القسم 2

1 التَّركيز

الـفـكـرة الرئيسة

المَوجات والطَّاقات الكمِّيّة
أُرسُم دائِرةً تَتوَسَّطُها نُقطَة على السبورة واشرح للطلاب أنَّها إحدى طُرُقِ تمثيل المستوى الدَّائِرِيّ للإلِكترُون حَولَ نَواةِ الذّرّة. ثُمّ، إشرَح لهم أنَّ الجُسَيمات التي تَتَحرَّكُ، مِثل الإلِكترُونات، لها خَصائِصُ شَبيهَةٌ بالمَوجَةِ. اطلب من ثُلاثةِ طُلّابٍ التوجّه إلى السبورةِ، لِتقسِيمِ الدائرة إلى ثَلاثَةِ ثُمّ أربعَة، ثُمّ خَمسَةِ أجزَاءَ مُتساوِيَة، بالتَّتالي، ولرسم العَدَدِ نفسه مِن الموجات المُستَقِرَّة على الدائرة. يَجِبُ أن تكون الموجات المُستَقِرَّة شَبيهةً بتلك الظاهرة في الشَّكل 13c. إسألهُم أن يحددوا نمط المَوجَةِ الذي يُمَثِّلُ أقصَرَ طُولٍ للمَوجَةِ وأعلى تَردُّدٍ والذي له أكبَرَ مقدار مِنَ الطَّاقَةِ. النَّمَطَ الذي يَحتَوي على خَمسَة أطوال مَوجِيَّةٍ كَامِلَة. أشِر الى أنّهُ عندما يَقتَصِرُ الإلِكترُون الشَّبيه بِحَرَكةِ المَوجَةِ عَلى مستوى دَائِرِيٍّ لهُ نصف قُطرٍ ثَابِتٍ، فإن أطوالًا موجية وترددات ومقادير من الطاقة معيّنة تكون الأكثر ترجيحًا. ض م ق م

2 التّدريس

تعلّم بصري

الجَدوَل 1 أُطلُب إلى الطُّلّابِ

تفحّص عمود الطَّاقَةِ النِّسبِيَّةِ في الجدول وتَحدِيدِ قَاعِدَةِ بُورْ مَعَ رَبطِ الطَّاقَةِ النِّسبِيَّةِ لِذَرَّةِ الهيدرُوجين مع مستوى بُورْ الذَّرِّي للإلكترُون (n). $E_n = n^2E_1$ ض م

التدريس المتمايز

الطلاب ذوو الصعوبات اعرض اِنتِقَالاَت الإلِكترُون المُرتَبِطَة بتغيّرات مُستَوى الطَّاقَة. أخبِر الطُّلاَّبَ أنَّ كِتَابًا عَلى الأرض يُمَثِّلُ الإلِكترُونَ في مستويات الذَّرَّةِ الأقَلَّ طَاقَةٍ. اِرفَع الكِتابَ إلى مُستَوى أعلى مِنَ الطَّاقَةِ (الكرسي). إسألهُم ما إذَا كانَت الطَّاقةُ لازِمَة. نَعَم إسأل عَمَّا يَحدُثُ عِندَما يَعُودُ الكِتابُ إلى الأرضِ. تنطلق الطّاقةُ. اِشرَح التَّشبِيه بَينَ مُستَوَيات الطَّاقَةِ للكِتابِ وانتِقَالاتِ الإلِكترُونِ بَينَ مستويات الذرة. أشِر إلى أنَّ الطَّاقَةَ اللاَّزِمَةَ لِرفعِ إلِكترُونٍ إلى مستوى طاقة أعلَى هي تَمامًا كالطَّاقَة التي تنطلق عند عودة الإلِكترُون إلى مداره الأصلي. أ م

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 2

نظرية الكم والذرَّة

الفكرة الرئيسة تساعد الخصائص الموجية للإلكترونات على الربط بين طيف الانبعاث الذري وطاقة الذرة ومستويات الطاقة.

الأسئلة الرئيسة

- كيف يمكن المقارنة بين نموذج بور ونموذج ميكانيكا الكم للذرَّة؟
- ما تأثير الطبيعة المزدوجة (موجة – جسيم) لدي دي بروغلي ومبدأ الشك لهايزنبرج على النظرة الحالية الخاصة بالإلكترونات في الذرَّة؟
- ما العلاقة بين مستويات الطاقة لذرَّة الهيدروجين ومستوياتها الفرعية والأفلاك الذرية؟

مفردات للمراجعة

الذرَّة (atom): أصغر جزء في العنصر يحتفظ بجميع خصائص العنصر ويتكون من إلكترونات وبروتونات ونيوترونات.

مفردات جديدة

الحالة الأرضية (ground state)
رقم الكم (Quantum number)
معادلة دي بروغلي (De Broglie equation)
مبدأ الشك لهايزنبرج (Heisenberg uncertainty principle)
النموذج الميكانيكي الكمي للذرة (Quantum mechanical model of the atom)
الفلك الذري (atomic orbital)
رقم الكم الرئيس (Principle quantum number)
مستوى الطاقة الرئيس (Principe Energy level)
مستوى الطاقة الفرعي (Energy of the sublevel)

الكيمياء في حياتك

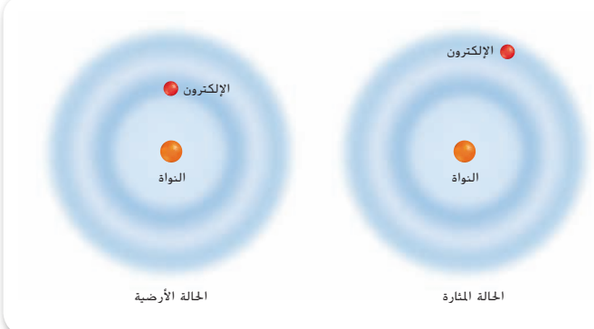
تخيل أنك تتسلق سلمًا وتحاول الوقوف بين الدرجات. لن تنجح بالطبع إلا إذا كان بمقدروك الوقوف على الهواء. حين تكون الذرات في حالات طاقة مختلفة، تتصرف الإلكترونات بنفس الطريقة التي يتصرف بها الشخص الذي يصعد درجات السلم الخشبي.

نموذج بور للذرة

فسر النموذج المزدوج موجة – جسيم الخاص بالضوء عدة ظواهر لم يكن من الممكن تفسيرها من قبل، ولكن لا يزال العلماء لا يفهمون العلاقات بين البنية الذرية والإلكترونات وطيف الانبعاث الذري. تذكر أن طيف انبعاث الهيدروجين منفصل، أي أنه يتكون فقط من ترددات ضوئية محددة. ما السبب الذي يجعل طيف الانبعاث الذري للعناصر منفصلًا بدلًا من أن يكون متصلًا؟ اقترح عالم الفيزياء الدنماركي نيلز بور، الذي كان يعمل في مختبر رذرفورد عام 1913، نموذجًا كميًا لذرة الهيدروجين يبدو أنه يجيب على هذا السؤال. كما تنبأ نموذج بور أيضًا بشكل صحيح بترددات الخطوط الموجودة في طيف الانبعاث الذري للهيدروجين.

حالات الطاقة لذرة الهيدروجين: بناء على تصورات بلانك وأينشتاين للطاقة الكميّة، اقترح بور أن ذرة الهيدروجين لها حالات طاقة محددة مسموح بها. أقل حالة طاقة مسموح بها للذرة تسمى **الحالة الأرضية**. حين تكتسب الذرَّة الطاقة، يقال أنها في حالة مستثارة.

ربط بور أيضًا حالات الطاقة لذرة الهيدروجين بالإلكترون داخل الذرَّة. وقد اقترح أن الإلكترون في ذرَّة الهيدروجين يتحرك حول النواة في مدارات دائرية محددة مسموح بها فقط. كلما صغر مدار الإلكترون، كلما كانت حالة الطاقة للذرَّة أو مستوى الطاقة أقل. وعلى العكس، كلما ازداد حجم مدار الإلكترون، كلما كانت حالة الطاقة للذرَّة أو مستوى الطاقة أعلى. ومن ثم، يمكن أن يكون لذرَّة الهيدروجين عدة حالات مستثارة على الرغم من أنها تحتوي على إلكترون واحد فقط. تتضح فكرة بور في الشكل 10.



الشكل 10 يوضح الشكل ذرّة لها إلكترون واحد لاحظ أن الرسم التوضيحي ليس مطابقًا لمقياس رسم. في حالته الأرضية(المستقرة). يوجد الإلكترون بأقل مستوى للطاقة. حين تكون الذرّة في حالة مستثارة، يوجد الإلكترون بمستوى طاقة أعلى.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

Sci_Gr09_Gen_Core_TE_CH12.indb 336 1/30/2017 2:03:00 PM

التقويم

التَّطبيق أُطلُب إلى الطُّلاَّبِ إعدادَ نُسخة مُكبَّرة من مستويات بُور لذرَّة الهيدروجين (كما هو مبيّن في الشّكل 11) على ورق مقوّى. أُطلُب إليهم وَضعَ عُملةٍ مَعدِنيَّةٍ في أصغَرِ مَدارٍ لتمثيل مدى الإشغال المُتَعلِّقِ بأدنى حالَةٍ لِطاقَةِ الهيدروجين. ثُمَّ، أُطلُب إليهم نَقلَ العُملَةِ بينَ المستويات المُناسِبَةِ لِمُحاكاةِ التنقل بين المستويات والخطوط الطَّيفيَّةِ اللاحقة في طيْف الانبعاث الذَّرّي للهيدروجين: بنَفسجي (2→6)، وأزرق بنفسجي (2→5)، وأزرق مائل إلى الخضرة (2→4)، وأحمَر (2→3). ض م

