النووية من خلال المعادلة $E = mc^2$.

42. الأنوية الثقيلة تكون غير مستقرة بصورة عامة. الأعداد الكبيرة من البروتونات يجعل قوة التنافر الكهربائية تتغلب على القوة القوية.

43. كلاهما يمتلك العدد نفسه من البروتونات.

44. التحول هو عملية تغير عنصر ما إلى عنصر آخر، بوساطة التفاعل النووي. فمثلاً، يتحول U– 238 إلى Th –234 وجسيم ألفا.

45. نواة الهيليوم، إلكترون، وفوتون ذو طاقة عالية.

46. العدد الذري لحفظ الشحنة، العدد الكتلي لحفظ عدد النيوكليونات.

47. كثيرًا من النيوترونات يجب أن تتحرر بوساطة النواة المنشطرة وتمتص من قبل الأنوية المجاورة، مما يجعلها تنشطر.

48. يبطئ المهدئ النيوترونات السريعة، مما يزيد من احتمالية امتصاصها.

49. عندما تخضع ذرة كبيرة لانشطار نووي، فإن كتلة النواتج تكون أقل من كتلة النواة الأصلية. كمية الطاقة المكافئة للفرق في الكتلة تتحرر. عندما تندمج الأنوية الصغيرة مكوّنة أنوية أكبر، تكون الكتلة الأكبر أكثر تماسكًا من النواة الأقل كتلة. والكتلة الزائدة تظهر على شكل طاقة.

50. لأنها تُسارع الجسيمات المشحونة باستخدام القوة الكهربائية، والنيوترون لا يحمل شحنة كهربائية.

51. a. الكهرومغناطيسية، القوة الضعيفة، الجاذبية.

b. القوة القوية، الكهرومغناطيسية، الجاذبية.

c. القوة الضعيفة.

52. يقل العدد الذري بمقدار 1، ولا تغير على العدد الكتلي.

$A \rightarrow A;\ Z \rightarrow Z-1$

53. تفنى بكمية مكافأة من المادة، منتجة كمية كبيرة من الطاقة.

تطبيق المفاهيم

54. إنها ليست صحيحة، الحديد من أكثر المعادن ترابطًا. وبالتالي فإن نواته الأكثر استقرارًا، ولا تستطيع الاضمحلال عن طريق الانشطار.

55. طاقة الربط الابتدائية أقل من طاقة الربط النهائية، ولذلك فإن التفاعل ممكن بفعالية كبيرة.

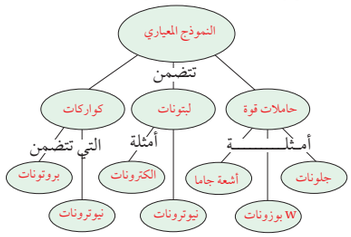
56. المادة المشعة الطبيعية هي تلك المادة التي تبين أنها توجد في الخامات الطبيعية. تخضع المواد المشعة الاصطناعية للاضمحلال الإشعاعي بعد قذفها بوساطة الجسيمات.

57. إن الماء الذي يتدفق من خلال القلب يكون عند ضغط عالٍ، لذلك فإنه لا يغلي. تحمل الدورة الثانية الماء عند ضغط منخفض منتجة البخار.

الفصل 3 التقويم

خريطة المفاهيم

39. نظّم المصطلحات التالية في خريطة المفاهيم: النموذج المعياري، الكواركات، أشعة جاما، حاملات القوة، البروتونات، النيوترونات، اللبتونات، بوزونات W، نيوترينات، إلكترونات، جلونات.



إتقان المفاهيم

40. ما القوة التي تدفع النيوكليونات داخل النواة ليبتعد بعضها عن بعض؟ ما القوة التي تعمل على ربط مكوّنات النواة معًا داخل النواة؟

41. عرّف نقص كتلة النواة. ما سببها؟

42. أي الأنوية غير مستقرة عمومًا: الصغيرة أم الكبيرة؟

43. ما النظير الذي له عدد أكبر من البروتونات: اليورانيوم– 235 أم اليورانيوم– 238؟

44. عرّف مفهوم التحول كما يستخدم في الفيزياء، واذكر مثالاً عليه.

45. **الجسيم المُشِع** ما الأسماء الشائعة لكل من: جسيم ألفا، وجسيم بيتا، وإشعاع جاما؟

46. ما الكميتان اللتان يجب أن تكونا محفوظتان دائمًا في أي تفاعل نووي؟

47. **الطاقة النووية** ما سلسلة العمليات التي يجب أن تحدث حتى يحدث التفاعل المتسلسل؟

48. **الطاقة النووية** ما الدور الذي يؤديه المهدئ في مفاعل الانشطار؟

49. الانشطار النووي والاندماج النووي عمليتان متعاكستان. كيف تحرر كل منهما الطاقة؟

50. **فيزياء الطاقة العالية** لماذا لا يعمل المسارع الخطي بالنيوترونات؟

51. **القوى** في أي التفاعلات الأربعة التالية (القوية، الضعيفة، الكهرومغناطيسية، الجاذبية) تشارك الجسيمات التالية؟

a. إلكترون

b. بروتون

c. نيوترينو

52. ماذا يحدث للعدد الذري والعدد الكتلي للنواة التي تشع بوزترونًا؟

53. **ضديد المادة** ماذا يحدث إذا سقط حجر نيزكي يتكوّن من ضديد بروتونات، وضديد نيوترونات وبوزترونات على الأرض؟

تطبيق المفاهيم

54. **الانشطار** يدّعي أحد المواقع الإلكترونية أن العلماء سيكونون قادرين على إخضاع الحديد للانشطار النووي. هل يمكن أن يكون هذا الادعاء صحيحًا؟ فسّر.

55. استخدم الرسم البياني لطاقة الربط لكل نوية في الشكل 2–3، لتحديد ما إذا كان التفاعل ${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He}$ ممكنًا من حيث الطاقة؟

56. **النظائر** وضح الفرق بين النظائر المشعة التي تنتج اصطناعيًا، وتلك التي تنتج طبيعيًا.

57. **المفاعل النووي** في المفاعل النووي، يتدفق الماء الذي يعبر من قلب المفاعل خلال حلقة واحدة، بينما يتدفق الماء الذي يولّد البخار لتحريك التوربينات خلال الحلقة الثانية. لماذا توجد حلقتان؟

تقويم الفصل 3

58. انشطار نواة اليورانيوم، واندماج أربعة أنوية هيدروجين لإنتاج نواة الهيليوم، كلاهما ينتج طاقة.
   a. أيهما ينتج طاقة أكبر؟
   b. في أي الحالتين التاليتين تكون الطاقة الناتجة أكبر: انشطار كيلوجرام واحد من أنوية اليورانيوم، أم اندماج كيلوجرام من الهيدروجين؟
   c. لماذا تختلف إجابة الجزأين a و b؟

إتقان حل المسائل

3–1 النواة

59. ما الجسيمات التي تكوّن ذرة $^{109}_{47}Ag$؟ وما عدد كل منه؟
60. ما رمز النظير (الذي يستخدم في المعادلات النووية) لذرة زنك مكوّنة من 30 بروتونًا و 34 نيوترونًا؟
61. نظير الكبريت $^{32}_{16}S$ له كتلة نووية مقدارها 31.97207 u ما مقدار:
   a. نقص الكتلة للنظير؟
   b. طاقة الربط النووية لنواة الكبريت؟
   c. طاقة الربط لكل نيوكليون؟
62. لنظير النيتروجين $^{12}_{7}N$ كتلة نووية مقدارها 12.0188 u ما مقدار:
   a. طاقة الربط لكل نيوكليون؟
   b. أيهما يحتاج إلى طاقة أكبر: فصل النيوكليون من نواة $^{12}_{7}N$ أو من نواة $^{14}_{7}N$؟ علمًا بأن كتلة $^{14}_{7}N$ تساوي 14.00307 u
63. يبتعد بروتونان موجبا الشحنة في نواة الهيليوم أحدهما عن الآخر مسافة 2.0×10^{-15} m تقريبًا. استخدم قانون كولوم، لإيجاد القوة الكهربائية للتنافر بين البروتونين. سوف تعطيك الإجابة مؤشرًا عن مقدار القوة النووية القوية.
64. إذا كانت طاقة الربط النووية لنواة الهيليوم $^{4}_{2}He$ 28.3 MeV− فاحسب كتلة نظير الهيليوم بوحدة الكتلة الذرية.

3–2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية

65. عمر النصف لنظير معين 3.0 day، ما النسبة المئوية للمادة الأصلية التي ستبقى بعد:
   a. 6.0 day؟ b. 9.0 day؟ c. 12 day؟
66. اكتب المعادلة النووية الكاملة لانبعاث ألفا للنظير $^{222}_{86}Rn$.
67. اكتب المعادلة النووية الكاملة لانبعاث بيتا من النظير $^{89}_{36}Kr$.
68. أكمل المعادلات النووية التالية:
   a. $^{225}_{89}Ac \rightarrow {}^{4}_{2}He + ____$
   b. $^{227}_{88}Ra \rightarrow {}^{0}_{-1}e + ____ + ____$
   c. $^{65}_{29}Cu + {}^{1}_{0}n \longrightarrow ____ \longrightarrow {}^{1}_{1}p + ____$
   d. $^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{96}_{40}Zr + 3({}^{1}_{0}n) + ____$
69. عندما يُقذف نظير البورون $^{11}_{5}B$ ببروتونات فإنه يمتص بروتونًا ويطلق نيوترونًا، أجب عن الأسئلة التالية:
   a. ما العنصر المتكوّن؟
   b. اكتب المعادلة النووية لهذا التفاعل.
   c. النظير المتكون مشع، ويضمحل بوساطة انبعاث بوزترون. اكتب المعادلة النووية الكاملة لهذا التفاعل.
70. خلال تفاعل الاندماج، يتحد ديوترونان $^{2}_{1}H$، لتكوين نظير الهيليوم $^{3}_{2}He$، ما الجسيم الآخر الذي تكوّن؟
71. إذا كان عمر النصف لنظير البولونيوم $^{209}_{84}Po$ يبلغ 103 سنة، فكم تستغرق عينة مقدارها 100 g حتى تضمحل ليبقى منها 3.1 g؟

التقويم

إتقان حلّ المسائل

3-1 النواة

59. 47 إلكترون، 47 بروتون، 62 نيوترون.

60. $^{64}_{30}Zn$

61. a. −0.29177 u
   b. −271.78 MeV
   c. −8.494 MeV/نيوكليون

62. a. −6.1556 MeV/نيوكليون
   b. إنها تحتاج لطاقة أكبر لإزالة النيوكليون من نواة $^{14}_{7}N$

63. 58 N

64. 4.00 u

3-2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية

65. a. 25%
   b. 13%
   c. 6.3%

66. $^{222}_{86}Rn \rightarrow {}^{218}_{84}Po + {}^{4}_{2}He$

67. $^{89}_{36}Kr \rightarrow {}^{89}_{37}Rb + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$

68. a. $^{225}_{89}Ac \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{221}_{87}Fr$
   b. $^{227}_{88}Ra \rightarrow {}^{0}_{-1}e + {}^{227}_{89}Ac + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$
   c. $^{65}_{29}Cu + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{66}_{29}Cu \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{65}_{28}Ni$
   d. $^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{96}_{40}Zr + 3({}^{1}_{0}n) + {}^{136}_{52}Te$

69. a. الكربون
   b. $^{11}_{5}B + {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{11}_{6}C + {}^{1}_{0}n$
   c. $^{11}_{6}C \rightarrow {}^{11}_{5}B + {}^{0}_{+1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$

70. نيوترون

71. 500 yr تقريبًا

58. a. نواة اليورانيوم 200 MeV
   b. اندماج كيلوجرام من الهيدروجين.
   c. على الرغم من أن انشطار نواة يورانيوم واحدة تنتج طاقة أكبر من اندماج أربعة أنوية هيدروجين لإنتاج الهيليوم، فهناك عدد من أنوية الهيدروجين في الكيلوجرام أكثر 200 مرة من عدد أنوية اليورانيوم الموجودة في الكيلوجرام.

