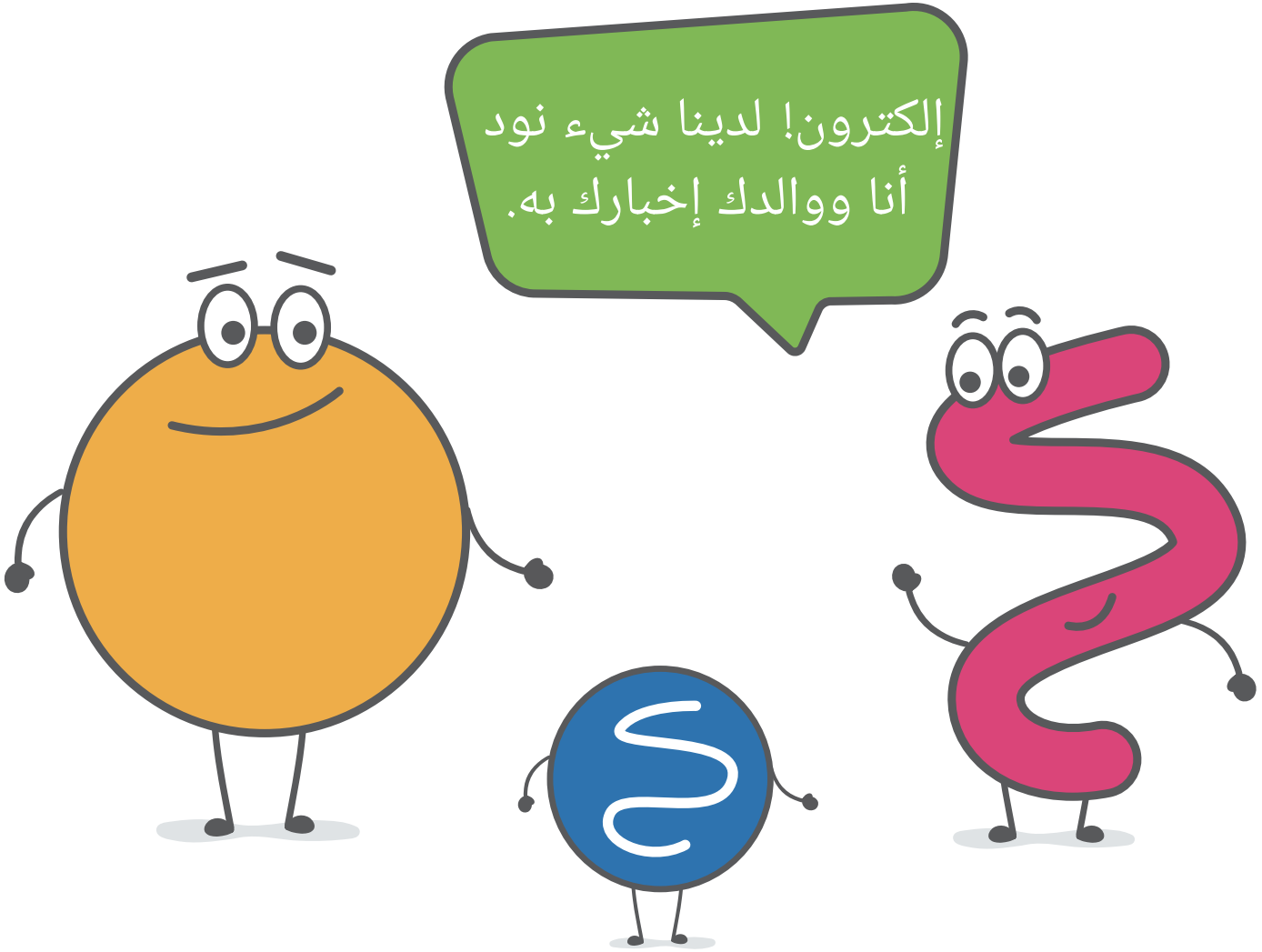
النظرية الذرية الحديثة



أهداف الدرس

ستتمكَّن من:

- وصف عيوب نموذج بور للذرة
- ذكر ازدواجية الموجة والجسيم للإلكترون
- وصف كيفي لمبدأ مبدأ عدم التأكُّد لهايزنبرج فيما يتعلق بالموضع والسرعة
- وصف للنموذج الميكانيكي الموجي للذرة
- توضيح كيف يتحدد موضع إلكترون داخل حجم معين من الذرة عن طريق الاحتمال

النماذج الذَّرِّية

عبَّر نموذج الكرة المصمتة لجون دالتون عن طريقة تراصِّ الذرات معًا.

فسَّر نموذج حلوى البرقوق لجيه جيه طومسون وجود جسيمات سالبة الشحنة في الذرة، نُسمِّيها «الإلكترونات».

أثبت كلٌّ من جيجر وماريسدن وإرنست رذرفورد وجود النواة، وهي جزء كثيف موجَب الشحنة موجود في مركز الذرة تمامًا. وهذه النواة تحتوي على البروتونات.

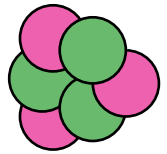
النماذج الذَّرِّية (متابعة)

قدَّم نيلز بور وإرنست رذرفورد نموذج بور-رذرفورد، المُسمَّى غالبًا نموذج بور فحسب، وفي هذا النموذج تشغل الإلكترونات مدارات حول النواة مثل الكواكب حول الشمس. وهذا يفسِّر خواص طيف انبعاث الهيدروجين.