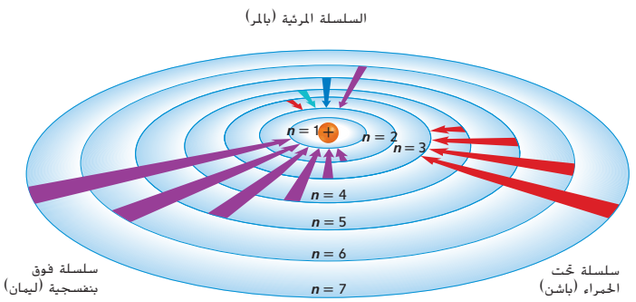
الجدول 1 وصف بور لذرَّة الهيدروجين

المدار الذرّي لبور	رقم الكم	نصف قطر المدار (nm)	مستوى الطاقة الذري المتوافق	الطاقة النسبية
الأول	$n = 1$	0.0529	1	E_1
الثاني	$n = 2$	0.212	2	$E_2 = 4E_1$
الثالث	$n = 3$	0.476	3	$E_3 = 9E_1$
الرابع	$n = 4$	0.846	4	$E_4 = 16E_1$
الخامس	$n = 5$	1.32	5	$E_5 = 25E_1$
السادس	$n = 6$	1.90	6	$E_6 = 36E_1$
السابع	$n = 7$	2.59	7	$E_7 = 49E_1$

وحتى يكمل حساباته،حدد بور عددًا، n، يسمى **رقم الكم** لكل مدار. كما قام أيضًا بحساب نصف قطر كل مدار. بالنسبة للمدار الأول، أقرب المدارات للنواة، $n = 1$ وقطر المدار 0.0529 nm، بالنسبة للمدار الثاني، $n = 2$ ونصف قطر المدار هو 0.212 nm، وما إلى ذلك. يوضح الجدول 1.مزيداً من المعلومات حول وصف بور لمدارات ذرة الهيدروجين المسموح بها ومستويات الطاقة.

طيف الانبعاث الخطي لذرة الهيدروجين: اقترح بور أن ذرَّة الهيدروجين توجد في الحالة الأرضية، وتسمى أيضًا مستوى الطاقة الأول، حين يكون الإلكترون الوحيد لها في مستوى الطاقة $n = 1$ في الحالة الدنيا لا تنبعث أي طاقة من الذرَّة. حين تضاف الطاقة من مصدر خارجي، ينتقل الإلكترون لمستوى طاقة أعلى، مثل مستوى الطاقة $n = 2$ الموضح في الشكل 11. انتقال الإلكترونات هذا يجعل الذرَّة في حالة مستثارة. حين تكون الذرة في حالة مستثارة، يمكن أن يسقط الإلكترون من المستوى ذو الطاقة الأعلى إلى مستوى طاقة أقل. نتيجة لهذا الانتقال، ينبعث من الذرة فوتون يتطابق مع الفرق في الطاقة بين المستويين.

$$\Delta E = E_{\text{مستوى الطاقة الأعلى}} - E_{\text{مستوى الطاقة الأدنى}} = E_{\text{فوتون}} = h\nu$$



الشكل 11 حين يسقط إلكترون من مستوى ذو طاقة أعلى إلى مستوى ذو طاقة أقل، ينبعث فوتون. تتوافق سلاسل الأشعة فوق البنفسجية (ليمان)، والمرئية (بالمر) وتحت الحمراء (باشن) مع سقوط الإلكترونات إلى $n = 1$، $n = 2$، و $n = 3$، على التوالي.

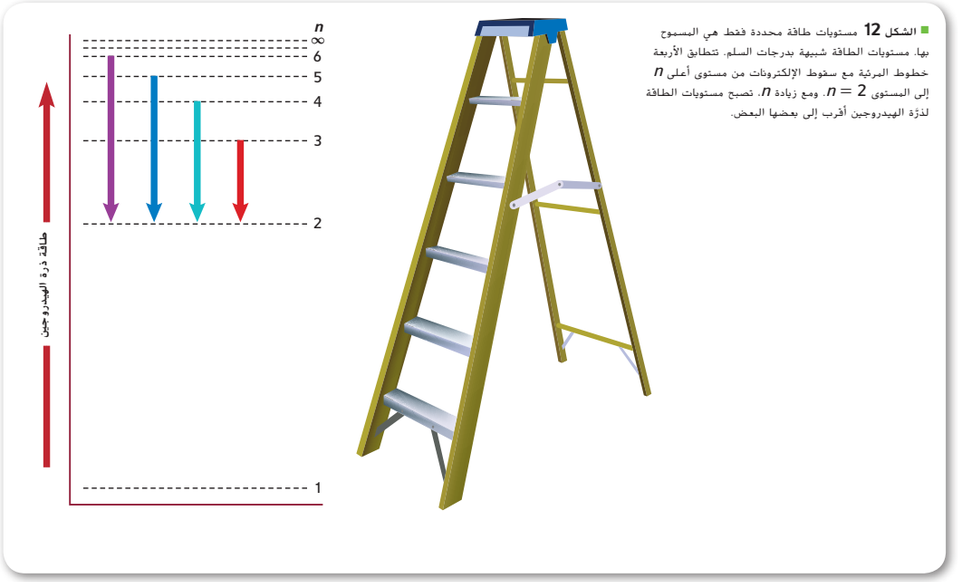
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

التعليم المتمايز

الطلاب المتقدمون اطلب إلى الطلاب المُتَقدِّمين فهمَ استِخدَام بُور لِقانُونِ نيُوتِنْ الثَّاني ($F = ma$)، وثابِتْ كُولوُمْ (K)، ونموذج بُورْ نَفسِهِ للزَّخم الزَّاوي الكمِّي لاستِخلاَصِ العَلاقَةِ $r_n = (h^2n^2)/(4\pi^2Kmq^2)$. ثُمَّ، أُطلُب إليهم استِخدامَ المُعادَلة لِحسابِ نِصفِ قُطرِ مستويات بُورْ الأربَعَة الأولى لِذَرَّة الهيدرُوجين. أ م

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

Sci_Gr09_Gen_Core_TE_CH12.indb 337 1/30/2017 2:03:00 PM



الشكل 12 مستويات طاقة محددة فقط هي المسموح بها. مستويات الطاقة شبيهة بدرجات السلم. تتطابق الأربعة خطوط المرئية مع سقوط الإلكترونات من مستوى أعلى n إلى المستوى $n = 2$. ومع زيادة n، تصبح مستويات الطاقة لذرّة الهيدروجين أقرب إلى بعضها البعض.

ونظرًا لأن حالات طاقة ذرية محددة فقط هي المحتملة، يمكن أن تنبعث ترددات بعينها للإشعاع الكهرومغناطيسي. يمكنك مقارنة حالات الطاقة الذرية للهيدروجين بدرجات السلم. يمكن للشخص تسلق السلم لأعلى أو لأسفل من درجة إلى درجة فقط. وبالمثل، يمكن لإلكترون ذرة الهيدروجين أن ينتقل فقط من مستوى واحد مسموح به لمستوى آخر. لذلك يمكن أن ينبعث منه كميات محددة من الطاقة تتطابق مع الفرق في الطاقة بين المستويين.

الشكل 12 يوضح أنه على عكس درجات السلم، فالمسافات بين مستويات الطاقة الذرية للهيدروجين غير متساوية. كما يوضح الشكل **12** أيضًا انتقال أربعة إلكترونات وهو ما يفسر الخطوط المرئية التي تظهر في طيف الانبعاث الذري للهيدروجين والموضحة في الشكل **8**. انتقال الإلكترون من مستوى ذو مستوى طاقة أعلى إلى المستوى الثاني يفسر وجود كل الخطوط المرئية للهيدروجين والتي تتكون منها سلسلة بالمر. تم قياس انتقالات الإلكترون الأخرى والتي لم تكن مرئية، مثل سلسلة ليمان (فوق البنفسجية) حيث يسقط الإلكترون إلى المستوى $n = 1$. وسلسلة باشان (تحت الحمراء) حيث يسقط الإلكترون إلى المستوى $n = 3$.

☑ التأكد من فهم النص **فسر** سبب تكون ألوان ضوئية مختلفة من سلوك الإلكترون في الذرّة.

قصور نموذج بور: شرح نموذج بور الخطوط الطيفية الملحوظة للهيدروجين. ومع ذلك فقد فشل النموذج في شرح طيف أي عنصر آخر. كما أن نموذج بور لم يفسر السلوك الكيميائي للذرات. في الواقع، على الرغم من أن فكرة بور بشأن مستويات الطاقة الكمية قد مهدت طرح فكرة النماذج الذرية فيما بعد، فقد أوضحت التجارب الأخيرة أن نموذج بور لم يكن صحيحًا في الأساس. فحركات الإلكترونات في الذرات غير مفهومة بشكل تام حتى الآن. ومع ذلك يشير الدليل الجوهري إلى أن الإلكترونات لا تتحرك حول النواة في مدارات دائرية.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

☑ **التّأكُّد مِن فَهمِ النَّصّ** عندمَا يَعودُ الإلِكترُون إلَى حَالةِ الإستِقرَارِ بَعدَ حالة الاستثارة، ينطلق مِنَ الذَّرَّةِ فُوتُون يَتَطابَقُ تَرَدُّدَه مَع فَرقِ الطَّاقَةِ بَينَ مُستوياتِ الطَّاقةِ الإثنَين. يرتبط كُلّ تَردُّدٍ بلون مُعَيَّنٍ.