التقويم

72. لتنخفض النشاطية الإشعاعية إلى $\frac{1}{8}$ من الكمية الأصلية يجب أن ينتظر العاملون 3 أعمار نصف، أو 9 days

3-3 وحدات بناء المادة

73. 2 + شحنات أولية

74. 1 + شحنات أولية

75. a. 0 شحنة
b. −1 شحنة
c. 0 شحنة

76. a. 0
b. −1

77. a. 2.1×10^{-5} s
b. 1.6×10^{5} دورة
c. 3.4 s
d. 1.0×10^{9} m أو 1 مليون كيلومتر تقريبًا.

مراجعة عامة

78. a. ${}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{18}_{9}\mathrm{F}$
b. ${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{31}_{15}\mathrm{P}$

79. يبقى $\frac{1}{16}$ من العينة

80. ${}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{1}_{1}\mathrm{p} \rightarrow {}^{2}_{1}\mathrm{H}$ ؛ 1.7130 MeV

التفكير الناقد

81. لأن العزم الابتدائي صفر، فإن هذا يجب أن يكون العزم النهائي. لذلك، فإن شعاعي جاما يجب ان يكون لها عزم متساوي في المقدار ومختلف في الإشارة. مقدار العزم 2.72×10^{-22} kg. m/s

82. لحفظ الزخم فإن أشعاعات جاما الثلاثة يجب أن تكون في المستوى نفسه وبزوايا 120° بينها.

72. في إحدى حوادث مختبر أبحاث، انسكب نظير مشع عمر النصف له ثلاثة أيام. وكان الإشعاع ثمانية أضعاف الكمية العظمى المسموح بها. كم يجب أن ينتظر العاملون قبل أن يستطيعوا الدخول إلى المختبر؟

3–3 وحدات بناء المادة

73. ما شحنة الجسيم الذي يتكوّن من ثلاثة كواركات أعلى؟

74. شحنة ضديد الكوارك معاكسة لشحنة الكوارك. يتكوّن بيون من كوارك أعلى ومن ضديد كوارك أسفل $u\bar{d}$. ما شحنة هذا البيون؟

75. تتكون البيونات من كوارك وضديد الكوارك. أوجد شحنة البيون الذي يتكون من:

a. $u\bar{u}$

b. $d\bar{u}$

c. $d\bar{d}$

76. الباريونات جسيمات تتكون من ثلاثة كواركات. أوجد الشحنة على كل من الباريونات التالية:

a. نيوترون ddu.

b. ضديد بروتون $\bar{u}\bar{u}\bar{d}$.

77. نصف قطر السنكروترون في مختبر فيرمي 2.0 km، وتتحرك البروتونات التي تدور داخله بسرعة تساوي سرعة الضوء في الفراغ تقريبًا، أجب عما يلي:

a. ما الفترة الزمنية التي يحتاج إليها البروتون حتى يكمل دورة كاملة.

b. تدخل البروتونات الحلقة بطاقة 8.0 GeV فتكتسب طاقة 2.5 MeV في كل دورة. ما عدد الدورات التي يجب أن يكملها قبل أن تصل طاقتها إلى 400.0 GeV؟

c. ما الفترة الزمنية التي تحتاج إليها البروتونات حتى تتسارع إلى 400.0 GeV؟

d. ما المسافة التي تقطعها البروتونات خلال هذا التسارع؟

مراجعة عامة

78. كل الأنوية التالية تستطيع أن تمتص جسيم ألفا. افترض أنه لا تنبعث جسيمات ثانوية من النواة، أكمل المعادلات التالية:

a. ${}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow$ ——

b. ${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow$ ——

79. عمر النصف للرادون ${}^{211}_{86}\mathrm{Rn}$ يساوي 15 h، ما الكمية المتبقية من العينة بعد مرور 60 h؟

80. إحدى تفاعلات الاندماج البسيطة تتضمن إنتاج الديوتيريوم ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$ (2.014102 u) من نيوترون وبروتون. اكتب تفاعل الاندماج الكامل، وأوجد مقدار الطاقة المتحررة.

التفكير الناقد

81. **استنتج** لأشعة جاما زخم. وزخم شعاع جاما ذي الطاقة E يساوي E/c، حيث c سرعة الضوء. عندما يضمحل زوج إلكترون–بوزترون إلى أشعة جاما فإن كلًّا من الزخم والطاقة يجب أن يكونا محفوظين. إذا كان مجموع طاقات أشعة جاما تساوي 1.02 MeV وكان كلّ من البوزترون والإلكترون مبدئيًّا في حالة سكون، فكم يجب أن يكون مقدار واتجاه زخم إشعاعين من أشعة جاما؟

82. **استنتج** إذا كان زوج إلكترون–بوزترون مبدئيًّا في حالة سكون، ويستطيع أن يضمحل إلى ثلاثة إشعاعات جاما، وكانت إشعاعات جاما الثلاثة لها طاقات متساوية، فكيف يجب أن تكون اتجاهاتها النسبية؟ وضّح بالرسم.

تقويم الفصل 3

83. قدّر يُطلق تفاعل اندماجي واحد في الشمس طاقة مقدارها 25 MeV تقريبًا. قدّر عدد التفاعلات التي تحدث في كل ثانية من سطوع الشمس الذي يكون عنده معدل الطاقة المنبعثة في الثانية 4×10^{26} W؟

الكتابة في الفيزياء

84. ابحث في الفهم الحالي للمادة المعتمة في الكون، وما أهمية هذه المادة لعلماء الكونيات؟ وما مكونات هذه المادة؟

85. ابحث في تعقّب الكوارك العلوي. لماذا افترض الفيزيائيون وجوده؟

مراجعة تراكمية

86. إلكترون طول موجة دي برولي له 400.0 nm، احسب:

a. سرعة الإلكترون.

b. طاقة الإلكترون بوحدة eV.

87. يدخل فوتون طاقته 14.0 eV ذرة هيدروجين في حالة استقرار ويؤينها. ما مقدار الطاقة الحركية التي ينطلق بها الإلكترون من الذرة؟

88. تفسير البيانات يُراقَب نظير يخضع لاضمحلال إشعاعي بوساطة كاشف إشعاعي، فيسجّل عدد العدات كل خمس دقائق. حسب النتائج الموضحة في **الجدول 3–3** أزيلت العينة بعد ذلك، وسجّل الكاشف الإشعاعي 20 عدة ناتجة عن الأشعة الكونية خلال 5 دقائق. أوجد عمر نصف النظير. لاحظ أنه يجب أن تطرح 20 عدة أولية من كل نتيجة. ثم عيّن العدات كدالة رياضية مع الزمن برسم بياني، وحدد عمر النصف.

الجدول 3-3

قياسات الاضمحلال الإشعاعي

الزمن (دقيقة)	العدات (لكل 5 دقائق)
0	987
5	375
10	150
15	70
20	40
25	25
30	18

التقويم

83. 10^{38} تفاعل لكل ثانية.

الكتابة في الفيزياء

84. 25 في المائة تقريبًا من الكون هي مادة معتمة. ويلزم تفسير لدوران المجرة وتمدد الكون. وبناءً على إحدى النظريات فإن المادة المعتمة ليست مصنوعة من المواد العادية التي يشملها النموذج المعياري. قد تتفاعل مع المواد العادية فقط من خلال الجاذبية والقوى النووية الضعيفة.

85. تنبأ العلماء النظريون بوجود صفة مميّزة للكواركات. وأدركوا بأن الكواركات تتواجد على شكل أزواج. وجد الكوارك السفلي عام 1977، أما الكوارك العلوي لم يتم العثور عليه لغاية عام 1995م.

مراجعة تراكمية

86. a. 1.82×10^3 m/s

b. 9.43×10^{-6} eV

87. 0.4 eV

88. 4 min تقريبًا

سلّم تقدير

يمثّل الجدول الآتي نموذجًا لسلم تقدير لإجابات الأسئلة الممتدة.

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملًا لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، فيمكن أن تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائية التي درسها، والاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًّا، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا للمواضيع الفيزيائية، وربما يكون قد استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلًّا صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلًّا غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. كم عدد البروتونات، النيوترونات، والإلكترونات في نظير النيكل– $^{60}_{28}Ni$ 60 ؟

	البروتونات	النيوترونات	الإلكترونات
A	28	32	28
B	28	28	32
C	32	32	28
D	32	28	28

2. ما الذي يحدث في التفاعل التالي:
$^{212}_{82}Pb \longrightarrow {}^{212}_{83}Bi + \bar{e} + \bar{\nu}$
A انبعاث ألفا
B انبعاث بيتا
C انبعاث جاما
D فقد بروتون

3. ما الناتج عندما يخضع البولونيوم– 214 $^{210}_{84}Po$ لانبعاث ألفا؟
A $^{206}_{82}Pb$
B $^{208}_{82}Pb$
C $^{210}_{85}Pb$
D $^{210}_{80}Pb$

4. حدد النظير المجهول في هذا التفاعل:
$^{14}_{6}C \longrightarrow {}^{14}_{7}N +$ نيوترون +؟
A $^{1}_{1}H$
B $^{2}_{1}H$
C $^{3}_{1}H$
D $^{4}_{2}He$

5. أي نوع من الانبعاث لا يغير عدد البروتونات أو النيوترونات في النواة؟
A البوزترون
B ألفا
C بيتا
D جاما

6. يتصادم إلكترون وبوزترون فيفني كل منهما الآخر، ويطلقان طاقتهما على شكل أشعة جاما. ما أقل طاقة لأشعة جاما؟ (الطاقة المكافئة لكتلة الإلكترون 0.51 Mev)
A 0.51 MeV
B 1.02 MeV
C 931.49 MeV
D 1863 MeV

7. يبيّن الرسم التوضيحي أدناه المسارات في حجرة الفقاعة التي تنتج عندما تضمحل أشعة جاما إلى بوزترون وإلكترون. لماذا لا تغادر أشعة جاما المسار؟

A تنتقل أشعة جاما بسرعة عالية جدًّا خلال مساراتها لكي يتم اكتشافها.
B أزواج من الجسيمات فقط يمكن أن تغادر المسارات في حجرة الفقاعة.
C يجب أن يمتلك الجسيم كتلة حتى يتفاعل مع السائل ويغادر المسار، وأشعة جاما عديمة الكتلة فعليًا.
D أشعة جاما متعادلة كهربائيًا، لذلك فلا تؤين السائل.