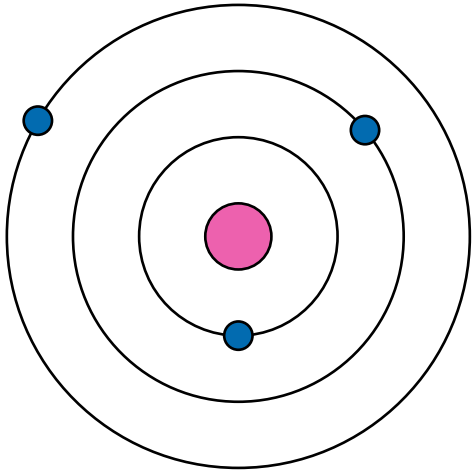
أثبت تشادويك فيما بعد أن النوى أيضًا تحتوي على جسيمات غير مشحونة. وهذه الجسيمات هي النيوترونات.

النماذج الذَّرِّية (متابعة)

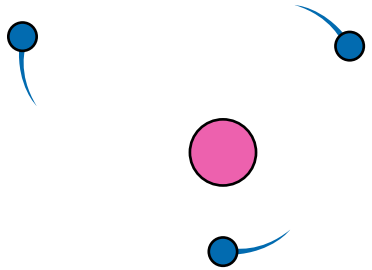
نواة
تشادويك



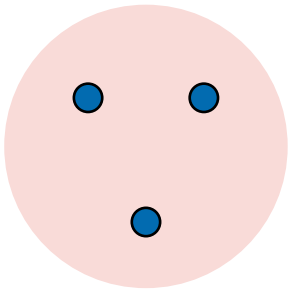
نموذج الكواكب
الذري لبور



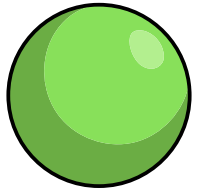
نموذج رذرفورد
للذرة

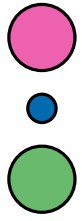


نموذج حلوى البرقوق
لجيه جيه طومسون



نموذج الكرة
المصمتة لدالتون





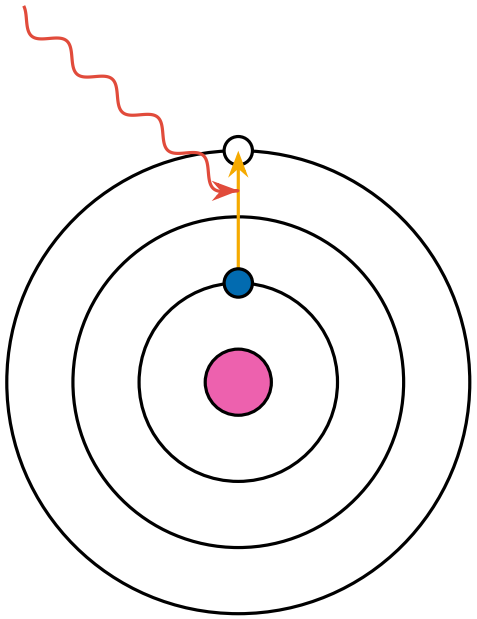
نموذج بور للذرة

يقترح نموذج بور ما يلي عن الذرات:

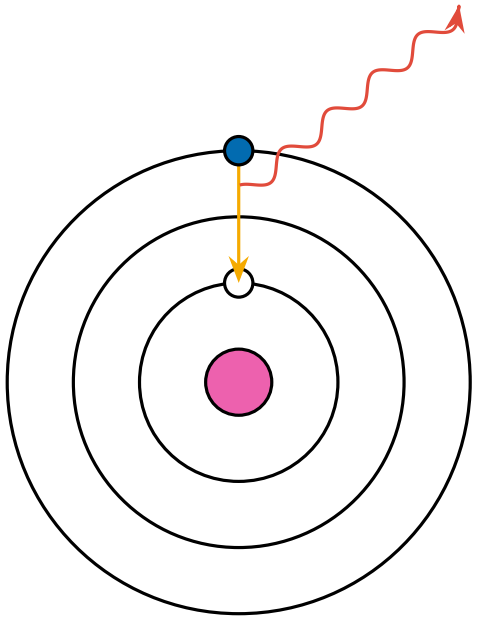
- توجد في مركز الذرة نواة موجبة الشحنة
- تدور الإلكترونات حول النواة في مدارات دائرية مستوية.
- يتحدَّد نصف قطر كل مدار بواسطة الشحنة النووية.
- من المستحيل أن يدور إلكترون حول النواة في الفراغات الموجودة بين المدارات الثابتة.

نموذج بور للذرة (متابعة)

يمكن انتقال الإلكترون إلى مدار أعلى، وعندما يهبط مرة أخرى، فإنه يُطلِق ضوءًا محدَّد الطاقة.