تَطوير المَفاهِيم

يُساعِدُ التَّشبيه المذكور في رابط القراءة المُحاكي للواقع بين حالات طَاقَةِ الإلكترُون ودَرجاتِ السُّلَّمِ الطُّلَّابَ على فهمِ نَموذَج بُورْ ونَموذَج ميكانيك الكَمّ للذَّرّة. ذَكِّر الطُّلَّاب، مَع ذَلِكَ، بِأنّ هَذا التَّشبيهَ له حدوده. اِسأل الطُّلَّابَ عمَّا هُو صَحيح وما هو غير صَحِيح في ما يتعلق بالتشبيه القَائِمِ عَلى السُّلَّمِ. صحيح: لا تَحتَوي الذَّرَّةُ سِوَى عَلى بَعضِ حالاتِ أومُستَوَياتِ طَاقَةٍ مُعيَّنة مسمُوحٍ بِها. غيرَ صَحيح: إنَّ مستويات الطَّاقَةِ في الذرة ليست مُتباعِدَةٍ بِالتَّساوي كمَا هِي حَالُ الدَّرجَاتِ عَلى السُّلَّمِ. ض م أ م

عَرض تَوضيحي سَريع

تَنبيه: إرتدِ نظارة واقية وأجرِ هذا العَرضَ التَّوضِيحِي مُحتَمِيًا بِدرعٍ ضِدَّ الانفِجَار. لا تَسمَح للشَّوكاتِ بالتَّمَاس. لا تَسمَح لِأحَد بِأن يَقتَرِب مِنَ العَرضِ التَّوضِيحي أو بلمس أي جُزءٍ مِنَ الإعدَاد. ثَبِّت شوكتين في طَرفَيْ مُخَلِّلٍ الشبت أو الخيار. تأكّد مِن أنَّ الرَّابِطَ غَير مَوصُولٍ بِالقَابِسِ الكَهرَبائِي ثُمّ صِلْ أسلاكًا مُوصِلَة بِبَيَّار 110V بِالشَّوكَتان. صِل الرَّابِطَ بِالقَابِسِ الكَهرَبائِي. سَيُنتِجُ التيّار الكَهرَبائيّ تَوهُّجًا أصفَر في المُخَلِّل. إسأل الطُّلَّابَ ما قَد يُفَسِّرُ التَّوَهُّجَ الأصفَر. لقَد تَمَّ نقع المُخَلِّلِ في الماء المالح والتَّيَّارُ الكَهربَائِي يَستَثيرُ أيُونَاتِ الصُّوديُوم المَوجُودَةِ في المُخَلِّل. تُنتِجُ أيُونَات الصُّوديُوم المُستَثارَة طَيفَ الانبعاث الأصفَرِ للصُّوديُوم عندما تنخفض إلى مستويات طَاقَةٍ أقَلّ. إسمَح للطُّلَّاب باستِخدَامِ شَبكَاتِ الحُيودِ المَحمُولَةِ لِتَفَحُّصِ طَيفِ الانبعاث.

التدريس المتمايز

الطلاب ذوو الصعوبات أُطلُب إلى الطلاب ذوي الصعوبات اجراء بحث ثُمَّ شَرحَ مَعاني العَديدِ من المُصطَلَحاتِ الأَساسِيَّةِ لِهذا القِسم: الحَالة(مثل الحالةِ الأرضيةِ)، مبدأ الشك، ورئيس، ومُستَوى. أُطلُب إلى الطُّلَّابِ استِخدامَ كُلّ مُصطَلَحٍ في جُملةٍ أو فَقرَة. أ م

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

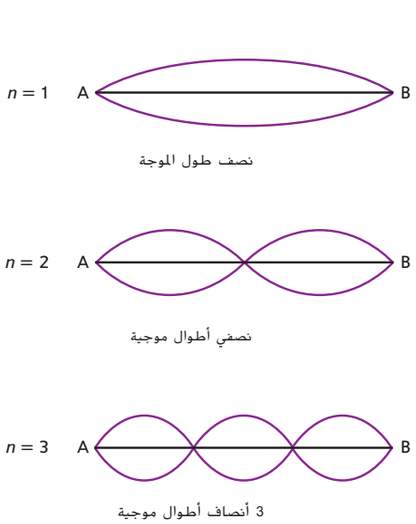
Sci_Gr09_Gen_Core_TE_CH12.indb 338 1/30/2017 2:03:01 PM

النموذج الميكانيكي الكمي للذرة

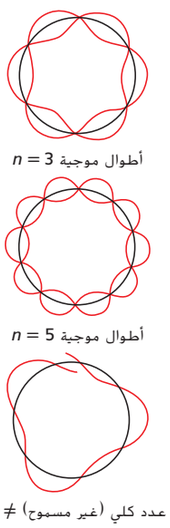
صاغ العلماء في منتصف عشرينيات القرن العشرين–الذين كانوا مقتنعين حينها بأن نموذج بور الذري كان خاطئًا–تفسيرات جديدة ومبتكرة حول كيفية ترتيب الإلكترونات في الذرات. عام 1924، اقترح طالب جامعي فرنسي تخرج في الفيزياء يدعى لويس دي بروغلي (1892-1987) فكرة استطاعت فيما بعد أن تفسر مستويات الطاقة الثابتة لنموذج بور.

الإلكترونات كموجات ظل دي بروغلي يفكر في أن مدارات الإلكترون الكمية لبور لها مواصفات شبيهة بمواصفات الموجات. على سبيل المثال، كما يتضح من **الشكلين 13أ و13ب** فإن مضاعفات نصف الأطوال الموجية فقط هي المطلوبة من أجل وتر قيثارة تم اقتلاعه لأن الوتر مثبت من كلا الطرفين. وبالمثل فقد رأى دي بروغلي أن الأعداد الفردية فقط للأطوال الموجية هي المسموح بها في مدار دائري ذو نصف قطر ثابت، كما يتضح من الشكل **13ج**. كما أشار أيضًا إلى حقيقة أن الضوء–الذي كان يُعتقد بكل قوة في فترة ما أنه ظاهرة موجية – يمتلك مواصفات كلًا من الموجة والجسيم. هذه الأفكار قادت دي بروغلي لطرح سؤال جديد. إذا كان يمكن للأمواج أن تسلك سلوك الجسيمات، هل يمكن أن يكون العكس صحيحًا؟ أي، هل يمكن لجسيمات المادة، بما في ذلك الإلكترونات، أن تتصرف كالموجات؟

الشكل 13 أ. يهتز الوتر على القيثارة بين نقطتي نهاية ثابتتين. **ب.** اهتزازات الوتر بين نقطتي النهاية الثابتتين تم تسميتهما B و A وهي محددة بمضاعفات نصف الأطوال الموجية. **ج.** يمكن أن تكون الإلكترونات على المدارات الدائرية ذات أعداد فردية فقط للأطوال الموجية.



ب **وتر الجيتار المهتز**
مسموح بأضعاف أنصاف الأطوال الموجية فقط



ج **الإلكترون المداري**
مسموح بأرقام كاملة فقط للأطوال الموجية

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

عَرض تَوضِيحِي سَريع

الإلكترُونات اِجعَل المِروَحَة تَدُورُ بِسُرعَةٍ عَالِيَة مع دخول الطُّلاَّب إلى الصف بِحيثُ لن يتسنَّى لهُم رُؤيَةَ شَفرَاتِ المِروَحَةِ في وَضعِ تَوَقُّفٍ. حَالَما تبدَأ الحِصَّة، أَطلُب إليهم وَصفَ شَفَرَاتِ المِروَحَة. سَيَتَمَكَّنونَ مِن وَصفِ الطُّولِ التَّقرِيبي للشَّفرات وأمورًا قليلة أُخرَى. اِشرَح لهم أنَّ العُلمَاءَ واجَهُوا إلى حَدٍّ ما الوضع نفسه عند مُحاوَلَةِ وَصفِ الإلِكترُونات في الذَّرَّات. تنتقل الإلكترُونَات حَول النَّواة وتَبدُو كأنَّها تَملأُ الحَجمِ بِأَكمَلِهِ، إلاَّ أنَّها تَشغَلُ حَجمًا ضَئِيلاً جدًّا. اِشرَح أنَّهُ نَظَرًا لِحَرَكَةِ الإلِكترونَات وبَعضِ القُصُورِ فِي قُدرَتِنا على رُؤيَتِها (كَمَا هُو مُوضَّحٌ في مَبدَأ الشك لِهايزنبيرغ)، فإنَّنَا غَيرُ قادِرينَ على تَحدِيدِ في الوقت نفسِهِ وبِدِقَّةٍ مَكانَ وسرعة الإلِكترُونات.

مَعلومَات عامَّة عن المُحتَوى

نموذَج بُورْ ونَموذَج ميكانيكا الكَمّ

فِي نَمُوذَج بُورْ لِذَرَّةِ الهيدرُوجين، لكلّ مستوى مُحتَمَلٍ للإلِكترُون نِصفَ قُطرٍ مُحَدَّدٍ، كَمَا هُوَ مبيّن فِي الجَدوَلِ 1.

غَيرَ أنَّ نموذَجَ ميكانيكا الكَمّ (QM) يَسمَحُ فَقط بِتَوَقُّعِ احتِمَالِ العُثورِ عَلى الإلِكترُونِ فِي مَوقِعٍ مُعَيَّنٍ من الذَّرَّة. ومن المُثيرِ للإهتِمَامِ، أنّ أكبرَ مَسَافَةٍ مُحتَمَلةٍ بَينَ الإلِكترُونِ والنَّوَاةِ في ذَرَّةِ الهيدرُوجين وفقَ نَمُوذَجِ QM تَتَطَابَقُ مَع نِصفِ مستوى بور.

دفتر الكِيميَاء

غَازات IR و UV أُطلُب من الطُّلاَّبِ اجراء بحث حول أنواعِ الغازاتِ المُستَخدَمَة لإطلاق الإشعَاعَ الكَهرُومِغنَاطِيسِي تَحتَ الأَحمَرِ وفَوقَ البَنَفسَجِي. كلّفهم تَلخيصَ نَتَائِجِ بَحثِهم في الكيمياء الخاصَّةِ بهم. ض م

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

Sci_Gr09_Gen_Core_TE_CH12.indb 339 1/30/2017 2:03:01 PM

تجربة حلّ المسائل

الهدف سَيَتعلَّمُ الطُّلاَّبُ الرَّبطَ بين الأَطوَالِ المَوجِيَّةِ لِطيْفِ الإِبتِعَاثِ وانتِقالات الإلكترون في المَدَار بحسب نموذج بُوْرْ للذَّرَّة وحساب الأطوال الموجية عبر استخدام المعادلة

$$\frac{1}{\lambda} = \left(1.09678 \times 10^{7}\ \mathrm{m^{-1}}\right)\left(\frac{1}{n_f^{2}} - \frac{1}{n_i^{2}}\right)$$

. وحساب

مقدار الطَّاقة لِكُلِّ كَمٍّ لِطُولِ مَوجَةٍ مُعَيَّنَة باستِخدامِ المُعادَلَة

$$E = \frac{hc}{\lambda}.$$

المهارات العملية

تفسير الرُّسوم التَّوضيحيَّة، استخدام الأرقام والتفكير الناقد.