8. نظير البولونيوم– 210 له عمر نصف 138 day، ما مقدار الكمية المتبقية من عينة 2.34 kg بعد مرور أربعة أعوام؟
A 0.644 mg
B 1.50 mg
C 1.51 g
D 10.6 g

9. تبعث عينة من اليود– 131 المشع جسيمات بيتا، بمعدل 2.5×10^{8} Bq، إذا كان عمر النصف لليود 8 أيام. ما النشاطية بعد مرور 16 يومًا؟
A 1.6×10^{7} Bq
B 6.2×10^{7} Bq
C 1.2×10^{8} Bq
D 2.5×10^{8} Bq

الاسئلة الممتدة

10. يطلق انشطار نواة يورانيوم– 235 طاقة 3.2×10^{-11} J تقريبًا. وطن واحد من مادة TNT يحرر طاقة 4×10^{9} J تقريبًا. كم عدد أنوية اليورانيوم –235 في قنبلة الانشطار النووي الذي يطلق طاقة تكافئ 20000 طن من مادة TNT؟

98

أسئلة اختيار من متعدد

1. A	2. B	3. A
4. A	5. D	6. B
7. D	8. C	9. B

الأسئلة الممتدة

10. عدد الأنوية $= (20.000\ \text{T})\left(\frac{4\times10^{9}\ \text{J}}{\text{T}}\right)\left(\frac{1\ \text{نواة}}{3.2\times10^{-11}\text{J}}\right)$
$= 2 \times 10^{24}$ نواة

مصادر تعليمية للطالب

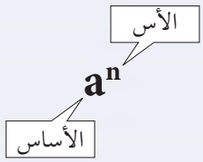
- دليل الرياضيات
- الجداول
- حلول بعض المسائل التدريبية
- المصطلحات
- الجدول الدوري للعناصر

I. الأسس والقوى والجذور والقيمة المطلقة Exponents, Powers, Roots, and Absolute value

الأسس Exponents

الأس عبارة عن عدد يخبرك بعدد المرات التي استعمل فيها الأساس a كعامل، ويكتب الأس على صيغة رمز علوي، ففي الحد a^n، يمثل الرمز a الأساس ويمثل الرمز n الأس.

ويسمى المقدار a^n القوة النونية للرقم a أو أن الرقم a مرفوع للقوة n.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن الرمز السفلي لا يمثل الأس، وفي الفيزياء يمثل الرمز السفلي تعبيرًا آخر للمتغير.

فمثلا v_0 يمكن أن تستعمل لتعبر عن السرعة عند الزمن 0، ولذلك فإن الرمز السفلي يعتبر جزءًا من المتغير.

الأس الموجب لأي رقم غير صفري a ، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^n = (a_1)(a_2)(a_3)\dots(a_n)$$

مثال: بسّط الحدود الأسية التالية:

$$10^4 = (10)(10)(10)(10) = 10{,}000$$

$$2^3 = (2)(2)(2) = 8$$

الأس الصفري لأي رقم a غير صفري،

$$a^0 = 1$$

مثال: بسّط الحدود الأسية الصفرية التالية:

$$2^0 = 1$$

$$13^0 = 1$$

الأس السالب لأي رقم a غير صفري، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

مثال: اكتب الحدود الأسية السالبة الآتية في صورة كسور.

$$2^{-2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4} \qquad 2^{-1} = \frac{1}{2^1} = \frac{1}{2}$$

الجذور التربيعية والجذور التكعيبية Square and Cube Roots

الجذر التربيعي للرقم يساوي أحد معامليه الاثنين المتساويين. ويعبّر الرمز الجذري $\sqrt{\ }$ ، عن الجذر التربيعي. ويمكن أن يُعبّر عن الجذر التربيعي بالأس $\frac{1}{2}$ كما في $\sqrt{b} = b^{\frac{1}{2}}$. ويمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد قيمة الجذور التربيعية.

أمثلة: بسّط حدود الجذور التربيعية الآتية:

$\sqrt{a^2} = \sqrt{(a)\ (a)} = a$

$\sqrt{9} = \sqrt{(3)\ (3)} = 3$

تتضمن الإجابة صفرًا عن يمين الفاصلة العشرية وذلك للإبقاء على رقمين معنويين. $\sqrt{64} = \sqrt{(8.0)\ (8.0)} = 8.0$

ضع صفرين عن يمين إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على أربعة أرقام معنوية. $\sqrt{38.44} = 6.200$

قرّب إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على رقمين معنويين. $\sqrt{39} = 6.244997 = 6.2$

إن الجذر التكعيبي للرقم يمثل أحد معاملاته الثلاثة المتساوية. ويعبر الرمز الجذري $\sqrt[3]{\ }$ أي استعمال الرقم 3، عن الجذر التكعيبي. كما يمكن تمثيل الجذر التكعيبي أيضًا في صورة أس $\frac{1}{3}$ كما في $\sqrt[3]{b} = b^{\frac{1}{3}}$.

مثال: بسّط حدود الجذر التكعيبي التالية:

$\sqrt[3]{125} = \sqrt[3]{(5.00)(5.00)(5.00)} = 5.00$

$\sqrt[3]{39.304} = 3.4000$

مسائل تدريبية

1. أوجد ناتج كل جذر، ومن ثم قرّب الإجابة إلى أقرب مئة.

a. $\sqrt{22}$ **c.** $\sqrt{676}$

b. $\sqrt[3]{729}$ **d.** $\sqrt[3]{46.656}$

2. بسّط الجذور التالية من دون استعمال الرمز الجذري:

a. $\sqrt{16a^2b^4}$ **b.** $\sqrt{9t^6}$

3. اكتب الجذور الآتية على الصورة الأسية:

a. $\sqrt{n^3}$ **b.** $\frac{1}{\sqrt{a}}$

1. a. 4.7

b. 9.00

c. 26.0

d. 3.6000

2. a. $4ab^2$

b. $3t^3$

3. a. $n^{\frac{3}{2}}$

b. $a^{-\frac{1}{2}}$

إجراء العمليات باستخدام الأسس Operations With Exponents

لإجراء العمليات التالية باستخدام الأسس فإن كلًّا من a ، b يمكن أن يكونا أرقامًا أو متغيرات.

ضرب القوى: لإجراء عملية ضرب حدود لها الأساس نفسه اجمع الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$(a^m)(a^n) = a^{m+n}$

قسمة القوى: لإجراء عملية قسمة حدود لها الأساس نفسه اطرح الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$a^m / a^n = a^{m-n}$

القوة مرفوعة لقوة: لايجاد ناتج قوة مرفوعة لقوة، استخدم الأساس نفسه واضرب الأسس في بعضها، كما هو موضح في الصفحة التالية: $(a^m)^n = a^{mn}$

الجذر مرفوعة لقوة: لإيجاد ناتج جذر مرفوع لقوة استخدم الأساس نفسه وقسّم أس القوة على أس الجذر، كما هو موضح في الصيغة التالية: $\sqrt[n]{a^m} = a^{m/n}$

القوة لحاصل الضرب: لإيجاد القوة لحاصل الضرب a و b ، ارفع كليهما للقوة نفسها، ثم أوجد حاصل ضربهما معًا، كما في $(ab)^n = a^n b^n$

مسائل تدريبية

4. اكتب الصيغة المكافئة مستعملًا خصائص الأسس.

a. $x^2 t / x^3$ **b.** $\sqrt{t^3}$ **c.** $\sqrt{x}$ **d.** x^2.

5. بسّط $\frac{m}{q}\sqrt{\frac{2qv}{m}}$

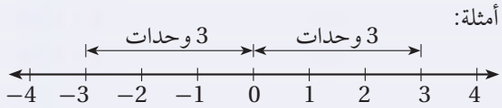
القيمة المطلقة Absolute Value

إن القيمة المطلقة للرقم n عبارة عن قيمته بغض النظر عن إشارته. وتكتب القيمة المطلقة للرقم n على صورة |n|، ولأن المقادير لا تكون أقل من الصفر فإن القيم المطلقة دائمًا أكبر من صفر أو تساوي صفرًا.

أمثلة:

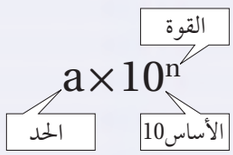
$|3| = 3$

$|-3| = 3$



II. الدلالة العلمية Scientific Notation

إن الرقم على الصيغة $a\times10^n$ مكتوب بدلالته العلمية، حيث $1 \le a \le 10$، والرقم n عدد صحيح. الأساس 10 مرفوع للقوة n والحد a يجب أن يكون أقل من 10.



4. **a.** $x^{-1}t$ **b.** t_2^3 **c.** d^4n^2 **d.** $x^{\frac{5}{2}}$

5. $\sqrt{\frac{2vm}{q}} = (2vm)^{\frac{1}{2}}q^{\frac{-1}{2}}$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون الدلالة العلمية مع القياسات التي تزيد على 10 أو الأقل من 1 للتعبير عنها، والمقارنة بينها، وحسابها. فمثلاً تكتب كتلة البروتون على صورة 6.73×10^{-28} kg، وتكتب كثافة الماء على الصورة 1.000×10^{3} kg/m^3 وهذا يوضح استعمال قواعد الأرقام المعنوية، حيث يساوي هذا القياس 1000 تمامًا، وذلك لأربعة أرقام معنوية. ولذلك فعند كتابة كثافة الماء على الصورة 1000 kg/m^3 سوف يشير ذلك إلى أن الرقم يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا، وهذا غير صحيح. لقد ساعدت الدلالة العلمية الفيزيائيين على الحفاظ على المسار الدقيق للأرقام المعنوية.

الأرقام الكبيرة، واستخدام الأسس الموجبة Large Numbers – Using Positive Exponents

إن عملية الضرب للقوة 10 تشبه تمامًا عملية تحريك النقطة العشرية لنفس عدد المنازل إلى يسار العدد (إذا كانت القوة سالبة) أو إلى اليمين (إذا كانت القوة موجبة). وللتعبير عن الرقم الكبير في الدلالة العلمية حدد أولاً قيمة الحد a، $1 \le a < 10$، ثم عد المنازل العشرية من النقطة العشرية في الحد a لغاية النقطة العشرية في العدد. ثم استعمل العدد كقوة للرقم 10. وتبين الآلة الحاسبة الدلالة العلمية باستعمال e للأسس كما في $2.4 \times 10^{11} = 2.4$ e+11 وبعض الآلات الحاسبة تستخدم E لتبيان الأس أو يوجد غالبًا على الشاشة موضع مخصص، حيث تظهر أرقام ذات أحجام صغيرة نسبيًّا لتمثل الأسس في الآلة الحاسبة.

مثال: اكتب 7,530,000 *بدلالته العلمية.*

إن قيمة a هي 7.53 (النقطة العشرية عن يمين أول رقم غير صفري)، لذلك سيكون الشكل في صورة 7.53×10^{n}.

هناك ستة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 6 $7,530,000 = 7.53 \times 10^{6}$

لكتابة الصورة القياسية للرقم المعبَّر عنه بدلالته العلمية اكتب قيمة a، وضع أصفارًا إضافية عن يمين الرقم. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية للرقم a عدة منازل إلى اليمين.

مثال: اكتب الرقم التالي في صورته القياسية

$2.389 \times 10^{5} = 2.38900 \times 10^{5} = 238,900$

الأرقام الصغيرة، واستخدام الأسس السالبة Small Numbers–Using Negative Exponents

للتعبير عن الأرقام الصغيرة بدلالتها العلمية حدد أولاً قيمة a ، $1 \le a < 10$ ، ثم احسب عدد المنازل العشرية مبتدئًا من النقطة العشرية للرقم a حتى النقطة العشرية في الرقم.

استعمل ذلك العدد قوةً للأساس 10 . إن عملية ضرب الرقم في قوة سالبة مماثل تمامًا لعملية القسمة على ذلك الرقم مع القوة الموجبة المرافقة.