إثارة الهيدروجين
بواسطة الضوء



الهيدروجين المثار
ينبعث منه ضوء

قصور نموذج بور

المشكلات الرئيسية في نموذج بور التي أدت إلى مراجعته:

- لم يفسِّر النموذج طاقات انتقالات الإلكترون في الأنظمة التي تحتوي على أكثر من إلكترون واحد.
- لم يفسِّر النموذج حقيقة أن بعض خطوط الانبعاث في طيف الانبعاث الذَّرِّي أكثر كثافةً من غيرها.
- لم يفسِّر النموذج حقيقة أن بعض خطوط الانبعاث قريبة جدًّا بعضها من بعض؛ ما يعني أنها لم تَنتج عن انتقالات مختلفة.
- لم يوفِّر نموذجًا لكيفية الترابط.
- يخالِف النموذج مبدأ عدم التأكد لهايزنبرج.
- تعامَلَ نموذج بور مع الإلكترونات بوصفها جسيمات، ولم يأخذ في الاعتبار أن الإلكترونات لها خواص موجية أيضًا.
- تعامل بور مع ذرة الهيدروجين على أنها ثنائية الأبعاد؛ حيث يتحرَّك الإلكترون في مستوًى واحد مستوٍ.

تعريف: مبدأ عدم التأكد لهايزنبرج

كلما زادت دقة تحديد موضع جسيم ما في الفراغ، قلَّت قدرتنا على تحديد كمية حركته بدقة (والعكس صحيح).

ببساطة، يمكننا معرفة إما موضع الجسيم أو مدى سرعته (واتجاهها). يُعَد هذا المبدأ مهمًّا فقط للجسيمات دون الذَّرِّية، أو الأجسام الأكبر حجمًا التي تتحرَّك بسرعات كبيرة جدًّا.

تعريف: ازدواجية الموجة والجسيم

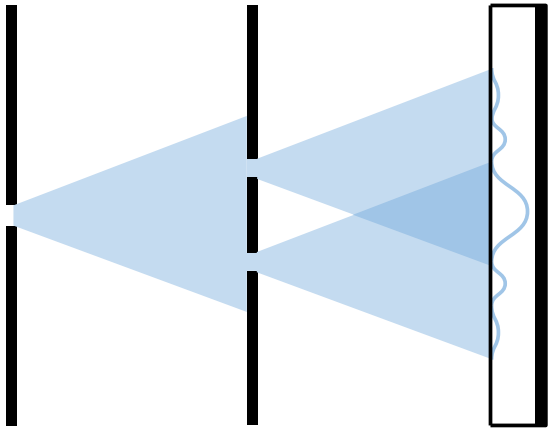
يمكن أن تُظهِر الأجسام المادية خواصَّ موجية وخواصَّ جسيمية. ويتوقَّف مدى ظهور هذا السلوك على طبيعة هذه الأجسام ومدى سرعة حركتها.

يتضح من ذلك أن أي جسيم يمكن وصفه بطرق موجية، وأي موجة يمكن وصفها بطرق جسيمية.

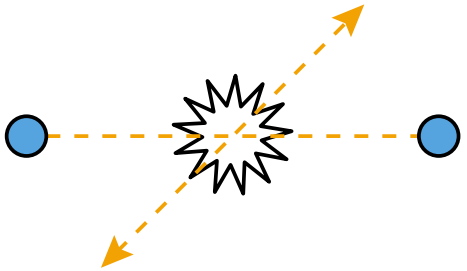
لكننا بوجهٍ عام لا نلاحظ السلوك الموجي إلا عندما تتحرَّك الجسيمات بسرعة قريبة من سرعة الضوء.

تعريف: ازدواجية الموجة والجسيم (متابعة)

يمكن أن يتصرَّف الإلكترون كالجسيم؛ لأن الإلكترونات لها كتلة، فيمكن للإلكترونات أن ترتدَّ عند اصطدام بعضها ببعض. ومع ذلك يمكن للإلكترونات أيضًا أن تسلك سلوك الموجات، وتُنتِج أنماط حيود بنفس الطريقة التي يتصرَّف بها الضوء في تجربة الشق المزدوج.



سلوك موجي

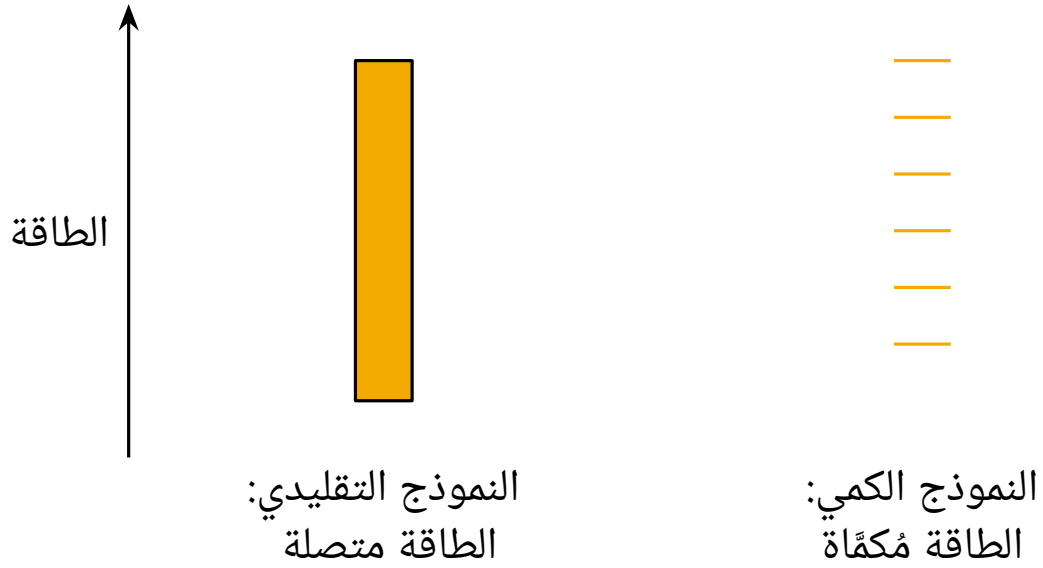


سلوك جسيمي

الفيزياء الكلاسيكية ونظرية الكم

في الفيزياء الكلاسيكية، يُنظَر إلى جميع أنواع الطاقة على أنها متصلة. يمكن أن تأخذ الطاقة أي قيمة.