إستراتيجيَّات التدريس

- اكتشف بِالمِرْ سِلسِلَتَهُ الشَّهيرَةَ للهيدرُوجين في العام 1886. أشِر للطُّلاَّب إلى أنَّ القُيودَ المَفرُوضَةَ عَلى التَّجارِبِ آنذَاكَ قيَّدَت مِن قُدرتِه على تَحديدِ الأطوالِ المَوجِيَّةِ لِتَقتَصِرَ على تِلكَ المَوجُودَةِ في الأَشِعَّةِ فَوقَ البَنَفسَجِيَّةِ المَرئِيَّةِ والقَريبَة، مِن حَوالَيْ 250 nm إلى 700 nm. بالتَّالي، تَكمُنُ جَميعُ خُطوطِ بَالمِر فِي تِلكَ المِنطَقَة.
- قَد تَرغَبُ في مُراجَعَةِ مَجمُوعَةٍ مِن الأمثِلَةِ للحِساباتِ مَعَ الطُّلاَّبِ للتَّأكُّدِ مِن أنَّهُ بِإمكانِهِم تَأدِيَةَ العَمَلِيَّاتِ الحِسَابِيَّةِ بِشَكلٍ صَحيح.
- أكِّد عَلى الطُّلاَّبِ أنَّ لِأَطيَافَ الإمتِصَاصِ والانبعاث للهيدروجين أَهَمِيَّةً خَاصَّةً في عِلمِ الفَلَكِ لِأَنَّ مُعظَمَ الكَونِ مُكَوَّنٌ مِنَ الهيدروجين.

التفكير الناقد

1. **a.** $\lambda = 6.56465 \times 10^{-7}\ \mathrm{m}$
   b. $\lambda = 4.86273 \times 10^{-7}\ \mathrm{m}$
   c. $\lambda = 4.34171 \times 10^{-7}\ \mathrm{m}$
   d. $\lambda = 4.10292 \times 10^{-7}\ \mathrm{m}$
2. $n_i = 3$، $n_f = 2$: الطُّول المَوجي المَحسُوب لِـ $6.56465 \times 10^{-7}\ \mathrm{m}$ يَتطَابَقُ بِدِقَّةٍ مَعَ الطُّولِ المَوجِيّ التَّجرِيبيّ لِـ 6562 Å؛ $n_i = 4$، $n_f = 2$: الطُّول المَوجي المَحسُوب لِـ $4.86273 \times 10^{-7}\ \mathrm{m}$ يَتطَابَقُ بِدِقَّةٍ مَعَ الطُّولِ المَوجِيّ التَّجرِيبيّ لِـ 4861 Å؛ $n_i = 5$، $n_f = 2$: الطُّول المَوجي المَحسُوب لِـ $4.34171 \times 10^{-7}\ \mathrm{m}$ يَتطَابَقُ بِدِقَّةٍ مَعَ الطُّولِ المَوجِيّ التَّجرِيبيّ لِـ 4340 Å ؛ $n_i = 6$، $n_f = 2$: الطُّول المَوجي المَحسُوب لِـ $4.10292 \times 10^{-7}\ \mathrm{m}$ يَتطَابَقُ بِدِقَّةٍ مَعَ الطُّولِ المَوجِيّ التَّجرِيبيّ لِـ 4101 Å

تتنبأ **معادلة دي بروغلي** بأن جميع الجسيمات المتحركة تتمتع بمواصفات موجية. كما أنها تشرح أيضًا سبب استحالة ملاحظة الطول الموجي لسيارة تتحرك بسرعة. فالسيارة التي تتحرك بسرعة $25\ \mathrm{m/s}$ وتبلغ كتلتها $910\ \mathrm{kg}$، يكون طولها الموجي $2.9 \times 10^{-38}\ \mathrm{m}$، وهو طول موجي صغير للغاية بحيث لا يمكن رؤيته أو الكشف عنه. على النقيض، فإن الإلكترون الذي يتحرك بنفس السرعة يكون له طول موجي يسهُل حسابه ويساوي $2.9 \times 10^{-5}\ \mathrm{m}$. وقد أوضحت التجارب اللاحقة أن الإلكترونات والجسيمات المتحركة الأخرى لها في الواقع مواصفات موجية بالفعل. عرف دي بروغلي أنه إذا كان للإلكترون حركة تشبه الموجة، وأنه ينحصر في مدارات دائرية أو ذات نصف قطر ثابت، فإنه يُحتمل وجود أطوال موجية وترددات وطاقات محددة. وبتطوير فكرته، استنتج دي بروغلي المعادلة التالية:

العلاقة بين الجسيم والموجة الكهرومغناطيسية

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

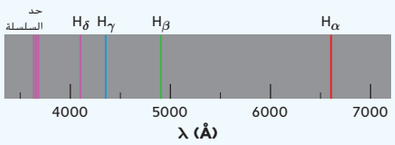
- λ تمثل الطول الموجي.
- h ثابت بلانك.
- m تمثل كتلة الجسيم.
- v تمثل السرعة.

طول موجة جسيم ما هو ناتج قسمة ثابت بلانك على حاصل ضرب كتلة الجسيم في سرعته.

مختبر حل المشكلات

تفسير الرسومات التوضيحية العلمية

ما هي انتقالات الإلكترون التي توضح سلسلة بالمر؟ يشمل طيف انبعاث الهيدروجين ثلاث سلاسل من الخطوط؟ بعض الأطوال الموجية عبارة عن أشعة فوق بنفسجة (سلسلة ليمان) وتحت الحمراء (سلسلة باشان)، والأطوال الموجية المرئية هي التي تتكون منها سلسلة بالمر. إن نموذج بور الذري ينسب هذه الخطوط الطيفية لانتقالات من حالات ذات طاقة عالية الذي تكون فيه $n = n_i$ إلى حالات ذات طاقة منخفضة تكون فيها $n = n_f$.



التحليل

يوضح الشكل على اليسار الانتقالات في سلسلة بالمر الخاصة بالهيدروجين. يتم تعيين خطوط بالمر هذه (H_α (6562 Å)، H_β (4861 Å)، H_γ (4340 Å)، وH_δ (4101 Å)). يتعلق كل طول موجي (λ) بانتقال إلكترون ضمن ذرة هيدروجين من خلال المعادلة التالية حيث $1.09678 \times 10^{7}\ \mathrm{m^{-1}}$ يعرف بثابت ريدبيرج.

$$\frac{1}{\lambda} = 1.09678 \times 10^{7}\left(\frac{1}{n_f^{2}} - \frac{1}{n_i^{2}}\right)\mathrm{m^{-1}}$$

بالنسبة لسلسلة بالمر للهيدروجين، ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى $n = 2$ أي أن $n_f = 2$.

التفكير الناقد

1. **احسب** الأطوال الموجية لانتقال الإلكترون بين المستويات التالية:
   a. $n_i = 3;\ n_f = 2$
   b. $n_i = 4;\ n_f = 2$
   c. $n_i = 5;\ n_f = 2$
   d. $n_i = 6;\ n_f = 2$
2. **أوجد العلاقة** بين الأطوال الموجية في سلسلة بالمر التي قمت بحسابها في السؤال 1 وبين تلك المحسوبة تجريبيًا. بالسماح بأخطاء تجريبية وعدم الدقة في الحسابات، هل تتطابق الأطوال الموجية؟ فسر إجابتك. علمًا أن واحد أنجستروم (Å) يساوي $10^{-10}\ \mathrm{m}$.
3. **طبق** المعادلة $E = hc/\lambda$ لحساب طاقة الكم لكل انتقال بين المستويات في السؤال 1.
4. **توسع** في نموذج بور عن طريق حساب الطول الموجي والطاقة بالكم لانتقال الالكترون بين المدارات الذي تكون فيه $n_f = 3$ و $n_i = 5$. هذا الانتقال يوضح الخط الطيفي لسلسلة باشان للهيدروجين.

التقويم

مهارة أُطلُب إلى الطُّلاَّب التَّوَسُّعَ في الأفكَارِ المَطرُوحَةِ هُنَا للقِيام بتَوَقُّعٍ بشَأنِ الطَّيفِ الذي سَينبَعِثُ مِن ذرَّات مُشابِهَةٍ للهيدروجين، مِثلَ He^{+} أو Li^{2+}. أو أُطلُب إليهم تَوَقُّعَ ما سَيحدُثُ لِطَيفٍ مُستَمِرٍّ للضَّوء في حال مروره بِخَلِيَّةٍ تحتَوي على غَاز الهيدروجين. ض م

3. **a.** $3.027 \times 10^{-19}\ \mathrm{J}$
   b. $4.087 \times 10^{-19}\ \mathrm{J}$
   c. $4.577 \times 10^{-19}\ \mathrm{J}$
   d. $4.844 \times 10^{-19}\ \mathrm{J}$
4. $1.549 \times 10^{-19}\ \mathrm{J}$

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

Sci_Gr09_Gen_Core_TE_CH12.indb 340 1/30/2017 2:03:01 PM

مبدأ الشك لهايزنبرج خطوة بخطوة، استطاع علماء مثل رذرفورد وبور ودي بروغلي فك غموض الذرة. ومع ذلك، فالنتيجة التي توصل إليها عالم الفيزياء النظرية الألماني ورنر هايزنبرج (1901-1976) أثبتت أن لها نتائج عميقة على نماذج الذرّة.