مثال: اكتب 0.000000285 بدلالته العلمية

إن قيمة a هي 2.85 (النقطة العشرية تقع عن يمين الرقم الأول غير الصفري) لذلك فإن الشكل سيكون في صورة 2.85×10^{n}.

توجد سبعة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 7 – $0.000000285 = 2.85\times10^{-7}$

وللتعبير عن الأرقام الصغيرة بصورتها القياسية، اكتب قيمة الرقم a، وقم بإضافة أصفار إضافية عن يسار الرقم a. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية في a عدة منازل إلى اليسار.

مثال: $1.6 \times 10^{-4} = 00001.6 \times 10^{-4} = 0.00016$

6. عبّر عن كل رقم بدلالته العلمية:

a. 456,000,000 **b.** 0.000020

7. عبّر عن كل رقم بصورته القياسية.

a. 3.03×10^{-7} **b.** 9.7×10^{10}

إجراء العمليات الرياضية بدلالتها العلمية Operations with Scientific Notation

لإجراء العمليات الرياضية للأرقام المعبّر عنها بدلالتها العلمية نستخدم خصائص الأسس.

عملية الضرب أوجد حاصل عملية ضرب الحدود، ثم اجمع القوى للأساس 10.

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $(4.0\times10^{-8})\ (1.2\times10^{5}) = (4.0\times1.2)\ (10^{-8}\times10^{5})$

أوجد حاصل ضرب الحدود $= (4.8)\ (10^{-8+5})$

اجمع القوى للأساس 10 $= (4.8)\ (10^{-3})$

أعد صياغة النتيجة بدلالتها العلمية $= 4.8\times10^{-3}$

عملية القسمة قم بإجراء عملية قسمة الأرقام الممثلة للقواعد، ثم اطرح أسس الأساس 10.

مثال: بسّط

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $\frac{9.60\times10^{7}}{1.60\times10^{3}} = \left(\frac{9.60}{1.60}\right)\times\left(\frac{10^{7}}{10^{3}}\right)$

قسّم الحدود واطرح القوس للأساس 10 $= 6.00 \times 10^{7-3}$

$= 6.00 \times 10^{4}$

6. **a.** 4.56×10^{8} **b.** 2.0×10^{-5}

7. **a.** 0.000000303 **b.** 97,000,000,000

عمليتا الجمع والطرح إن إجراء عملية الجمع وعملية الطرح للأرقام بدلالتها العلمية هي عملية تحدٍّ أكبر؛ لأن قوى الأساس 10 يجب أن تكون متماثلة لكي تستطيع جمع أو طرح الأرقام. وهذا يعني أن أحد تلك الأرقام يمكن أن يحتاج إلى إعادة كتابته بدلالة قوة مختلفة للأساس 10، بينما إذا كانت القوى للأساس 10 متساوية فاستعمل الخاصية التوزيعية للأعداد.

مثال: بسّط

جمّع الحدود $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^5) = (3.2+4.8)\times10^5$

اجمع الحدود $= 8.0\times10^5$

مثال: بسّط

أعد كتابة 4.8×10^4 على صورة 0.48×10^5 $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^4) = (3.2\times10^5) + (0.48\times10^5)$

جمّع الحدود $= (3.2+0.48)\times10^5$

اجمع الحدود $= 3.68\times10^5$

قرّب النتيجة مستعملًا قاعدة الجمع / الطرح للأرقام المعنوية. $= 3.7\times10^5$

مسائل تدريبية

8. احسب نتيجة كل من التعابير التالية، وعبّر عن النتيجة بدلالتها العلمية.

a. $(4.0\times10^8)\ (5.2\times10^{-4})$ **b.** $(8.0\times10^4) + (2.4\times10^3)$

8. **a.** 2.1×10^4

b. 8.2×10^4

III. المعادلات Equations

ترتيب العمليات Order of Operations

اتفق العلماء والرياضيون على مجموعة من الخطوات أو القواعد، تسمى ترتيب العمليات، لذلك يفسّر كل شخص الرموز الرياضية بالطريقة نفسها. اتّبع هذه الخطوات بالترتيب عندما تريد تقدير نتيجة تعبير رياضي أو عند استخدام صيغة رياضية معينة.

1. بسّط التعابير الرياضية داخل الرموز التجميعية، مثل القوسين ( )، والقوسين المعقوفين [ ]، والأقواس المزدوجة { }، وأعمدة الكسر.

2. قدّر قيمة جميع القوى والجذور.

3. نفّذ جميع عمليات الضرب و / أو جميع عمليات القسمة من اليسار إلى اليمين.

4. نفّذ جميع عمليات الجمع و / أو جميع عمليات الطرح من اليسار إلى اليمين.

مثال: بسّط التعبير التالي:

ترتيب العمليات: الخطوة 1 $4+3\ (4-1)-2^3 = 4+3\ (3)-2^3$

ترتيب العمليات: الخطوة 2 $=4+3\ (3)-8$

ترتيب العمليات: الخطوة 3 $=4+9-8$

ترتيب العمليات: الخطوة 4 $= 5$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يوضح المثال السابق تنفيذ عملية ترتيب العمليات خطوة بخطوة. فعند حل المسائل الفيزيائية لا تجري عملية التقريب للرقم الصحيح للأرقام المعنوية إلا بعد حساب النتيجة النهائية. في حالة الحسابات التي تتضمن تعابير رياضية في البسط وتعابير رياضية في المقام عليك معاملة كل من البسط والمقام بوصفهما مجموعتين منفصلتين، ثم جد نتيجة كل مجموعة قبل أن تجري عملية قسمة البسط على المقام، لذلك فإن قاعدة الضرب / القسمة تستخدم لحساب الرقم النهائي للأرقام المعنوية.

حل المعادلات Solving Equations

إن حل المعادلة يعني إيجاد قيمة المتغير الذي يجعل المعادلة تعبيرًا رياضيًّا صحيحًا. وعند حل المعادلات طبّق خاصية التوزيع وخصائص التكافؤ، وإذا طبقت أيًّا من خصائص المتكافئات في أحد طرفي المعادلة وجب أن تطبق الخصائص نفسها في الطرف الآخر.

الخاصية التوزيعية لأي من الأعداد a ، b ، c يكون:

$a\,(b+c) = ab+ac$ $\qquad$ $a\,(b-c) = ab-ac$

مثال: استعمل الخاصية التوزيعية لتفكيك التعبير التالي:

$$3\,(x+2) = 3\,x + (3)\,(2)$$
$$= 3\,x + 6$$

خاصيتا الجمع والطرح للمتكافئات إذا تساوت كميتان وأضيف العدد نفسه أو طرح العدد نفسه من كليهما، فإن الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

مثال: حل المعادلة $x - 3 = 7$ *مستعملًا خاصية الجمع*

$$x-3 = 7$$
$$x - 3 + 3 = 7 + 3$$
$$x=10$$

مثال: حل المعادلة $t + 2 = -5$ مستعملًا خاصية الطرح

$$t + 2 = -5$$
$$t + 2 - 2 = -5 - 2$$
$$t = -7$$

خاصيتا الضرب والقسمة للمتكافئات إذا ضربت أو قسمت كميتين متساويتين في/ على العدد نفسه، فستكون الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

$$a\,c = b\,c$$
$$\frac{a}{c} = \frac{b}{c}, \text{ for } c \neq 0$$

مثال: حل المعادلة $\frac{1}{4}\,a = 3$ مستعملًا خاصية الضرب

$$\frac{1}{4}\,a = 3$$
$$(\frac{1}{4}\,a)\,(4) = 3\,(4)$$
$$a = 12$$

مثال: حل المعادلة $6\,n = 18$ مستخدمًا خاصية القسمة

$$6\,n = 18$$
$$\frac{6n}{6} = \frac{18}{6}$$
$$n = 3$$

مثال: حل المعادلة $2\,t + 8 = 5\,t - 4$ بالنسبة للمتغير t

$$2\,t + 8 = 5\,t - 4$$
$$8 + 4 = 5\,t - 2\,t$$
$$12 = 3\,t$$
$$4 = t$$

فصل المتغير Isolating a Variable

افترض معادلة تتضمن أكثر من متغير، لفصل المتغير– أيْ لحل المعادلة بالنسبة لذلك المتغير– اكتب معادلة ارتباط مكافئة بحيث يتضمن أحد طرفيها المتغير فقط بمعامل يساوي 1.

ارتباط الرياضيات في الفيزياء افصل المتغير P (الضغط) في معادلة قانون الغاز المثالي.

$$PV = nRT$$

قسّم طرفي المعادلة على V ← $\frac{PV}{V} = \frac{nRT}{V}$

جمّع $(\frac{V}{V})$ ← $P(\frac{V}{V}) = \frac{nRT}{V}$

بالتعويض عن $\frac{V}{V} = 1$ ← $P = \frac{nRT}{V}$

مسائل تدريبية

9. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

a. $2 + 3\,x = 17$

b. $x - 4 = 2 - 3x$

c. $t - 1 = \frac{x+4}{3}$

d. $a = \frac{b+x}{c}$

e. $6 = \frac{2x+3}{x}$

f. $ax + bx + c = d$

خاصية الجذر التربيعي Square Root Property

إذا كان كل من a ، n أعدادًا حقيقية، $n > 0$ و $a^2 = n$ ، فإن $a = \pm\sqrt{n}$.

9.

a. 5

b. $\frac{3}{2}$

c. $3t-7$

d. $ac-b$

e. $\frac{3}{4}$

f. $\frac{d-c}{a+d}$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء حل المعادلة بالنسبة للمتغير v في القانون الثاني لنيوتن لقمر يدور حول الأرض.

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Gm_E m}{r^2}$$

اضرب طرفي المعادلة كليهما في المتغير r

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{rGm_E m}{r^2}$$

بالتعويض عن $\frac{r}{r} = 1$

$$mv^2 = \frac{Gm_E m}{r}$$

قسّم طرفي المعادلة على m .

$$\frac{mv^2}{m} = \frac{Gm_E m}{rm}$$

بالتعويض عن $\frac{m}{m} = 1$

$$v^2 = \frac{Gm_E}{r}$$

ضع الجذر التربيعي على طرفي المعادلة

$$\sqrt{v^2} = \pm\sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

استعمل القيمة الموجبة للسرعة.

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

عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي من المهم الانتباه للمتغير الذي ستقوم بحل المعادلة بالنسبة له. لأننا قمنا بحل المعادلة السابقة بالنسبة للسرعة v، لذلك لم يكن من المنطق أن نستعمل القيمة السالبة للجذر التربيعي، وأنت بحاجة أيضًا للأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت القيمة السالبة أو الموجبة ستعطيك الحل الصحيح، فمثلاً عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي لحل المعادلة بالنسبة للمتغير t فإن القيمة السالبة تشير إلى الفترة الزمنية قبل بدء الحالة التي تدرسها.

المعادلات التربيعية Quadratic Equations

التعبير العام للمعادلة التربيعية $ax^2 + bx + c = 0$ ، حيث $a \neq 0$، وتتضمن المعادلة التربيعية متغيرًا واحدًا مرفوعًا للقوة (الأس) 2 بالإضافة إلى المتغير نفسه مرفوعًا للأس 1 . كما يمكن تقدير حلول المعادلة التربيعية بوساطة التمثيل البياني باستعمال الآلة الحاسبة الراسمة بيانيًّا. إذا كانت $b = 0$ فإن الحد x غير موجود في المعادلة التربيعية. ويمكن حل المعادلة بفصل المتغير المربع، ثم إيجاد الجذر التربيعي لكل من طرفي المعادلة باستخدام خاصية الجذر التربيعي.