لكن نظرية الكم طرحت الفكرة القائلة بأن أنواعًا محدَّدة من الطاقة تأتي في حُزَم منفصلة تُسمَّى الكَمَّات.



الفيزياء الكلاسيكية ونظرية الكَم (متابعة)

ينتقل الضوء في صورة كَمَّات تُسمَّى الفوتونات. ففوتون الضوء الأخضر يملك تقريبًا المقدار المناسب من الطاقة لكسر الرابطة الأحادية بين ذرتَي كلور. أما فوتون الضوء الأزرق فيمتلك طاقة أكبر، ويمتلك فوتون الضوء الأحمر طاقة أقل.

إذا كانت طاقة الفوتون أصغر من فرق الطاقة اللازم للانتقال، فلا يمكن أن يحدث هذا الانتقال.

مثال ١: التعرُّف على العبارة التي لا تمثِّل أحد عيوب نموذج بور للذرة

أيٌّ من الآتي **ليس** من عيوب نموذج بور للذرة؟

أ. تتحرَّك الإلكترونات حول النواة في مدارات دائرية مستوية.

ب. تُعَدُّ الإلكترونات جُسيمات فقط، وليست موجات.

ج. من المُمكِن تحديد موضع الإلكترون وكمية حركته معًا بدقة في الوقت نفسه.

د. تستطيع الإلكترونات في الذرات أن تَشْغَل فقط مستويات طاقة مكمَّاة.

هـ. أنه يشرح طيف الانبعاث الخَطي لذرة الهيدروجين فقط.

مثال ١ (متابعة)

الحل

في نموذج بور للذرة، وُصِفت الإلكترونات بأنها تشغل مدارات دائرية مُستَوية حول نواة مركزية. ولكن دي برولي أثبت أن الإلكترونات تتَّصِف بازدواجية الموجة والجسيم. بناءً على هاتين النقطتين، يمكننا بوضوح أن نقول إن العبارتين أ وب من العيوب في نموذج بور.

ويُشير نموذج بور إلى أنه يمكن تحديد موضع وكمية حركة الإلكترون معًا بدقة في الوقت نفسه. لكن وفقًا لمبدأ عدم التأكد لهايزنبرج، كلما زادت دقة تحديد موضع جسيم ما في الفراغ، قلَّت قدرتنا على تحديد كَمية حركته بدقة. وهذا عيب آخر في نموذج بور، إذن العبارة ج من عيوب نموذج بور.

مثال ١ (متابعة)

طرح نموذج بور للذرة فكرة أن الإلكترونات تشغل مدارات ذات طاقات ثابتة.

ونتج عن ذلك قائمة بالانتقالات الممكِنة بين المدارات التي لها قيمة طاقة محدَّدة. بناءً على هذه الانتقالات والطاقات المميَّزة، يمكن تفسير طيف الانبعاث الخَطِّي لذرة الهيدروجين بدقة.

ولكن لم ينجح هذا النموذج مع الذرات التي تحتوي على أكثر من إلكترون واحد. وهذا يجعل العبارة هـ أحد عيوب نموذج بور للذرة. وبما أن مفهوم شغل الإلكترونات لمستويات طاقة مُكمَّاة لا يزال جزءًا من النظرية الذَّرِّية الحديثة، فإن العبارة د ليست من عيوب نموذج بور.