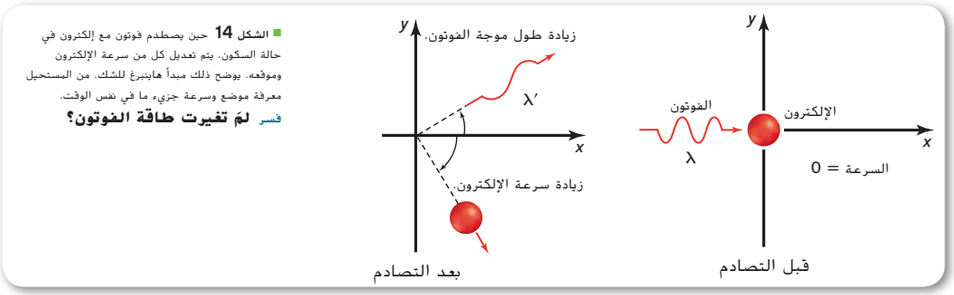
وقد أوضح هايزنبرج أنه من المستحيل أخذ قياسات أي جسم دون إحداث اضطراب فيه. تخيل أنك تحاول تحديد موضع بالون متأرجح مملوء بالهيليوم في غرفة مظلمة. إذ لوحت بيديك ، يمكنك أن تحدد موقع البالون حين تلمسه. ومع ذلك، حين تلمس البالون فإنك تنقل إليه الطاقة وتغير موضعه. يمكنك أيضًا التنبؤ بموقع البالون عن طريق إضاءة كشاف. باستخدام هذه الطريقة، تصل فوتونات الضوء المنعكسة من البالون إلى عينيك وتكشف عن موقع البالون. ونظرًا لأن البالون جسم كبير يمكن رؤيته بالعين المجردة، فإن تأثير الفوتونات المرتدة على موقعه يكون صغيراً جدًا وغير ملحوظ.

تخيل أنك تحاول أن تحدد موقع إلكترون ما عن طريق "اصطدامه" بفوتون ذو طاقة عالية. نظراً لأن هذا الفوتون يمتلك نفس طاقة الإلكترون، فإن التفاعل بين الجسيمين يغير كل من الطول الموجي للفوتون وموقع وسرعة الإلكترون كما يظهر في الشكل **14**. بمعنى آخر، فإن ملاحظة الإلكترون ينتج عنها شك واضح لا يمكن تجنبه في موقع وحركة الإلكترون. قاد تحليل هايزنبرغ للتفاعلات، كتلك الموجودة بين الفوتونات والإلكترونات لاستنتاجه التاريخي. يوضح **مبدأ الشك لهايزنبرج** أنه من المستحيل معرفة سرعة وموقع أي جسيم في نفس الوقت بدقة.

التأكد من فهم النص اشرح مبدأ الشك لهايزنبرغ.

على الرغم من أن العلماء في هذا الوقت قد وجدوا أن مبدأ هايزنبرغ صعب القبول، فلقد ثبت أنه يصف الحدود الجوهرية لما يمكن ملاحظته. إن التفاعل بين الفوتون والجسم الكبير كالبالون المليء بالهيليوم له تأثير قليل جدًا على البالون، حتى أن الشك في موقعه سيكون صغير جدًا بحيث لا يمكن قياسه. ولكن ليس هذا هو الحال مع إلكترون يتحرك بسرعة 6×10^{6} m/s بالقرب من نواة الذرّة. إن الشك في موقع الإلكترون يكون على الأقل 10^{-9} m. أي حوالي أكبر بـ10 أضعاف من قطر الذرّة بكاملها.

إن مبدأ الشك لهاينبرغ أيضًا يعني أنه من المستحيل تعيين مسارات محددة للإلكترونات مثل المدارات الدائرية في نموذج بور. الكمية الوحيدة التي يمكن معرفتها هي احتمالية أن يشغل أحد الإلكترونات منطقة محددة حول النواة.



■ **الشكل 14** حين يصطدم فوتون مع إلكترون في حالة السكون، يتم تعديل كل من سرعة الإلكترون وموقعه. يوضح ذلك مبدأ هاينبرغ للشك. من المستحيل معرفة موضع وسرعة جزيء ما في نفس الوقت.
فسر لمَ تغيرت طاقة الفوتون؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الإثراء

مَبدأ الشك أعِدَّ لافِتَة تَحمِلُ الكِتابَة التَّالية «من المُمكِن أن يكُون هايزنبيرغ قد نامَ هُنا». إعرضها على الطُّلاَّب، ثُمَّ إسألهُم عن أوجه التشابه بين عدَمُ اليَقين من نَومَ هايزنبيرغ في مكانٍ ما مع تواجُدِ إلكترون في موقِعٍ ما في الذَّرَّة. يَنُصُّ مَبدأ هايزنبيرغ عَلى أَنَّهُ مِنَ المُستَحيل أَسَاسًا مَعرِفَةُ كُلٍّ مِن حَرَكَةِ الجُسَيمَاتِ (الزَّخم) ومَوقِعَها فِي نَفس الوَقتِ. ض م

التَّأكُّد مِن فَهمِ النَّصّ يَنُصُّ مَبدأ الشك لِهَايزنبيرغ عَلى أَنَّهُ مِنَ غير المُمكِنِ مَعرِفَة كلّ من سرعة جُسَيم وموقعه في الوقت نفسه وبِدقَّةٍ.

سُؤال الشَّكل 14
لقد نَقَلَ القليلَ من الطَّاقةِ إلى الإلكترون.

عَرض تَوضيحي سَريع

الفُوتونات والإلكترُونات

أَعطِ كُرَةً ثَقيلَةً لِطَالِبٍ مَعصُوبِ العَينَينِ فِي مُنتَصَفِ حَلقَةٍ مِنَ الطُّلاَّب (يَبلُغُ نِصفَ قُطرِها 1.5-m). ثُمَّ وبِهُدوءٍ، قُم بِوَضعِ أسطِوانَةً مُدَرَّجَةً بلاستيكِيَّةً سعتها 50-mL مَكانَ طَالِبٍ في الحَلقَة. أعطِ تَعليمَاتٍ للطَّالِبِ بِأن يَرمِيَ الكُرَةَ بِلُطفٍ في اتّجاهَاتٍ مُختَلِفَة إلى أن يتم تحديد موقع الإسطِوَانَةِ. عِندَما تَصطَدِمُ الكُرَةُ أخيرًا بالاسطِوانَةِ، فَإنَّها تُسقِطُها مِن مَوقِعِهَا الأَصلِيّ. ثُمَّ اسأل الطُّلاَّبَ إذا كَانَت المَعلُوماتُ المُكتَسَبَةُ مِن دَحرَجَةِ الكُرَةِ تُؤَثِّرُ في مَوقِعِ الاسطِوانَةِ بَعدَ الاصطِدَام. لم تَعُد الاسطِوانَةُ حيثُ كانَت قَبلَ اصطدام الكرة بها. ثم صِف التَّشبيهَ مع الفُوتُون والإلكترُون. أ م

التدريس المتمايز

الطُّلاَّب المتقدمون أُطلُب إلى الطُّلاَّبِ التَّحقِيق وإعدَادَ تقريرٍ حَولَ ما إذا كَانت ميكانيكا الكمّ تَدحَضُ قَوانينَ ونَماذِجَ الفِيزيَاءِ الكلاَسِيكِيَّة. بِشَكلٍ عَامّ، تُعَدُّ القَوانينُ والنَّماذِجُ الفِيزيَائِيَّة الكلاَسِيكِيَّة مقاربات صَحِيحَةً لِقَوانين مِيكَانيك الكَمّ. وعَلى هَذا النَّحو، فإنَّها تَصِفُ وتَتَوقَّعُ بِدِقَّةٍ السُّلوكَ على المُستَوى الجاهري. لكن،تبقى الحاجة إلى ميكانيكا الكَمّ لتوفير وَصفٍ دَقيقٍ وتَفسِيرِ السُّلوكِ الذَّرِّي ودُونَ الذَّرِّي. ق م

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

Sci_Gr09_Gen_Core_TE_CH12.indb 341 1/30/2017 2:03:01 PM

تطبيق الكيمياء

اللِّيزر يُحفِّزُ الفوتُونُ الذَّرَةَ المستثارة عند اصطِدامِهِ بها فَيَجعَلُها تَنتَقِلُ إلى مستوى طَاقةٍ أقَلّ وتَبعَثُ فُوتونًا ثانيًا متناسقًا مع الأوَّلِ. تَعني كَلِمَة متناسق أنَّ للفوتونات نَفس الأطوالِ المَوجِيَّةِ المُصاحِبَةِ لها كَما إنها تَكُونُ في طَورٍ (قِمَّة مَعَ قِمَّة أو قَعر مَع قَعر). في اللّيزر، تَنعَكِسُ الفُوتُونَاتُ مِن ذَرَّاتٍ عَديدَةٍ جيئَةً وذَهابًا إلى أن تُنشِئَ حُزمَةً مُكثَّفَةً وصَغيرَةً عَادةً ما يبلُغُ قُطرُها حَوالَي 0.5 mm.

يُمكِنُ هَندَسَةُ اللّيزرات الطِّبِّيَّة لتُنتِجَ ذَبذَباتٍ مُتفَاوِتَة الطُّولِ المَوجِيّ والكَثَافَة والزمن. فَعلى سَبيلِ المِثال، يُمكِنُ لأطِبَّاءِ العُيون إعادَةُ تشكِيلِ القرنيَّاتِ عبرِ إزالَةِ أنسِجَةٍ وذلك عن طريق استِخدامِ ذبذَباتِ 10-ns الموجُودةِ في طُول موجَةٍ 193-nm بِلَيزَرِ الأرجُون.