الصيغة التربيعية Quadratic Formula

إن حلول أي معادلة تربيعية يمكن إيجادها باستعمال الصيغة التربيعية، لذلك فإن حلول المعادلة $ax^2 + bx + c = 0$، حيث $a \neq 0$، تعطى من خلال المعادلة التالية:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

وكما في حالة خاصية الجذر التربيعي، من المهم الأخذ بعين الاعتبار ما إذا كانت حلول الصيغة التربيعية تعطيك الحل الصحيح للمسألة التي بصدد حلّها. فعادةً يُمكنك إهمال أحد الحلول لكونه حلاً غير حقيقي. تتطلب حركة المقذوف غالبًا استعمال الصيغة التربيعية عند حل المعادلة، لذلك حافظ على واقعية الحل في ذهنك عند حل المعادلة.

مسائل تدريبية

10. حل المعادلات الآتية بالنسبة للمتغير x.

$4x^2 - 19 = 17$

$12 - 3x^2 = -9$

$x^2 - 2x - 24 = 0$

$24x^2 - 14x - 6 = 0$

حسابات الوحدات Dimensional Calculations

عند إجراء الحسابات عليك أن ترفق وحدة كل قياس مكتوبة في الحسابات، وجميع العمليات التي تتم في صورة أعداد تُجرى أيضًا مرفقة بوحداتها.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة تسارع الجاذبية الأرضية a يعطى من خلال المعادلة $a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$. فإذا سقط جسم سقوطًا حرًّا على القمر مسافة 20.5 m خلال 5.00 s . أوجد التسارع a على سطح القمر.

يقاس التسارع بوحدة m/s^2.

$$a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$$

$$a = \frac{2(20.5\ m)}{(5.00\ s)^2}$$

العدد 2 عدد دقيق، لذلك لن يؤثر في حساب الأرقام المعنوية

$$a = \frac{1.64\ m}{s^2}$$ مثل

احسب وقرّب حتى ثلاثة أرقام معنوية

أو مثل $a = 1.64\ m/s^2$

تحويل الوحدة استعمل معامل التحويل للتحويل من وحدة قياس إلى وحدة قياس أخرى من النوع نفسه، من وحدة الدقائق مثلاً إلى وحدة الثواني، وهذا يكافئ عملية الضرب في العدد 1 .

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء جد Δx عندما $v_0 = 67\ m/s$ و $\Delta t = 5.0\ min$. استخدم المعادلة $\Delta x = v_0 \Delta t$

$$\frac{60\ s}{1\ min} = 1$$

$$\Delta x = v_0 \Delta t$$

$$\Delta x = \frac{67\ m}{s}\left(\frac{5.0\ min}{1}\right)\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$$

اضرب في معامل التحويل $\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$

$$\Delta x = 20100\ m = 2.0 \times 10^4\ m$$

احسب ثم قرّب إلى رقمين معنويين. إن العددين 60 s و 1 min مضبوطين ودقيقين، لذلك لن يؤثرا في حساب الأرقام المعنوية.

10. a. ± 3

b. ± 2.65

c. -4 أو 6

d. -0.3 أو 0.9

مسائل تدريبية

11. بسّط المعادلة $\Delta t = \frac{4.0\times10^{2}\ \text{m}}{16\ \text{m/s}}$

12. احسب السرعة المتجهة لقطعة قرميد ساقطة بعد مضي 5.0 s ، استعمل $a = -9.80\ \text{m/s}^2$ و $v = a\,\Delta t$.

13. أوجد حاصل ضرب الحدود: $\left(\frac{1\ \text{m}}{100\ \text{cm}}\right)\left(\frac{60\ \text{min}}{1\text{h}}\right)\left(\frac{60\ \text{s}}{1\ \text{min}}\right)\left(\frac{32\ \text{cm}}{1\text{s}}\right)$

14. في سجلّ الألعاب الأولمبية تم قطع المسافة 100.00 m خلال 9.87 s. ما السرعة بوحدة الكيلومترات لكل ساعة؟

11. 25s

12. −49 m/s

13. 22 mph

14. 36.5 km/h

تحليل الوحدات Dimensional Analysis

يعتبر تحليل الوحدات طريقة لتنفيذ العمليات الجبرية باستعمال الوحدات، وغالبًا ما يستعمل لاختبار صحة وحدات النتيجة النهائية وصحة المعادلة المستعملة، من دون إعادة تنفيذ الحسابات بصورة كاملة.

مثال فيزيائي تحقق من أن الإجابة النهائية للمعادلة $d_f = d_i + v_i t + \frac{1}{2}\,at^2$ وحدتها m

d_i تقاس بوحدة m

t تقاس بوحدة s

v_i تقاس بوحدة m/s

a تقاس بوحدة m/s^2

بالتعويض عن وحدات كل متغير

$$d_f = \text{m} + \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)(\text{s}) + \frac{1}{2}\left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)(\text{s})^2$$

بسّط الكسور مستعملًا الخاصية التوزيعية

$$= \text{m} + (\text{m})\left(\frac{\text{s}}{\text{s}}\right) + \frac{1}{2}(\text{m})\left(\frac{\text{s}^2}{\text{s}^2}\right)$$

بالتعويض عن $\text{s/s} = 1$، $\text{s}^2/\text{s}^2 = 1$

$$= \text{m} + (\text{m})(1) + \frac{1}{2}(\text{m})(1)$$

جميع الحدود أعطت الوحدة m لذلك فإن d_f بوحدة m

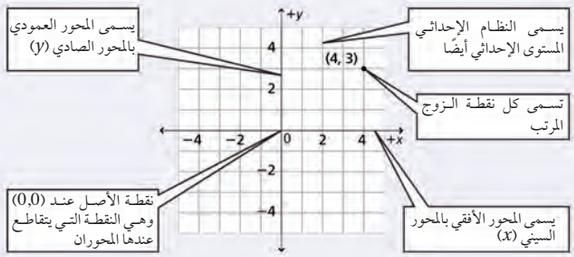
$$= \text{m} + \text{m} + \frac{1}{2}\,\text{m}$$

لا يطبّق المعامل $\frac{1}{2}$ في المعادلة أعلاه بالنسبة للوحدات، ويطبّق فقط لأي من القيم العددية التي يتم تعويضها بدلاً من المتغيرات لحل المعادلة. ومن السهل إزالة المعاملات الرقمية مثل الرقم $\frac{1}{2}$ عندما تبدأ بإجراء تحليل الوحدات.

IV. التمثيل البياني للعلاقات Graphs of Relations

المستوى الإحداثي (الديكارتي) The Coordinate Plane

تعين النقاط بالنسبة إلى خطين مدرّجين متعامدين يطلق على كل منهما اسم المحور، و يسمى خط الأعداد الأفقي المحور السيني (x). أما خط الأعداد العمودي فيسمى المحور الصادي (y). ويمثل المحور السيني عادة المتغير المستقل، فيما يمثل المحور العمودي المتغير التابع، بحيث تُمثّل النقطة بإحداثيين (x,y) يسميان أيضًا الزوج المرتب. وتَرد دائماً قيمة المتغير التابع (x) أولًا في الزوج المرتب الذي يمثل (0,0) نقطة الأصل، وهي النقطة التي يتقاطع عندها المحوران.



استعمال التمثيل البياني لتحديد العلاقة الرياضية Grahping Data to Determine Relationships

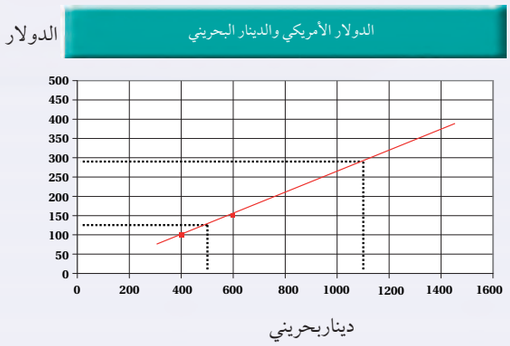
استعمل الخطوات الآتية لعمل رسوم بيانية:

1. ارسم محورين متعامدين.
2. حدّد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة، وعيّن محور كل منهما مستعملًا أسماء المتغيرات.
3. عيّن مدى البيانات لكل متغير، لتحديد المقياس المناسب لكل محور، ثم حدّد ورقّم المقاييس.
4. عيّن كل نقطة بيانيًا.
5. عندما تبدو لك البيانات واقعة على خط مستقيم واحد ارسم الخط الأكثر ملاءمة خلال مجموعة النقاط. وعندما لا تقع النقاط على خط واحد ارسم منحنى بيانيًا بسيطًا، بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. وعندما لا يبدو هناك أي ميل لاتجاه معين فلا ترسم خطًا أو منحنًى.
6. اكتب عنوانًا يصف بوضوح ماذا يمثل الرسم البياني.

نوع الخدمة	دينار	دولار
الفندق (الإقامة)	150	398
الوجبات	85	225
الترفيه	67	178
المواصلات	22	58

الاستيفاء والاستقراء Interpolating and Extrapolating

تستعمل طريقة الاستيفاء في تقدير قيمة تقع بين قيمتين معلومتين على الخط الممثل لعلاقة ما، في حين أن عملية تقدير قيمة تقع خارج مدى القيم المعلومة تسمى الاستقراء. إن معادلة الخط الممثل لعلاقة ما تساعدك في عمليتي الاستيفاء والاستقراء.



مثال: مستعينًا بالرسم البياني استعمل طريقة الاستيفاء لتقدير القيمة (السّعْر) المقابلة لـ 50 دينارًا.

حدد نقطتين على كل من جانبي القيمة 50 (40 دينارًا، 60 دينارًا)، ثم ارسم خطًّا مستمرًّا يصل بينهما.

ارسم الآن خطًّا متقطعًا عموديًّا من النقطة (50 دينارًا) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المرسوم، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا يصل إلى المحور الرأسي. سوف تجد أنه يتقاطع معه عند القيمة 131 أو 132 دولارًا.

مثال: استعمل الاستقراء لتحديد القيمة المقابلة لـ 1100 دينار.

ارسم خطًّا متقطعًا من النقطة (1100 دينار) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المستمر الذي رسمته في المثال السابق، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا. ستجد أنه يتقاطع مع المحور الرأسي عند النقطة 290 دولارًا.

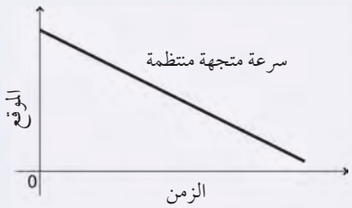
تفسير الرسم البياني الخطي Interpreting Line Graph

يوضح الرسم البياني الخطي العلاقة الخطية بين متغيرين. وهناك نوعان من الرسوم البيانية الخطية التي تصف الحركة تستخدم عادة في الفيزياء.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

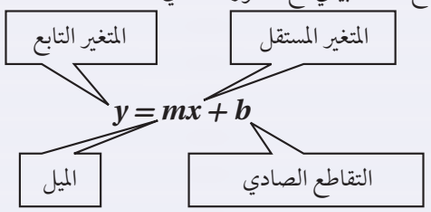
a. يوضح الرسم البياني علاقة خطية متغيرة بين (الموقع – الزمن).

b. يوضح الخط البياني علاقة خطية ثابتة بين متغيرين (الموقع – الزمن)



المعادلة الخطية Linear Equation

يمكن كتابة المعادلة الخطية بالشكل: $y = mx + b$، حيث m ، b أعداد حقيقية، و(m) يمثل ميل الخط، و(b) يمثل التقاطع الصادي؛ وهي نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الصادي.