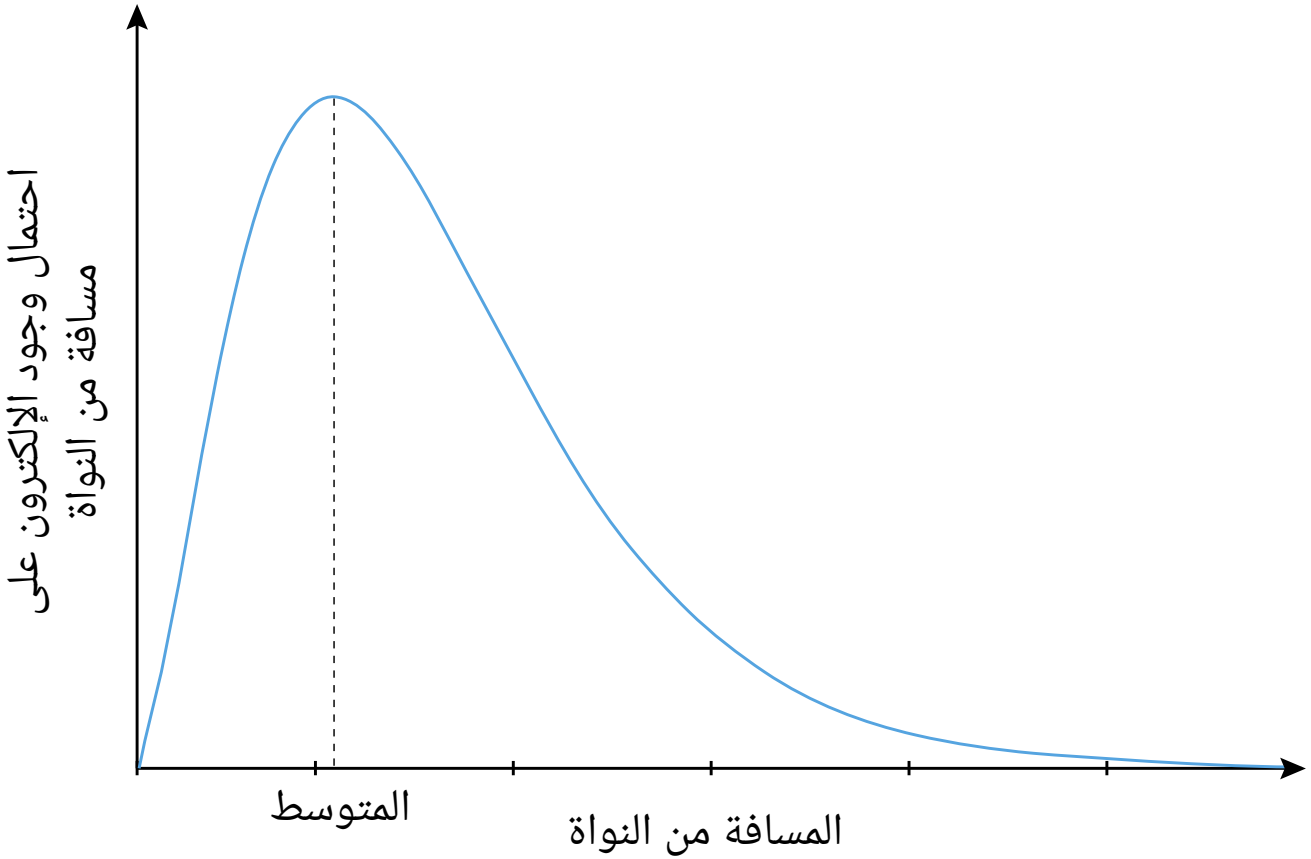
إذن الإجابة الصحيحة هي العبارة د.

توزيع الإلكترون ومتوسطه

الوصف القديم للمسافة بين الإلكترون والنواة هو أنها تظل ثابتة، في حين وصف النموذج الميكانيكي الموجي أن للإلكترونات مجموعة من المواضع الممكنة. ففي أي لحظة من الزمن، قد يكون الإلكترون قريبًا من النواة أو بعيدًا عنها.

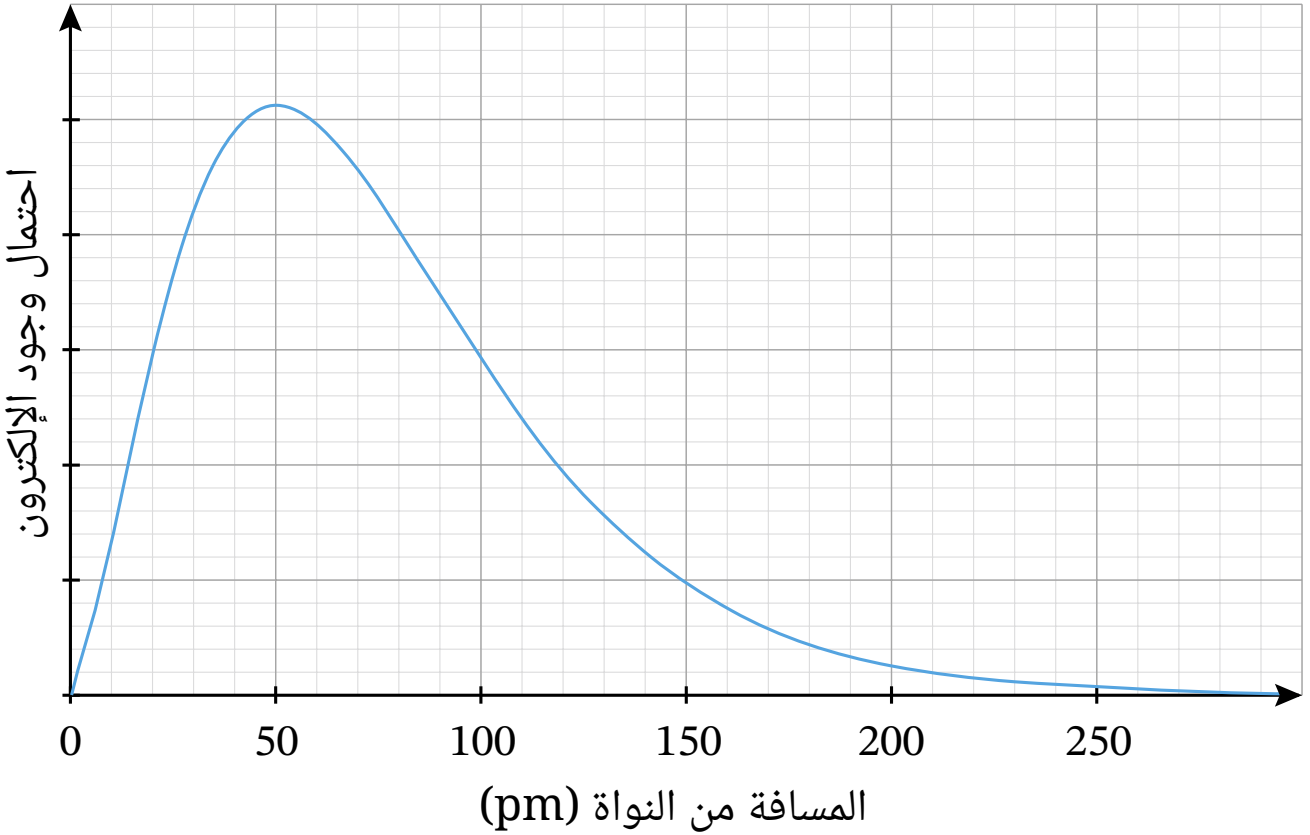
عندما يكون لدينا مواضع لها احتمالات مختلفة، نستخدم مصطلح التوزيع. يمكننا أن نفكِّر في أن الإلكترون موجود على مسافة ثابتة من النواة لمقدار محدَّد من الزمن.