ولِأنَّ أشعَّةَ اللّيزر يُمكِنُ تَركيزُها على أقطَارٍ صَغيرَة، فإنَّهُ يُمكِنُ استِخدَامُها لعَمليَّاتٍ جِراحِيَّةٍ دَاخِلِيَّة. فَتُتلِفُ النَّسيجَ المُستَهدَفَ من دُونَ أن يُؤثِّر ذلِكَ سَلبًا على الأنسِجَةِ المُحيطَةِ به. بالإضافَةِ إلى ذلِك، وعَن طَريقِ تَوجيهِ الحزم اللَّيزَريَّة عَبرَ الألياف البَصَريَّة، يُمكِنُ للأطِبَّاءِ إجرَاءَ العَمليَّاتِ الجِرَاحِيَّةِ لأجزاءٍ مِنَ الجِسمِ كانَ يَتَعَذَّرُ الوُصُولُ إليها في وَقتٍ سَابِق. فَعَلَى سَبيلِ المِثَالِ، يُمكِنُ لِحُزَم الألياف البَصَريَّة المُنتَشِرَة عَبرَ الشَّرايينِ أن تَحمِلَ الحُزَمَ اللّيزريَة التي تَتَخلَّصُ مِنَ الانسِدادات.

التَّأكُّد مِن فهمِ النَّصّ تَقتَصِرُ طَاقَةُ الإلكترُون في كِلَا النَّموذَجَينِ عَلى قِيمٍ مُعَيَّنَة. خِلافًا لِنَموذَجِ بُورْ فَإنَّ نَموذَجَ ميكانيكا الكَمّ لا يُقَدِّمُ أيَّةَ مُحاوَلَةٍ لِوصفِ مَسارِ الإلكترون حَولَ النَّواةِ.

التَّأكُّد مِن فهمِ النَّصّ تَقَعُ الإلكترُوناتُ حَولَ النَّوَاةِ في مَوقِعٍ لا يُمكِنُ أن يُوصَفَ إلاَّ من خِلالِ خَريطَةِ احتمالات. يَتِمُّ اختِيارُ سَطحٍ حُدوديّ لاحتِواءِ المِنطَقَةِ التي مِنَ المُتَوقَّعِ أن يَشغَلَها الإلكترون 90% مِنَ الوَقتِ.

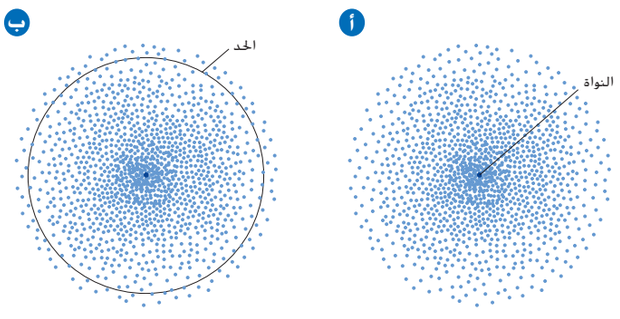
معادلة شرودنجر للموجات توسع الفيزيائي النمساوي إيروين شرودنجر (1887-1961) في عام 1926 في نظرية الموجة-الجسيم التي اقترحها دي بروغلي. اشتق شرودنجر معادلة تتعامل مع إلكترون ذرّة الهيدروجين كموجة. وقد بدا النموذج الجديد لشرودنجر بالنسبة لذرّة الهيدروجين مناسب للتطبيق بشكل جيد على ذرّات عناصر أخرى- وهو ما فشل فيه بور. النموذج الذرّي الذي يتم فيه التعامل مع الإلكترونات كموجات يسمى النموذج الميكانيكي الموجي للذرّة أو **النموذج الميكانيكي الكمي للذرة**. وكنموذج بور، يضع نموذج ميكانيكية الكم حدًا لطاقة الإلكترون بقيم محددة. ومع ذلك، على عكس نموذج بور، لا يحاول نموذج ميكانيكية الكم أن يصف مسار الإلكترون حول النواة.

التأكد من فهم النص **قارن وقابل** بين نموذج بور والنموذج الميكانيكي الكمي.

إن معادلة شرودنجر للموجة معقدة للغاية حتى يتم مناقشتها هنا. ومع ذلك، كل حل للمعادلة يعرف باسم دالة الموجة، وهو يتعلق باحتمالية وجود إلكترون ضمن حجم محدد من الفراغ حول النواة. تذكر من دراستك للرياضيات أن أي حدث ذو احتمال عالي للحدوث يكون احتمال وقوعه أكبر مقارنةً بالحدث الأقل احتمالًا.

الموقع المحتمل للإلكترون تتنبأ دالة الموجة بمنطقة ثلاثية الأبعاد حول النواة تسمى **الفلك الذرّي** وهو الذي يصف الموقع المحتمل للإلكترون. يمكن تشبيه الفلك الذرّي بسحابة ضبابية تتناسب فيها الكثافة في نقطة محددة مع احتمالية العثور على الإلكترون في هذه المنطقة. يوضح الشكل **15أ** خريطة الكثافة الإلكترونية التي تصف الإلكترون في حالة الطاقة المنخفضة للذرّة. يمكن اعتبار خريطة الكثافة الإلكترونية صورة لحظية للإلكترون الذي يتحرك حول النواة، والذي تمثل فيه كل نقطة موقع الإلكترون في لحظة زمنية. تشير الكثافة العالية للنقاط بالقرب من النواة إلى أكثر موقع محتمل للإلكترون. ومع ذلك، ونظرًا لأن السحابة ليس لها حد معين، فمن الممكن أيضًا العثور على الإلكترون على مسافة هائلة من النواة.

التأكد من فهم النص **صف** أين تقع الإلكترونات في الذرّة.



الشكل 15 تمثل خريطة الكثافة احتمالية العثور على إلكترون في موقع معين حول النواة. أ. الكثافة الأعلى للنقاط بالقرب من النواة توضح أنه في الغالب يحتمل العثور على الإلكترون بالقرب من النواة. ب. في أي وقت محدد، يحتمل بنسبة 90% العثور على إلكترون ضمن المنطقة الدائرية الموضحة. يتم اختيار هذا السطح في بعض الأوقات ليمثل حد الذرة. في هذا الرسم التوضيحي، تتطابق الدائرة مع إسقاط كرة ثلاثية الأبعاد تحتوي على الإلكترونات.

خرائط الكثافة الإلكترونية

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

التدريس المتمايز

الطلاب المتفوقون أُطلُب مِنَ الطَّلَبَةِ البحثَ في اِثنَينِ مِنَ الاِختِصَارَاتِ المُتَعَلِّقَة بِنَمُوذَج مِيكانيكا الكَمّ وأطياف الانبعاث MASER و LASER. MASER اختصار لعبارة Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation (تختلف MASER عن LASER بكون انبعاثات MASER تنطوي على حالات تذبذب الطاقة في الجزيئات بينما تنطوي انبعاثات الليزر على انتقالات ذرية بمستوى طاقة ضعيف.). LASER اختصار لعبارة Amplification by Stimulated Emission of Radiation Light. اِعرِض على الطُّلاَّب ليزرًا مُنخَفِضَ القُدرَةِ يكون استخدامه آمنا في الصف ووجّه الشُّعَاعَ في اتِّجاهٍ آمن. ثُمّ قُم بالتّصفِيق على الشُّعاعِ مُستَخدِمًا مسّاحات السبورة. يُصبِحُ الشُّعاعِ مَرئِيًّا كُلَّمَا انعَكَسَ الضَّوءُ على جُزيئاتِ الطَّباشِيرِ في الهَواءِ.

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

Sci_Gr09_Gen_Core_TE_CH12.indb 342 1/30/2017 2:03:02 PM

الأفلاك الذرية لذرة الهيدروجين

نظرًا لضبابية حد الفلك الذرّي، فلا يمتلك الفلك حجماً محدداً ودقيقاً. وللتغلب على الشك المتأصل حول موقع الإلكترون، رسم الكيميائيون بصورة افتراضية سطح الفلك بحيث يحتوي على 90% من التوزيع المحتمل الإجمالي للإلكترون، مما يعني أن احتمالية وجود إلكترون ضمن الحد تبلغ 0.9 واحتمالية وجوده خارج الحد تبلغ 0.1. بمعنى آخر، في الغالب يحتمل وجود الإلكترون بالقرب من النواة وضمن الحجم المحدد بحدود أكثر من وجوده خارج هذا الحجم. تضم الدائرة الموضحة في الشكل 15ب 90% من فلك الهيدروجين الأقل طاقة.

رقم الكم الرئيس تذكر أن نموذج بور الذرّي يعين أعداداً كمية لمستويات الطاقة للإلكترونات. وبالمثل فإن نموذج ميكانيكية الكم يعين أربعة أعداد كَمِيّة للأفلاك الذرية. الأول هو **رقم الكم الرئيس** (n) ويشير إلى الحجم النسبي للأفلاك الذرية وطاقتها. وبزيادة n يصبح الفلك أكبر، ويقضي الإلكترون وقتًا أطول بعيدًا عن النواة، وتزيد طاقة الذرّة. لذلك تحدد n مستويات الطاقة الرئيسة للذرّة. كل مستوى طاقة أساسي يسمى **مستوى الطاقة الرئيس**. يتم تعيين رقم كمي رئيسي وهو 1 لمستوى الطاقة الرئيس الأقل للذرّة. حين يشغل الإلكترون الوحيد لذرّة الهيدروجين فلك تكون فيه $n = 1$. تكون الذرّة في حالتها المستقرة. تم التنبؤ بما يصل إلى 7 مستويات طاقة لذرّة الهيدروجين، مما يمنح n قيمًا تبدأ من 1 حتى 7.