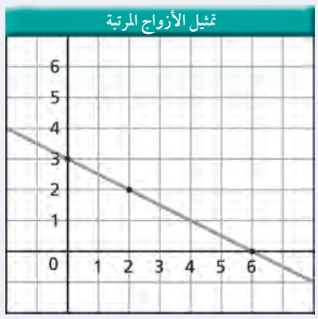
تمثل المعادلة الخطية بخط مستقيم، ولتمثيلها بيانيًّا قم باختيار ثلاث قيم للمتغير المستقل (يلزم نقطتان فقط، والنقطة الثالثة تستخدم لإجراء اختبار). احسب القيم المقابلة للمتغير التابع، ثم عيّن زوجين مرتبين (x, y)، وارسم أفضل خط يمر بجميع النقاط.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة

$$y = -(\frac{1}{2})\, x + 3$$

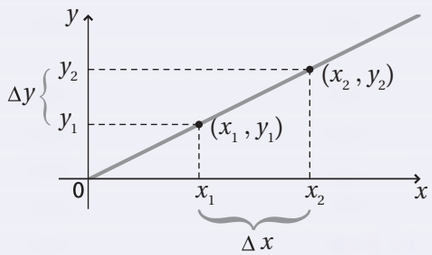
احسب ثلاثة أزواج مرتبة للحصول على نقاط لتعيينها.

الأزواج المرتبة	
x	y
0	3
2	2
6	0



الميل Slope

ميل الخط هو النسبة بين التغير في الإحداثيات الصادية، والتغير في الإحداثيات السينية، أو النسبة بين التغير العمودي (المقابل) والتغير الأفقي (المجاور). وهذا الرقم يخبرك بكيفية انحدار الخط البياني، ويمكن أن يكون رقمًا موجبًا أو سالبًا. ولإيجاد ميل الخط قم باختيار نقطتين $(x_1 ، y_1)$ ، $(x_2 ، y_2)$، ثم احسب الاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين السينيين $\Delta x = x_2 - x_1$، والاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين الصاديين $\Delta y = (y_2 - y_1)$، ثم جد النسبة بين Δy و Δx .



$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

التغير الطردي Direct variation

إذا احتوت المعادلة على ثابتٍ غير صفري m، بحيث كانت $y = mx$، فإن y تتغير طرديًّا بتغير x؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يزداد أيضًا، ويقال عندئذٍ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا طرديًّا. وهذه معادلة خطية على الصورة $y = mx + b$ حيث قيمة b صفر، ويمر الخط البياني من خلال نقطة الأصل $(0,0)$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة القوة المعيدة (المُرجعة) للنابض المثالي $\boldsymbol{F} = -k\boldsymbol{x}$ ، حيث $\boldsymbol{F}$ القوة المُرجعة، k ثابت النابض و x استطالة النابض، تتغير القوة المرجعة للنابض طرديًّا مع تغير استطالته؛ ولذلك تزداد القوة المرجعة عندما تزداد استطالة النابض.

التغير العكسي Inverse Variation

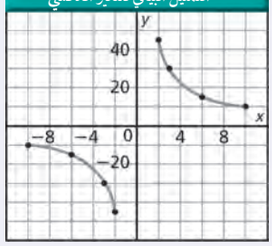
إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صفري m، بحيث كانت $y=m/x$ ، فإن y تتغير عكسيًّا بتغير x ؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يتناقص، ويقال عندئذ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا عكسيًّا. وهذه ليست معادلة خطية؛ لأنها تشتمل على حاصل ضرب متغيرين، والتمثيل البياني لعلاقة التناسب العكسي عبارة عن قطع زائد. ويمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل:

$$xy = m$$
$$y = m\,\frac{1}{x}$$
$$y = \frac{m}{x}$$

مثال: مثِّل المعادلة $xy = 90$ بيانيًّا

الأزواج المرتبة	
x	y
-10	-9
-6	-15
-3	-30
-2	-45
2	45
3	30
6	15
10	9

التمثيل البياني للتغير العكسي



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة سرعة الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$ ، حيث λ الطول الموجي، f التردد، و v سرعة الموجة، نجد أن الطول الموجي يتناسب عكسيًّا مع التردد؛ وهذا يعني أنه كلما يزداد تردد الموجة فإن الطول الموجي يتناقص، أما v فتبقى قيمتها ثابتة.

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية Quadratic Graph

الصيغة العامة للعلاقة التربيعية هي:

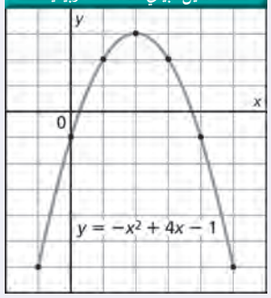
$$y = ax^2 + bx + c$$

حيث $a \neq 0$

التمثيل البياني للعلاقة التربيعية يكون على صورة قطع مكافئ، ويعتمد اتجاه فتحة هذا القطع على معامل مربع المتغير المستقل (a)، إذا كان موجبًا أو سالبًا.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة $y = -x^2 + 4x - 1$

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية

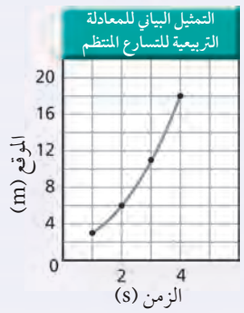


الأزواج المرتبة	
x	y
−1	−6
0	−1
1	2
2	3
3	2
4	−1
5	−6

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء عندما يكون منحنى (الموقع – الزمن) على شكل المنحنى البياني للمعادلة التربيعية فهذا يعني أن الجسم يتحرك بتسارع منتظم.

الأزواج المرتبة	
الزمن (s)	الموقع (m)
1	3
2	6
3	11
4	18

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية للتسارع المنتظم



V. علم الهندسة والمثلثات (Geometry and Trigonometry)

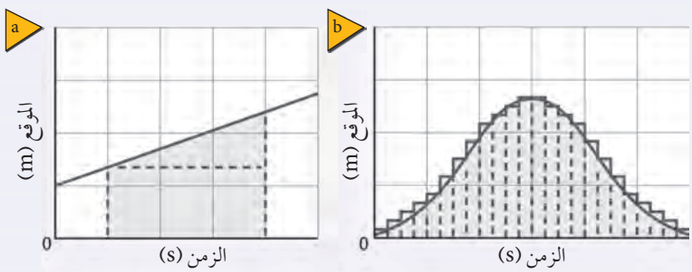
المحيط (Perimeter)، والمساحة (Area)، والحجم (Volume)

	المحيط وحدات خطية	المساحة وحدات مربعة	مساحة السطح وحدات مربعة	الحجم وحدات مكعبة
المربع الضلع a	$P = 4a$	$A = a^2$		
المستطيل الطول l العرض w	$P = 2l + 2w$	$A = lw$		
المثلث القاعدة b الارتفاع h		$A = (\frac{1}{2})\, bh$		
المكعب الضلع a			$SA = 6a^2$	$V = a^3$
الدائرة نصف القطر r	$C = 2\pi r$	$A = \pi r^2$		
الأسطوانة نصف القطر r الارتفاع h			$SA = 2\pi rh + 2\pi r^2$	$V = \pi r^2 h$
الكرة نصف القطر r			$SA = 4\pi r^2$	$V = (\frac{4}{3})\pi r^3$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء ابحث في مسائل الفيزياء التي درستها عن أشكال هندسية، يمكن أن تكون ثلاثية الأبعاد أو ذات بعدين. ويمكن أن تمثل الأشكال ذات البعدين السرعة المتجهة أو متجهات الموقع.

المساحة تحت المنحنى البياني Area Under a Graph

لحساب المساحة التقريبية الواقعة تحت المنحنى البياني، قسم المساحة إلى عدة أجزاء أصغر، ثم أوجد مساحة كل جزء مستعملًا الصيغ الرياضية في الجدول السابق. لإيجاد المساحة التقريبية الواقعة تحت الخط البياني، قسم المساحة إلى مستطيل ومثلث، كما هو موضح في الشكل a. ولإيجاد المساحة تحت المنحنى ارسم عدة مستطيلات من المحور السيني كما في الشكل b. إن رسم مستطيلات أكثر ذات قاعدة أصغر تمنحنا دقة أكثر في حساب المساحة المطلوبة.



المساحة الإجمالية تساوي
المساحة1 + المساحة 2 + المساحة 3 + ...

المساحة الإجمالية تساوي
مساحة المستطيل + مساحة المثلث

VI. اللوغاريتميات Logarithms

اللوغاريتميات للأساس b

افترض أن b و x عددان موجبان، بحيث $b \neq 1$. فإن لوغاريتم x للأساس b يكتب في صورة $(\log_b x)$ ويساوي y، حيث تمثل y الأس الذي يجعل المعادلة $x = b^y$ صحيحة. إن لوغاريتم x للأساس b يساوي العدد الأسي (y) الذي ترفع إليه العدد b للحصول على x.

$\log_b x = y$ إذا وفقط إذا $b^y = x$

مثال: أوجد ناتج كل من اللوغاريتمات التالية:

لأن $2^{-4} = \frac{1}{16}$ $\log_2 \frac{1}{16} = -4$

لأن $10^3 = 1000$ $\log_{10} 1000 = 3$

الوحدات الأساسية SI		
الكمية	الاسم	الرمز
الطول	meter	m
الكتلة	kilogram	kg
الزمن	second	s
درجة الحرارة	kelvin	K
مقدار المادة	mole	mol
التيار الكهربائي	ampere	A
شدة الإضاءة	candela	cd

وحدات SI المشتقة				
القياس	الوحدة	الرمز	معبرة بالوحدات الأساسية	معبرة بوحدات SI أخرى
التسارع		m/s^2	m/s^2	
المساحة		m^2	m^2	
الكثافة		kg/m^3	kg/m^3	
الشغل، الطاقة	joul	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	bascal	Pa	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	$1kg = 6.02 \times 10^{26}$ u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz ↔ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg ↔ 2.21 lb	$1ev = 1.60 \times 10^{-19}$ J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1kwh = 3.60 MJ
$1 m^3 = 264$ gal	1 atm = 14.7 lb/in^2	1 hp = 746 W
	$1atm = 1.01 \times 10^5 N/m^2$	$1 mol = 6.022 \times 10^{23}$

الجداول

ثوابت فيزيائية			
الكمية	الرمز	المقدار	القيمة التقريبية
وحدة كتلة الذرة	u	$1.66053886\times 10^{-27}$ kg	1.66×10^{-27} kg
عدد أفوجادرو	N_A	6.0221415×10^{23} mol^{-1}	6.022×10^{23} mol^{-1}
ثابت بولتزمان	k	1.3806505×10^{-23} $Pa.m^3/K$	1.38×10^{-23} $Pa.m^3/K$
ثابت الغاز	R	8.314472 $Pa.m^3/mol.K$	8.31 $Pa.m^3/mol.K$
ثابت الجاذبية	G	6.6742×10^{-11} $N.m^2/kg^2$	6.67×10^{-11} $N.m^2/kg^2$