توزيع الإلكترون ومتوسطه (متابعة)



ففي بعض الأحيان يكون الإلكترون قريبًا من النواة، وأحيانًا أخرى يكون بعيدًا عنها. لكن في معظم الأحيان يكون الإلكترون في المنتصف بينهما، على الرغم من أن موضع الإلكترون ذي الخواص الموجية أمر معقَّد للغاية؛ لذا، فهذا مجرد تبسيط.

مثال ٢: تحديد المسافة المرجح أن يبعُدها إلكترون في المدار 1s عن النواة



يوضِّح التمثيل البياني احتمال وجود الإلكترون الموجود على بُعد مسافة من النواة في المدار 1s لذرة الهيدروجين. ما المسافة التقريبية التي يُحتمَل وجود الإلكترون عندها بعيدًا عن النواة؟

مثال ٢ (متابعة)

الحل

توضِّح النظرية الذَّرِّية الحديثة، أو تحديدًا نظرية الكَم، أن الإلكترون يشغل مجموعة من المواضع المختلفة، لكن باحتمالات مختلفة. يمكننا أن نفكِّر في أن الإلكترون موجود على مسافة ثابتة من النواة لمقدار محدَّد من الزمن.

يوضِّح التمثيل البياني المُعطى في السؤال احتمال إيجاد إلكترون على مسافة من النواة في المدار 1s لذرة الهيدروجين. يمثِّل المحور س المسافة من النواة بالوحدة بيكومتر (pm)، أما المحور ص فيمثِّل احتمال وجود الإلكترون عند هذه المسافة.

مثال ٢ (متابعة)

من هذا التمثيل البياني، يمكننا أن نلاحظ أن أعلى نقطة على المنحنى، ومن ثَمَّ أعلى قيمة على المحور ص، تقابل مسافة قدرها 50 pm تقريبًا من النواة.

إذن، الإجابة الصحيحة هي 50 pm.

النموذج الميكانيكي الموجي

توصَّل إرفين شرودنجر إلى صيغة تربط هذا التوزيع الاحتمالي بطاقة الإلكترون، تَطابَقت مع طاقات نموذج بور لذرة الهيدروجين.

يُعرَف النموذج الحديث الذي وضعه شرودنجر بالنموذج الميكانيكي الموجي للذرة. بحل معادلة شرودنجر، يمكننا تحديد مستويات الطاقة والموقع الأكثر احتمالًا للإلكترون في كل مستوًى من مستويات الطاقة بالنسبة إلى النواة.

أدَّى عمل شرودنجر إلى مفهوم السحابة الإلكترونية، وهي منطقة الفراغ المحيطة بالنواة التي يمكن أن يُوجَد فيها الإلكترون.وأدَّى ذلك إلى معرفة المدارات الذَّرِّية، وهي أشكال أكثر تعقيدًا من المدارات الدائرية المستوية لنموذج بور.

تعريف: السحابة الإلكترونية والمدارات

السحابة الإلكترونية

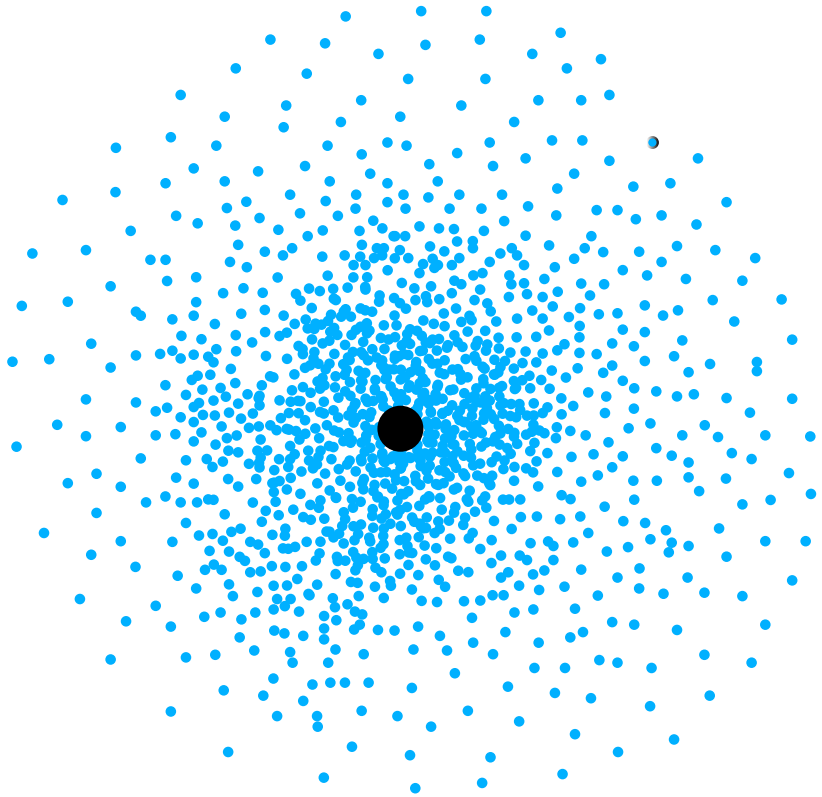
السحابة الإلكترونية تَصِف الفراغ الموجود حول نواة الذرة الذي يُحتَمل وجود الإلكترون فيه.