مستويات الطاقة الفرعية تحتوي مستويات الطاقة الرئيسة على **مستويات طاقة فرعية**. يتكون مستوى الطاقة الرئيس 1 من مستوى فرعي واحد، يتكون مستوى الطاقة الرئيس 2 من مستويين فرعيين، ويتكون مستوى الطاقة الرئيس 3 من ثلاثة مستويات فرعية، وما إلى ذلك. لفهم العلاقة بين مستويات طاقة الذرّة ومستوياتها الفرعية، تصور المقاعد في قسم على شكل وتدي من المسرح. كما يظهر في الشكل 16. وبينما تتحرك بعيدًا عن المسرح، تصبح الصفوف أعلى وتشمل مزيد من المقاعد. بالمثل فإن مستويات الطاقة الفرعية في مستوى الطاقة الرئيس تزيد بزيادة n.

☑ التأكد من فهم النص اشرح العلاقة بين مستويات الطاقة والمستويات الفرعية.

الشكل 16 يمكن التفكير في مستويات الطاقة على أنها صفوف مقاعد في المسرح. تحتوي الصفوف العليا والأبعد عن خشبة المسرح على عدد أكبر من المقاعد وبالمثل، تحتوي مستويات الطاقة التي ترتبط بالأفلاك الأبعد عن النواة على عدد أكبر من المستويات الفرعية.

حَدِّد المَفاهيمَ الخاطِئة

قد يَعتَقِدُ الطُّلاَّبُ أنَّ مُستَوياتِ الطَّاقَةِ في ذَرَّةِ الهيدرُوجينِ مُتباعِدَةٌ بِشَكلٍ مُتَسَاوٍ.

أَوضِح المَفاهِيمَ الخاطِئة

أُطلُب مِنَ الطُّلاَّبِ مُقارَنَةَ مُستَوياتِ طَاقَةِ الهيدروجينِ المُوضَّحَة في الشَّكلِ 12، بدَرَجَاتِ السُّلَّم. عَلى عَكسِ دَرَجَاتِ السُّلَّم، فإنَّ مُستَوياتِ الطاقة في الهيدرُوجين ليسَت مُتباعِدَةً بِشَكلٍ مُتَسَاوٍ

عرض المَفهوم

أُطلُب من الطُّلاَّبِ حِسَابَ ومُقارَنَة النِّسَبِ E_n/E_{n-1} مِن E_2 إلى E_7 عبرَ استِخدامِ المَعلومَاتِ مِنَ الطَّاقة النِّسبِيَّة في الجَدوَل 1.

$E_2/E_1 = 4, E_3/E_2 = 2.25, E_4/E_3 = 1.78$،
$E_5/E_4 = 1\,56$ $E_6/E_5 = 1\,44$،
$E_7/E_6 = 1.36$

تَقويم المَعارِف الجَديدَة

أدعُ الطُّلاَّبَ إلى استِخدام نسب الطَّاقَةِ المَحسُوبَة في نَشَاط «عرض المَفهُوم»، لِجَعلِ مخططاتهم المتعلقة بمستويات طَاقَةِ الهيدروجين مُمَاثِلَةً لِتِلكَ التي في الشَّكلِ 12. يجبُ أن تُظهِر مخططاتهم للطَّاقَةِ، بِوُضوح، أنَّ مُستَوَيات الطاقة في الهيدروجينِ تُصبِحُ أكثر تقاربًا مع ارتفاع n. ض م

☑ **التَّأَكُّد مِن فَهمِ النَّصّ** يَرتَفِعُ عَدَدُ المُستَوَيَاتِ الفَرعِيَّةِ للطَّاقَةِ في مُستَوى طَاقَةٍ رَئِيس مع ارتفاع قيمة n.

مَشروعٌ في الكيمياء

نَماذِجُ الذَّرَّة أُطلُب مِنَ الطَّلاب اجراء بحث ثُمَّ شَرحَ الدليل التجريبي المصاحب لِتَطوُّر نَماذِجِ الذَّرّة. أُطلُب مِنهُم أن يَشمَلَ بَحثُهُم نَمُوذَجَ البُودينج لِطُومسون ونَمُوذَجَ رذرفُورد لِلذَّرَّةِ ونَموذَج بُورْ ونَمُوذَجَ مِيكَانيكا الكَمّ. ض م

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

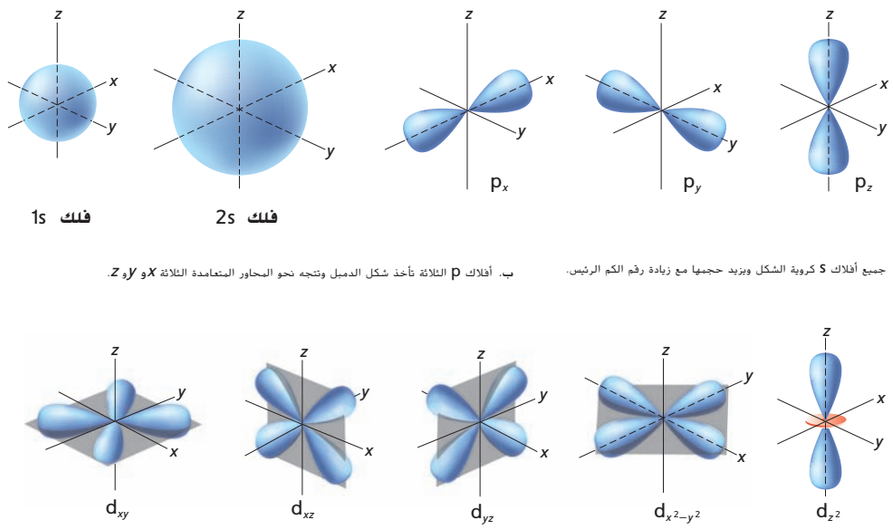
Sci_Gr09_Gen_Core_TE_CH12.indb 343 1/30/2017 2:03:02 PM

أشكال الأفلاك: تسمى المستويات الفرعية *s* أو *p* أو *d* أو *f* طبقًا لأشكال أفلاك الذرّة. كل أفلاك *s* كروية الشكل ، وجميع أفلاك *p* تأخذ شكل الدمبل (تشبه الرقم 8 ولكنها ثلاثية الأبعاد)، ومع ذلك لا تتخذ كافة أفلاك d أو f نفس الشكل. يمكن أن يحتوي كل فلك على إلكترونين على الأكثر. يتطابق المستوى الفرعي الوحيد في مستوى الطاقة الرئيس 1 مع الفلك الكروي ويسمى 1s. بينما تم تعيين المسميين 2s و2p للمستويين الفرعيين في مستوى الطاقة الرئيس 2. يحتوي المستوى الفرعي 2s على الفلك 2s كروي الشكل مثل الفلك 1s ولكنه أكبر حجمًا، كما يتضح من الشكل 17أ.
يتوافق المستوى الفرعي2p مع أفلاك p الثلاثة التي تأخذ شكل الدمبل وتسمى $2p_x$، $2p_y$، $2p_z$. الأحرف السفلية x وy وz تعين فقط اتجاه أفلاك p بطول x وy وz محاور الإحداثيات، كما يظهر في الشكل 17ب. كل فلك من أفلاك p تتعلق بمستوى طاقة فرعي له نفس الطاقة.

التأكد من فهم النص صف أشكال أفلاك s وp.

يتكون مستوى الطاقة الرئيس 3 من ثلاث مستويات فرعية هي 3s، 3p، 3d. كل مستوى فرعي d يرتبط بخمس أفلاك لها نفس الطاقة. أربعة من أفلاك d لها نفس الشكل ولكن اتجاهاتها مختلفة على طول محاور الإحداثيات x، y. أما الفلك الخامس، d_{z^2}، فذو شكل واتجاه مختلف عن الأربعة السابقة. ترد أشكال واتجاهات أفلاك d الخمسة في الشكل 17ج. يحتوي مستوى الطاقة الرئيس الرابع ($n = 4$) على مستوى فرعي رابع يسمى المستوى الفرعي 4f الذي يرتبط بسبعة أفلاك f لها نفس الطاقة. أفلاك f ذات أشكال معقدة متعددة الحلقات.

الشكل 17 تصف أشكال الأفلاك الذرية التوزيع المحتمل للإلكترونات في مستويات الطاقة الفرعية



أ. جميع أفلاك s كروية الشكل ويزيد حجمها مع زيادة رقم الكم الرئيس.

ب. أفلاك p الثلاثة تأخذ شكل الدمبل وتتجه نحو المحاور المتعامدة الثلاثة x وy، z.

ج. أربعة من أفلاك d الخمسة لها نفس الشكل ولكنها تقع في مستويات مختلفة. الفلك d_{z^2} له شكله المميز.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

التأكد من فهم النص
مستويات *s* كروية الشكل ، ومستويات *p* على شكلِ (8).

الإثراء

المُستويات الفَرعِيَّة قد يَعتَقِدُ الطُّلاَّبُ أنَّ الحُروفَ s و p و d و f التي تُمثِّلُ المُستَويات الفَرعيَّة، عشوائيَّةٌ ورُبَّما حتّى مُبهَمَة. إشرَح لطلابِك أنَّ مصدر الحُروفَ أوصَاف الخُطُوطِ الطَّيفِيَّةِ التَّالية باللغة الانكليزية: sharp و principal و diffuse و fundamental (أي حاد، رئيس، مشتت، أساسي).

صياغة المَفاهِيم

مَدَارات الهيدروجين إعرِض على الطُّلاَّبِ التوزيع الاحتمالي لِمَدَاراتِ الهيدروجين 1s و 2s و 3s. إشرَح لهم أنَّ هَذهِ التَّوزيعَاتَ تُظهر المَكانَ الأكثَرَ احتِمَالاً لِتَواجُدِ الإلكترُون.
أشِر إلى أنَّ التوزيع الاحتمالي للمستوى 1s له حدّ أقصى بالقُربِ مِن النَّواة. يُمَثِّلُ الحدّ الأقصى مِنطقَةَ كَثَافةٍ عالية للإلكترونات.
يحتَوي الاحتمال الأكبَر للمستوى 2s على منطَقَتَي كَثافةٍ إلكترُونيّة. الأبعدُ بينهما كثافتها أكبَر.
تَمَّ فَصلُ المِنطَقَتَينِ بِواسِطَةِ عُقدَةٍ كُرَوِيَّةٍ فَبَاتَ احتِمَالُ العُثورِ على الإلكترون صِفرا.
يحتَوي المستوى 3s على ثَلاثَة مَناطِقَ للكثافة الإلكترونيّة وعقدتين. كَمَا هُوَ حال المستوى 2s، تُعَدُّ أبعدُ مِنطَقَةٍ مِنَ النَّواةِ هي أعلاها كَثافَةً إلكترونيّة.