البادئات		
الدلالة العلمية	الرمز	البادئة
10^{-15}	f	femto
10^{-12}	p	baico
10^{-9}	n	nano
10^{-6}	μ	micro
10^{-3}	m	mile
10^{-2}	c	cm
10^{-1}	d	disa
10^{1}	da	dica
10^{2}	h	hecto
10^{3}	k	kilo
10^{6}	M	mega
10^{9}	G	giga
10^{12}	T	terra
10^{15}	P	beta

الجداول

كثافة بعض المواد الشائعة	
المادة	الكثافة (g/cm^3)
ألومنيوم	2.702
كادميوم	8.642
نحاس	8.92
جرمانيوم	5.35
ذهب	19.31
هيدروجين	8.99×10^{-5}
إنديوم	7.30
حديد	7.86
رصاص	11.34
زئبق	13.546
أكسجين	1.429×10^{-3}
سليكون	2.33
فضة	10.5
ماء (4 C°)	1.000
خارصين	7.14

درجات الانصهار والغليان لبعض المواد		
المادة	درجة الانصهار (c°)	درجة الغليان (c°)
ألومنيوم	660.37	2467
نحاس	1083	2567
جرمانيوم	937.4	2830
ذهب	1064.43	2808
إنديوم	156.61	2080
حديد	1535	2750
رصاص	327.5	1740
سيليكون	1410	2355
فضة	961.93	2212
ماء	0.000	100.000
خارصين	419.58	907

السعة الحرارية النوعية لبعض المواد الشائعة			
	الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)
ألومنيوم	897	رصاص	130
نحاس أصفر	376	ميثانول	2450
كربون	710	فضة	235
نحاس	385	بخار	2020
زجاج	840	ماء	4180
جليد	2060	خارصين	388
حديد	450		

الحرارة الكامنة للانصهار وحرارة التبخر لبعض المواد الشائعة		
المادة	حرارة الانصهار (J/kg)	حرارة التبخر(J/kg)
نحاس	2.05×10^5	5.07×10^6
ذهب	6.30×10^4	1.64×10^6
حديد	2.66×10^5	6.29×10^6
رصاص	2.04×10^4	8.64×10^5
زئبق	1.15×10^4	2.72×10^5
ميثانول	1.09×10^5	8.78×10^5
فضة	1.04×10^5	2.36×10^6
ماء (جليد)	3.34×10^5	2.26×10^6

الجداول

الأطوال الموجية للضوء المرئي	
الطول الموجي (nm) بالنانومتر	اللون
430–380	الضوء البنفسجي
450–430	الضوء النيلي
500–450	الضوء الأزرق
520–500	الضوء الأزرق الداكن
565–520	الضوء الأخضر
590–565	الضوء الأصفر
625–590	الضوء البرتقالي
740–625	الضوء الأحمر

الكتلة الذرية لبعض العناصر	
العنصر	الكتلة الذرية g/mol
نحاس	63.54
فضة	107.87
ذهب	196.97
ألومنيوم	26.98
رصاص	207.2
سيليكون	28.09

سرعة الصوت في أوساط مختلفة	
الوسط	m/s
هواء (0°)	331
هواء (20°)	343
هيليوم (0°)	972
هيدروجين (0°)	1286
ماء (25°)	1493
ماء البحر (0°)	1533
مطاط	1600
نحاس (25°)	3560
حديد (25°)	5130
زجاج التنور	5640
ألماس	12000

الفصل الأول

1. $(2.3\ \text{ev})\ (1.60 \times 10^{-19}\ \text{J}/1\ \text{eV}) = 3.7 \times -19\ \text{J}$

4. $KE = -q\,V_0$

$= -\ (-1.60 \times 10{-}19\ \text{C})\ (3.2\ \text{J/C})$

$= 5.1 \times 10^{-19}\ \text{J}$

6. $KE_{\text{عظمى}} = 1240\ \text{eV nm}/\lambda - hf_0$

$= \dfrac{1240\ \text{eV .nm}}{425\ \text{nm}} - 1.96\ \text{eV}$

$= 0.960\ \text{eV}$

7. $hf_0 = 4.50\ \text{eV, so}\ \dfrac{hc}{\lambda_0} = 4.50\ \text{eV}$

لذا $\lambda_0 = \dfrac{1240\ \text{eV .nm}}{4.50\ \text{eV}}$

$= 267\ \text{nm}$

8.a $\lambda = \dfrac{h}{mv}$

$= \dfrac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{J .s}}{(7.0\ \text{kg})\ (8.5\ \text{m/s})}$

$= 1.1 \times 10^{-35}\ \text{m}$

b. الطول الموجي صغير جدًا فلا يمكن الملاحظة

19. $\lambda = \dfrac{h}{p}$

$so\ p = \dfrac{h}{\lambda}$

$KE = \dfrac{1}{2}\,mv^2$

$= \dfrac{\text{p}^2}{2m}$

$= \dfrac{(\frac{h}{\lambda})^2}{2m}$

$= \dfrac{(\frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{J .s}}{0.125 \times 10^{-9}\ \text{m}})}{2(9.11 \times 10^{-31}\ \text{kg})}$

$= (1.544 \times 10^{-17}\ \text{J})\ (\dfrac{1\ \text{eV}}{1.60 \times 10^{-19}\ \text{J}})$

$= 96.5\ \text{eV}$

لذا ستتسارع خلال 96.5 V

الفصل الثاني

2. $\dfrac{\text{x}}{0.075\ \text{m}} = \dfrac{5 \times 10^{-11}\ \text{m}}{2.5 \times 10^{-15}\ \text{m}}$

$\text{x} = 2 \times 10^3\ \text{m}$

3.a $\Delta E = 8.82\ \text{eV} - 6.67\ \text{eV}$

$= 2.15\ \text{eV}$

b. $\lambda = hc/\Delta E$

$= \dfrac{(6.63 \times 10^{-34}\ \text{J .s})\ (3.00 \times 10^8\ \text{m/s})}{(2.15\ \text{eV})\ (1.60 \times 10^{-19}\ \text{J/eV})}$

$= 5.78 \times 10^{-7}\ \text{m}$

$= 578\ \text{nm}$

الفصل الثالث

1. نيوترون $= \text{A} - \text{Z}$

نيوترون $234 - 92 = 142$

نيوترون $235 - 92 = 143$

نيوترون $238 - 92 = 146$

3. نيوترون $\text{A} - \text{Z} = 200 - 80 = 120$

4.a $12.000000 - 6(1.007825) - 6(1.008665)$

$= -\ 0.09840\ \text{u}$

b. $E = (-0.098940\ \text{u})\ (931.49\ \text{MeV/u})$

$= -92.161\ \text{MeV}$

6.a $15.010109 - 7\ (1.007825) - 8(1.008665)$

$= -0.113986\ \text{u}$

b. $E = (-0.113986\text{u})\ (931.49\ \text{MeV/u})$

$= 106.18\ \text{MeV}$

14. ${}^{234}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{230}_{90}\text{Th} + {}^{4}_{2}\text{He}$

19.a ${}^{210}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^{210}_{84}\text{Po} + {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$

b. ${}^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{234}_{91}\text{Pa} + {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$

c. ${}^{239}_{93}\text{Np} \rightarrow {}^{239}_{94}\text{Pu} + {}^{0}_{-1}\text{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$

26. **a.** $E = mc^2$

$= (1.67 \times 10^{-27}\,kg)\,(3.00 \times 10^{8}\,m/s)^2$

$= 1.50 \times 10^{-10}\,J$

b. $E = \dfrac{1.50 \times 10^{-10}\,J}{1.60217 \times 10^{-19}\,J/eV}$

$= 9.36 \times 10^{8}\,eV$

$= 936\,MeV$

c. الطاقة الأصغر $= (2)\,(9.36 \times 10^{8}\,eV)$

$= 1.86 \times 109\,eV$

28. **a.** $E = (1.008655\,u)\,(931.49\,MeV)$

$= 939.56\,MeV$

b. الطاقة الكلية التي يمكن أن تؤدي إلى تكون الطاقة الكلية لأشعة جاما ضعفي الطاقة المكافئة لكتلة النيوترون أو 1879.1 MeV

أ

انبعاث ألفا Alpha Decay عملية اضمحلال إشعاعي ينبعث فيها جسيم ألفا من النواة.

انبعاث بيتا Beta Decay عملية اضمحلال إشعاعي يتحول فيها نيوترون إلى بروتون يبقى في النواة وجسيم بيتا وأنتي نيوترينو.

انبعاث جاما Gamma Decay عملية اضمحلال إشعاعي يتم فيها إعادة توزيع الطاقة داخل النواة، لكن دون تغير في العدد الكتلي أو مقدار الشحنة.

اقتران الشغل Work Function الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون الأضعف ارتباطًا بالذرة.

الانبعاث المستثار Stimulated Emission عملية تحدث عندما يصطدم فوتون طاقته تساوي الفرق بين طاقتي مستوى الإثارة وطاقة مستوى الاستقرار بذرة مثارة، فتعود الذرة الى حالة الاستقرار، وينبعث فوتون طاقته تساوي الفرق بين طاقتي المستويين.

إنتاج الزوج Pair Production تحوّل الطاقة إلى جسيمات مزدوجة "مادة وضديد المادة".

الاندماج النووي Fusion عملية يتم فيهااندماج أنوية صغيرة لإنتاج نواة أكبر وتحرير طاقة.

الانشطار النووي Fission العملية التي تنقسم فيها النواة إلى نواتين أو أكثر و نيوترونات وطاقة.

ت

التأثير الكهروضوئي Photoelectric Effect انبعاث إلكترونات من سطوح الفلزات عند سقوط إشعاع كهرومغناطيسي مناسب عليها.

تأثير كومبتون Compton Effect الإزاحة في طاقة الفوتونات المشتتة.

تردد العتبة Threshold Frequency أقل تردد للأشعة الساقطة يمكنها تحرير الكترونات من العنصر.

التفاعل المتسلسل Chain Reaction عملية مستمرة ومتكررة من تفاعلات الانشطار سببها تحرير نيوترونات من تفاعل الانشطارالأول.

التفاعل النووي Nuclear Reaction عملية تحدث عندما يتغير عدد النيوترونات أو عدد البروتونات في النواة. وقد تحدث عندما تقذف النواة بأشعة جاما، أو بروتونات، أو نيوترونات، أوجسيمات الفا ، أو إلكترونات.

ج

جسيمات ألفا Alpha Particles جسيمات موجبة الشحنة وثقيلة، وتتحرك بسرعات عالية، ويرمز لها بالرمز α.

ح

حالة الإثارة Excited State أي مستوى طاقة للذرة أعلى من مستوى الاستقرار.

حالة الاستقرار Ground State حالة الذرة عندما تمتلك أقل مقدارمسموح به من الطاقة.

حاملات القوة Force Carriers جسيمات تنقل أو تحمل القوى في المادة.

س

السحابة الإلكترونية Electron Cloud المنطقة ذات الاحتمالية العالية لوجود الإلكترون فيها.

المصطلحات

ض

الضوء المترابط Coherent Light ضوء من مصدرين أو أكثر، يولد موجة ذات مقدمات منتظمة. أو موجات ضوء تكون متطابقة عند القمم والقيعان.

الضوء غير المترابط Incoherent Light ضوء بمقدمات موجية غير متزامنة تضيء الأجسام بضوء أبيض منتظم. أو هو ضوء يتكون من موجات مختلفة في الطور، قممها وقيعانها غير متوافقة.