المدارات الذَّرِّية

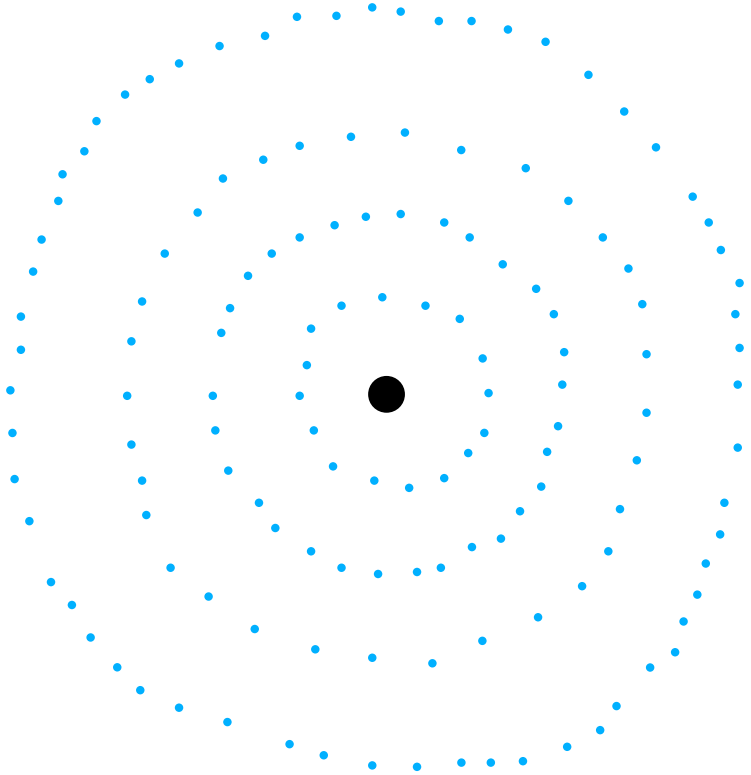
المدارات الذَّرِّية تعبيرات رياضية ثلاثية الأبعاد تَصِف جزءًا من السحابة الإلكترونية، وتمثِّل الموقع الأكثر احتمالًا للإلكترون في الذرة.

مثال ٣: تحديد مخطط الكثافة الذي يَصِف بأفضل طريقة الموقع المحتمل للإلكترون في ذرة الهيدروجين طبقًا لنظرية الكَم

أيُّ مخطَّطات الكثافة يمثِّل تمثيلًا دقيقًا الموقع المحتمل للإلكترون في ذرة الهيدروجين وفقًا لنظرية الكَم للذرة؟