التقويم

المعرِفة اسأل الطُّلاَّبَ تحديد الانتقال في مستويات الطاقة في الهيدروجين الذي يُفسِّرُ الخَطَّ البنَفسجيّ في طيْف الانبعاث.
$n = 6 \rightarrow n = 2$ ض م

دفتر الكِيمِيَاء

أشكال المستويات أُطلُب إلى الطَّلَبَةِ رَسمَ مُخَطَّطِ لأشكالِ واتجاهات المستويات 3s و 3p و 3d للهيدروجين. أُطلُب منهُم تَسمِيَةَ رسوماتهم الأوّلية وإدراجِها ضِمنَ دفاتر في الكيمياء. ض م

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

Sci_Gr09_Gen_Core_TE_CH12.indb 344 1/30/2017 2:03:02 PM

الجدول 2 أول أربعة مستويات طاقة رئيسة للهيدروجين

رقم الكم الرئيس (n)	المستويات الفرعية (أنواع الأفلاك) الموجودة	عدد الأفلاك المتعلقة بالمستوى الفرعي	إجمالي عدد الأفلاك المتعلقة بالمستوى الرئيس للطاقة (n^2)
1	s	1	1
2	s p	1 3	4
3	s p d	1 3 5	9
4	s p d f	1 3 5 7	16

ترد مستويات الطاقة الأربعة الأولى للهيدروجين ومستوياته الفرعية والأفلاك الذرية المتعلقة به بإيجاز في الجدول 2. لاحظ أن عدد الأفلاك المرتبط بكل مستوى فرعي دائمًا ما يكون عدداً فردياً. وأن أقصى عدد أفلاك يتعلق بكل مستوى طاقة رئيس يساوي n^2.

في أي وقت محدد، يمكن أن يشغل الإلكترون في ذرّة الهيدروجين فلكًا واحداً فقط. يمكنك التفكير في الأفلاك الأخرى كمساحات غير مشغولة– مساحات تتوافر في حال زادت طاقة الذرّة أو قلت. على سبيل المثال، حين تكون ذرّة الهيدروجين في حالتها المستقرة، يشغل الإلكترون فلك 1s. إلا أنه حين تكتسب الذرّة كمًا من الطاقة، ينتقل الإلكترون إلى أحد الأفلاك غير المشغولة. بناء على كمية الطاقة المتاحة، يمكن للإلكترون أن ينتقل للفلك 2s أو إلى أحد الأفلاك 2p الثلاثة أو إلى أي فلك آخر فارغ.

مراجعة القسم 2

ملخص القسم

- يعزي نموذج بور الذري طيف انبعاث الهيدروجين للإلكترونات التي تسقط من مدارات طاقة أعلى إلى مدارات طاقة أقل.
- تربط معادلة دي بروغلي طول موجة الجسيم بكتلته وسرعته وثابت بلانك.
- يفترض النموذج الميكانيكي الكمي أن للإلكترونات خصائص موجية.
- تشغل الإلكترونات مناطق ثلاثية الأبعاد من الفضاء تسمى الأفلاك الذرية.

15. **الفكرة الرئيسة فسر** سبب احتواء طيف الانبعاث الذري على ترددات ضوئية محددة وفقًا لنموذج بور الذري.
16. **قرّق** بين الطول الموجي للضوء المرئي والطول الموجي لكرة قدم متحركة.
17. **عدّد**المستويات الفرعية التي تحتوي عليها مستويات الطاقة الأربعة الأولى لذرة الهيدروجين. ما الأفلاك التي تتعلق بكل مستوى فرعي s وكل مستوى فرعي p؟
18. **فسر** سبب الشك في موقع أي إلكترون بالذرة مستعينًا بمبدأ هايزنبرج للشك ومعادلة دي بروغلي لازدواجية الموجة–الجسيم. كيف يتم التعرف على موقع الإلكترونات في الذرات؟
19. **احسب** استخدم المعلومات الواردة في **الجدول 1** في حساب إلى أي ضعف يزيد طول نصف قطر بور السابع لذرة الهيدروجين عن نصف قطر بور الأول.
20. **قارن** بين نموذج بور والنموذج الميكانيكي الكمي للذرة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

3 التقويم

التأكد من الفهم

أُطلُب مِنَ الطُّلاَّبِ شَرحَ السَّببَ وَراءَ تَكَوُّنِ مُستَوياتِ الطَّاقَةِ العُليا مِن مُستَوياتٍ فَرعِيَّةٍ مُرتَبِطَة بِإلكترونات أكثَرَ مِمَّا ترتَبِطُ بِهِ مُستَوياتِ الطَّاقَةِ المُنخفِضَة. وتقتَرِنُ مُستويات الطَّاقة العُليا بِأحجامٍ أكبَرَ حيثُ إنّ بِإمكانها اِحتِواءَ أفلاكٍ أكثَرَ مِمَّا تحويهِ الأحجامِ الأصغَر. فإنَّهُ مِنَ المَعقول إذًا أن يَتِمَّ احتِواءُ إلكتروناتٍ أكثَرَ في أكبَرِ عددٍ من الأفلاك المُقتَرِنَة بِمُستَوياتِ طاقَةٍ عُليا. ض م

تِكرارُ التّعليم

اِشرَح أنَّ مَوقِعَ وسُرعةَ الإلكترون في المَدار الذَّرِّي غير مَعلُومَان. كَرِّر لطلابِك أنَّهُ في لَحظَةٍ مُعَيَّنة، هُناكَ احتِمَالُ 10% أنَّ الإلكترون يَقَعُ خارِجَ سطح احتمال الـ90% للغلك. ض م

التوسع

وفقًا لِميكانيكا الكَمّ، يُمكِنُ وَصف كُلّ إلكترون في الذَّرَّةِ باستخدام أربَعَةِ أرقام للكَمّ. يرتَبِطُ ثلاثة من هذه (n و l و m_l) باحتِمالِ العُثُور على الإلكترون في مواقع مُختَلِفَة مِن الفضاء. وترتَبِطُ الرَّابِعة (m_s) بدوران الإلكترون — إمَّا في اتِّجَاهِ عَقارِبِ السَّاعَةِ أو عَكسَ عَقارِبِ السَّاعَةِ. يَرمُزُ عددُ الكمّ الرّئيسيّ، n، لِمُستوى طاقةِ الذَّرَّةِ المُرتَبِطة بالإلكترون. ويَرمُزُ l لِلمُستَوى الفرعي للطَّاقة كَمَا يَصِفُ شَكلَ المِنطَقة التي ينتقل فيها الإلكترون في الفضاء. m_l تَرمُزُ لاتِّجاه المدار الحامِلِ للإلكترونات في الفضاء. m_s تُحدِدُ اتِّجاه مِحوَرِ غزل الإلكترون. ق م

القسم.2 المُراجَعة

15. نَظرًا إلى أنّ البَعضَ فقط مِن الطَّاقاتِ الذَّرِّيَّةِ مُمكِنَة، فإنَّ تردُّدات مُعيَّنَة فقط مِنَ الإشعاع يُمكِنُ أن تَنبَعِثَ مِنَ الذَّرَّة.
16. إنَّ طُول مَوجةِ كُرةِ قَدَمٍ مُتحرِّكة أصغَرُ بِكثيرٍ من الأطوال الموجيَّة لِلضّوءِ المَرئيّ. إنَّ طُولَ مَوجَةِ كُرةِ القَدمِ المُتَحرِّكَة أصغرَ مِن أن نتمَّكن من رُؤيَتِها أو استشعارها.
17. مُستوى الطَّاقةِ الأوَّل، s. مُستوى الطاقةِ الثَّاني، s و p. مُستَوى الطَّاقةِ الثَّالِث، s و p و d. مُستَوى الطَّاقةِ الرَّابِع، s و p و d و f. يرتَبِطُ كُلُّ مُستوًى فرعي بِمَدار s كُرويّ. يرتَبِطُ كُلُّ مُستوًى فرعي p بمدارات تُشبِهُ شكل الدمبل (رقم 8)(p_x، p_y، و p_z).
18. يتمتَّعُ الإلكترون بِخصائص الموجة–الجُسيم ولا يملِكُ موقِعًا مُحدَّدًا واحِدًا في الفضاء. يَنُصُّ مَبدأ الشك لِهَايزنبيرغ عَلى أنَّهُ مِنَ غيرِ المُمكِنِ مَعرِفَة سُرعَةِ ومَوقِعِ الجُسَيمِ في الوقت ذاته بِدِقَّةٍ.
19. $n = 7$ نصف القطر: 2.59 nm؛ $n = 1$: نصف القطر: 0.0529 nm مرة أكبر 2.59 nm ÷ 0.0529 nm = 49.0
20. نَموذج بُوْر: الإلكترون هُوَ جُسَيمٌ؛ لا تَملِكُ ذرَّة الهيدرُوجين سِوَى مستويات طاقةٍ مَسموحٍ بها مُعيَّنة. نَمُوذج ميكانيكا الكمّ: الإلكترون له خواص موجية–جُسَيمَة. تَقتصِرُ طَاقَةُ الإلكترُون بِقِيَمٍ مُعَيّنة. كذلك، فإنَّ نَمُوذَجَ ميكانيكا الكَمّ لا يُقدِّمُ أيَّ جَزمٍ بِشَأنِ مَسَارِ الإلكترونِ حَولَ النَّواةِ.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

Sci_Gr09_Gen_Core_TE_CH12.indb 345 1/30/2017 2:03:02 PM