ط

طاقة الربط النووية Binding Energy الطاقة المكافئة لنقص كتلة النواة، وهي دائما سالبة.

طول موجة دي برولي De Broglie Wavelength طول الموجة الملازمة للجسم أو الجسيم المتحرك.

طيف الامتصاص Absorption Spectrum مجموعة مميزة من الاطوال الموجية، تنتج عند امتصاص الغاز جزء من الطيف، وتستخدم للتعرف على نوع الغاز.

طيف انبعاث Emission Spectrum ضوء ينبعث من الأجسام الساخنة والمتوهجة في نطاق محدد من الترددات.

ع

العدد الذري Atomic Number عدد البروتونات في نواة العنصر.

العدد الكتلي Mass Number عدد البروتونات والنيوترونات داخل نواة العنصر.

عدد الكم الرئيس Principal Quantum Number العدد الصحيح n الذي يحدد القيم المكماة لنصف القطر أو الطاقة لمستوى (مدار) الالكترون _ يتضاعف نصف القطر عندما يتضاعف مربع n بينما تعتمد الطاقة على مقلوب n^2 .

عمر النصف Half – Life الفترة الزمنية اللازمة لاضمحلال نصف أي كمية معطاة من ذرات نظير عنصر مشع.

ف

الفوتون Photon حزمة مكماة منفصلة من الإشعاع الكهرومغناطيسي، ليس له كتلة سكونية، ويتحرك بسرعة الضوء، وله طاقة وكمية تحرك.

ق

القوة النووية الضعيفة Weak Nuclear Force قوة ضعيفة داخل النواة تؤثر في انبعاث بيتا.

القوة النووية القوية Strong Nuclear Force قوة كبيرة جدًا تربط مكونات النواة، وهي نفس القوة بين البروتونات والبروتونات، أو بين البروتونات والنيوترونات، أو بين النيوترونات والنيوترونات.

ك

الكواركات Quarks جسيمات صغيرة تكوّن البروتونات والنيوترونات والبيونات.

ل

الليبتونات Leptons مجموعة من الجسيمات تكوّن الالكترونات والنيوترينات.

ليزر Laser ضوء موحد مترابط متفق في الطور يستخدم لإثارة ذرات أخرى، وينتج عن طريق الإنبعاث المحفز بالإشعاع.

م

مبدأ عدم التحديد Uncertainty Principle ينص على أنه لا يمكن تحديد موقع جسيم وزخمه بدقة عالية، في اللحظة نفسها.

مستوى الطاقة Energy Level كمات محددة من الطاقة توجد في كل مستوى للذرة.

مكمّاة Quantized الطاقة الموجودة في حزمة محددة.

المواد المشعة Radioactive المواد التي تنبعث منها إشعاعات تلقائيًا، وهذه الإشعاعات لها قدرة على النفاذ.

ميكانيكا الكم Quantum Mechanics دراسة خصائص المادة باستخدام خصائصها الموجية.

ن

النشاطية Activity معدل الاضمحلال، أو عدد إنحلالات المادة المشعة كل ثانية.

نقص الكتلة Mass Defect الفرق بين مجموع كتل مكونات النواة منفردة، والكتلة الفعلية لها.

النموذج الكمي Quantum Model نموذج يتوقع احتمالية وجود الإلكترون في منطقة محددة فقط.

النموذج المعياري Standard Model نموذج بناء وحدات المادة، تتوزع فيه الجزيئات على ثلاث عائلات هي الكواركات، واللبتونات، وحاملات القوة.

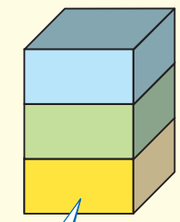
النويدة (نواة النظير) Nuclide جزء صغير جدًا في مركز الذرة، موجب الشحنة، وتتركز فيه معظم كتلة الذرة.

النيوكليونات Nucleons مسمى يطلق على البروتونات والنيوترونات.

و

وحدة الكتل الذرية Atomic Mass Unit وحدة كتلة u ،وتعرف بأنها $\frac{1}{12}$ كتلة نظير الكربون ${}^{12}_{6}C$ حيث u تساوي 1.66×10^{-27} kg

الجدول الدوري للعناصر



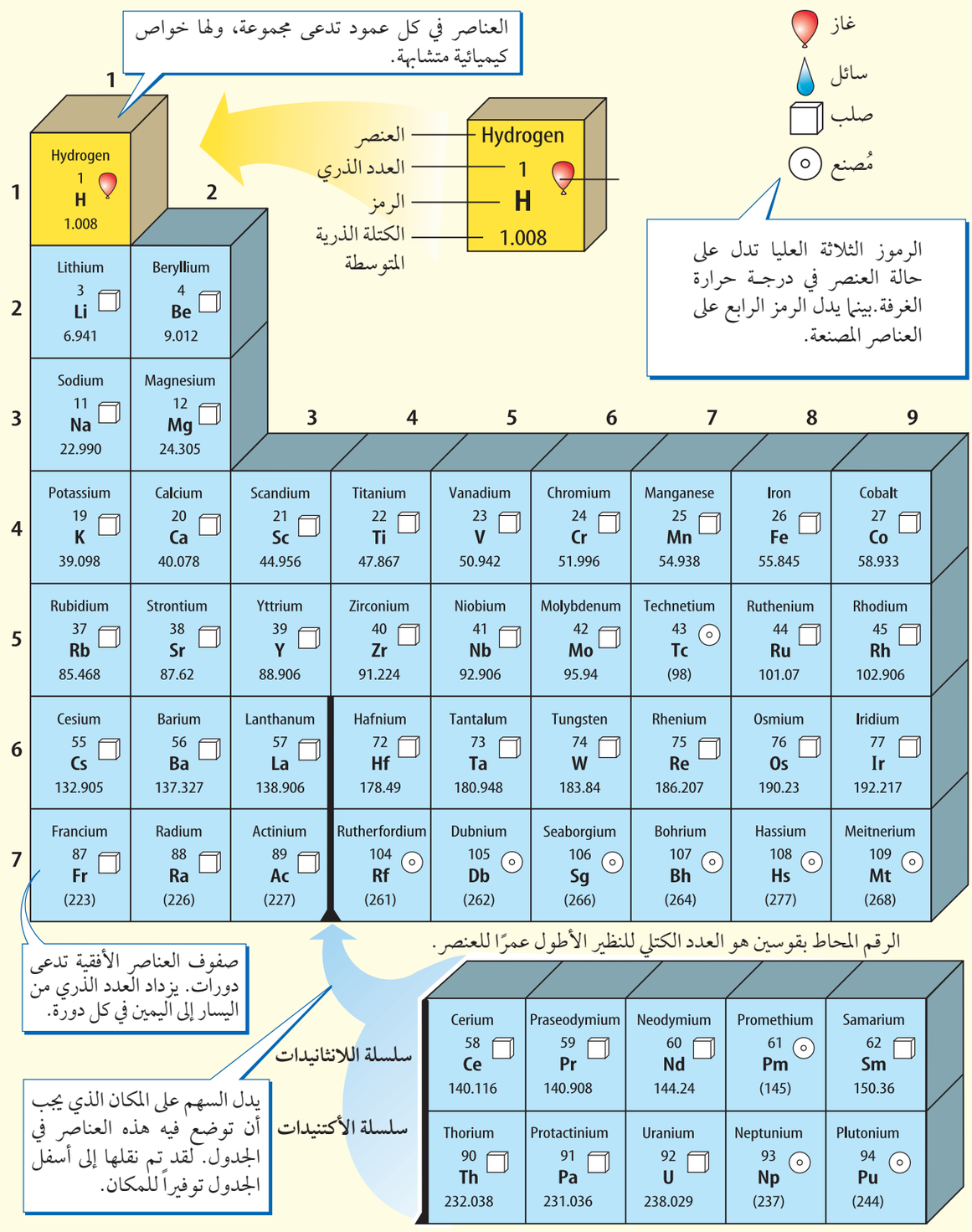
يدل لون صندوق كل عنصر على كونه فلزًّا أو شبه فلز أو لافلز.

10	11	12	13	14	15	16	17	18
								Helium 2 He 4.003
			Boron 5 B 10.811	Carbon 6 C 12.011	Nitrogen 7 N 14.007	Oxygen 8 O 15.999	Fluorine 9 F 18.998	Neon 10 Ne 20.180
			Aluminum 13 Al 26.982	Silicon 14 Si 28.086	Phosphorus 15 P 30.974	Sulfur 16 S 32.065	Chlorine 17 Cl 35.453	Argon 18 Ar 39.948
Nickel 28 Ni 58.693	Copper 29 Cu 63.546	Zinc 30 Zn 65.409	Gallium 31 Ga 69.723	Germanium 32 Ge 72.64	Arsenic 33 As 74.922	Selenium 34 Se 78.96	Bromine 35 Br 79.904	Krypton 36 Kr 83.798
Palladium 46 Pd 106.42	Silver 47 Ag 107.868	Cadmium 48 Cd 112.411	Indium 49 In 114.818	Tin 50 Sn 118.710	Antimony 51 Sb 121.760	Tellurium 52 Te 127.60	Iodine 53 I 126.904	Xenon 54 Xe 131.293
Platinum 78 Pt 195.078	Gold 79 Au 196.967	Mercury 80 Hg 200.59	Thallium 81 Tl 204.383	Lead 82 Pb 207.2	Bismuth 83 Bi 208.980	Polonium 84 Po (209)	Astatine 85 At (210)	Radon 86 Rn (222)
Darmstadtium 110 Ds (281)	* Unununium 111 Uuu (272)	* Ununbium 112 Uub (285)		* Ununquadium 114 Uuq (289)		** 116		** 118

* أسماء رموز العناصر 111 إلى 114 مؤقتة، وسيتم اختيار أسماء نهائية لها عند التأكد من اكتشافها.

** كان يظن أن العنصرين 116و 118 قد تم تكوينهما، ولكن تم التراجع عن ذلك؛ لأنه لم يمكن إعادة التجارب المتعلقة بهما.

Europium 63 Eu 151.964	Gadolinium 64 Gd 157.25	Terbium 65 Tb 158.925	Dysprosium 66 Dy 162.500	Holmium 67 Ho 164.930	Erbium 68 Er 167.259	Thulium 69 Tm 168.934	Ytterbium 70 Yb 173.04	Lutetium 71 Lu 174.967
Americium 95 Am (243)	Curium 96 Cm (247)	Berkelium 97 Bk (247)	Californium 98 Cf (251)	Einsteinium 99 Es (252)	Fermium 100 Fm (257)	Mendelevium 101 Md (258)	Nobelium 102 No (259)	Lawrencium 103 Lr (262)


العناصر في كل عمود تدعى مجموعة، ولها خواص كيميائية متشابهة.
غاز
سائل
صلب
مُصنع
العنصر
العدد الذري
الرمز
الكتلة الذرية المتوسطة
Hydrogen
1
H
1.008
الرموز الثلاثة العليا تدل على حالة العنصر في درجة حرارة الغرفة.بينما يدل الرمز الرابع على العناصر المصنعة.
صفوف العناصر الأفقية تدعى دورات. يزداد العدد الذري من اليسار إلى اليمين في كل دورة.
الرقم المحاط بقوسين هو العدد الكتلي للنظير الأطول عمرًا للعنصر.
سلسلة اللانثانيدات
سلسلة الأكتنيدات
يدل السهم على المكان الذي يجب أن توضع فيه هذه العناصر في الجدول. لقد تم نقلها إلى أسفل الجدول توفيراً للمكان.