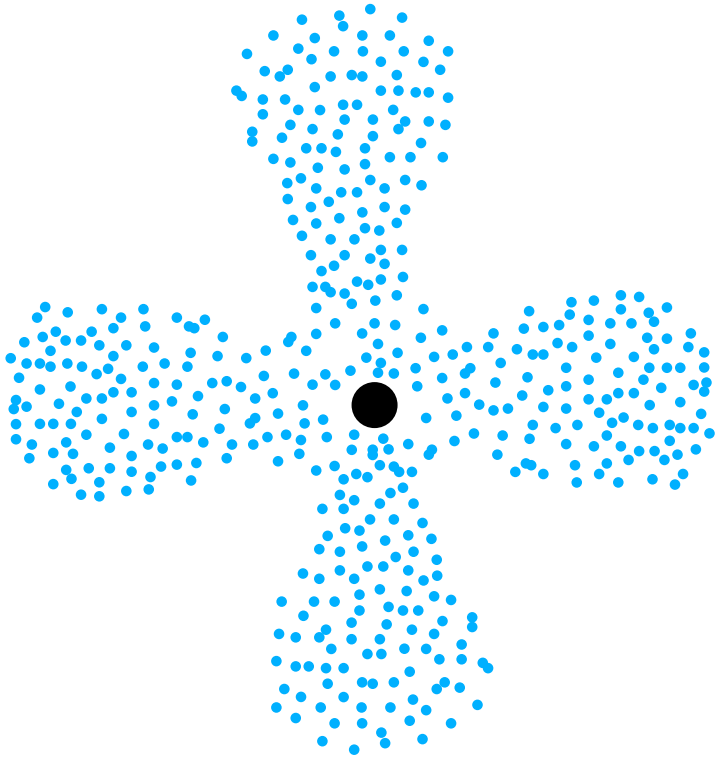


ب

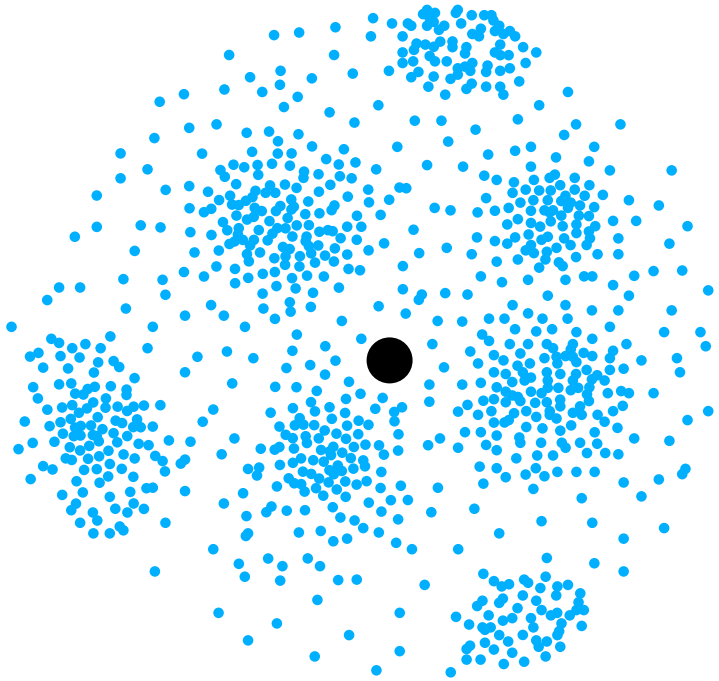


أ

مثال ٣ (متابعة)



ج



د

مثال ٣ (متابعة)

الحل

كل مخطَّط يحتوي على نقطة كبيرة سوداء (النواة) وبعض النقاط الزرقاء الصغيرة (كثافة الإلكترون). كلما اقتربت النقاط الزرقاء بعضها من بعض، زاد احتمال وجود الإلكترون في هذا الموضع.

يوجد في ذرة الهيدروجين إلكترون واحد في مدار 1s. ينجذب هذا الإلكترون بقوة إلى نواة الهيدروجين، ومن المرجح أن يُوجَد بالقرب من النواة. كلما ابتعدنا عن النواة، قل احتمال وجود الإلكترون.

مثال ٣ (متابعة)

الخيار أ غير صحيح؛ لأن هناك احتمالًا لوجود الإلكترون على أي مسافة من النواة، وليس عند مسافات ثابتة فقط. هذا الشكل أقرب إلى نموذج بور للذرة.

في الخيار ج، تتبع النقاط نمطًا غير معتاد، فتُوجَد مناطق بها نقاط كثيرة ومناطق فارغة.

في الحالة المستقرة لذرة الهيدروجين، ستكون الكثافة الإلكترونية ذات تماثل كروي، وهو أقل توزيع للطاقة.

ولذلك، فإن الخيار ج غير صحيح.

يوجد بالخيار د تجمُّعات غريبة تزداد فيها كثافة الإلكترونات، ولا يوجد سبب وراء ذلك؛ لأنه لا يُوجَد شيء لجذب الإلكترون إلى النواة.

مخطط الكثافة الأكثر دقةً هو الذي يوضِّح زيادة كثافة الإلكترونات كلما اقتربنا من النواة. الإجابة هي الخيار ب.

النقاط الرئيسية

- النموذج الحديث للذرة تطويرٌ لنموذج بور، الذي ينص على أن الإلكترونات تدور في مدارات دائرية حول النواة على مسافات ثابتة.
- استطاع نموذج بور تفسير طاقات الذرات ذات الإلكترون الواحد فقط مثل الهيدروجين.
- افترَض نموذج بور أن للإلكترونات خواصَّ جسيمية فقط، لكن للإلكترونات خواص موجية أيضًا.
- طبقًا لنموذج بور، يدور إلكترون ذرة الهيدروجين حول النواة في مستوًى ثنائي الأبعاد، وهو ما يجعل ذرة الهيدروجين مسطَّحة بشكل أساسي.
- يخالف نموذج بور مبدأ عدم التأكد لهايزنبرج، الذي يُعَد أحد السمات الأساسية للكون.

النقاط الرئيسية (متابعة)

- ينص مبدأ عدم التأكد لهايزنبرج على أنه كلما زادت دقة معرفتنا بموضع الجسيم، قلَّت دقة معرفتنا بكمية حركته، والعكس.
- الطبيعة الموجية للإلكترون جزءٌ من مفهوم ازدواجية الموجة والجسيم، الذي ينص على أن الجسيمات، مثل الإلكترونات، لها خواصُّ موجية أيضًا.
- توضِّح لنا النظرية الحديثة للذرة؛ أي النموذج الميكانيكي الموجي، أن الإلكترونات مثل الموجات الثابتة؛ لها توزيعات احتمالية لمواضعها. وتُعرَف التوزيعات الاحتمالية هذه بالدوال الموجية.
- من خلال حل معادلة شرودنجر، يمكن تحديد مستويات الطاقة الممكنة في نظام ما، وتحديد مناطق الفراغ حول النواة التي يمكن إيجاد الإلكترون فيها، والتي تُعرَف باسم السحابة الإلكترونية.