



كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الاولى

المادة : كيمياء عامة ١

المحاضرة: الخامسة/نظري/د. ميرنا صالح

{{ مكتبة A to Z }}

مكتبة A to Z : Facebook Group

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية ، تكنولوجيا المعلومات والاتصالات

٨

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

	الكيمياء العامة I	المحاضرة الخامسة
د.ميرنا صالح	الفصل الثاني بنية الذرة The Structure of The Atom	قسم الفيزياء السنة الأولى - الفصل الأول
تتضمن هذه المحاضرة: 4082 كلمة تشمل: 20998 حرف موزعة ضمن: 14 صفحة		

الهدف التعليمي من المحاضرة الخامسة

Educational Goal

في نهاية هذا المحاضرة ستكون قادر على فهم:

- ✓ استيعاب التجارب المبكرة في توصيف الذرة من خلال تجارب ثومسون وميليكان
- ✓ استيعاب وفهم فرضية رذرفورد حول بنية الذرة.
- ✓ استيعاب وفهم نموذج بور وأهم مسلماته.
- ✓ استيعاب وفهم بنية الذرة وفق ميكانيك الكم.

جميع الحقوق محفوظة لأصحابها من حيث الاقتباس والصور على شبكة الانترنت



تجربة رذرفورد

تعتبر تجربة رذرفورد (صفحة الذهب) من أهم التجارب التي أثبتت وجود النواة ضمن الذرة وبالتالي أثبتت خطأ تصور نموذج ثومسون للذرة.

مع نهاية القرن التاسع عشر اكتشف العلماء نوع من العناصر يملك طاقة إشعاع عالية، حيث وجد العالم الفرنسي هنري بيكريل **Henri BECQUEREL** عام 1896 وبدون قصده أن قطعة معدنية تحوي اليورانيوم يمكن أن تشكل صورتها على صفيحة تصوير وذلك بغياب الضوء، وقد نسب هذه الظاهرة للانبعاث العفوي للإشعاع من قبل اليورانيوم، هذه الظاهرة دعاها **بالنشاط الإشعاعي Radioactivity**، وقد أظهرت الدراسات التي جرت في بداية القرن العشرين ثلاثة نماذج من الانبعاثات الإشعاعية **Radioactivity Emission**.


سنبدأ محاضرتنا هذه بتعريف هذه النماذج ثم شرح التجارب التي اعتمدت عليها في توضيح بنية الذرة.

الصفحة	المحتوى
63	نموذج رذرفورد (الذرة النووية)
65	نموذج بور
69	نموذج ميكانيك الكم للذرة
72	الاشعاع الكهرومغناطيسي.

كما ذكرنا، أظهرت الدراسات التي جرت في بداية القرن العشرين ثلاثة نماذج من الانبعاثات الإشعاعية Radioactivity Emission تتمثل فيما يلي:

الانبعاثات الإشعاعية:

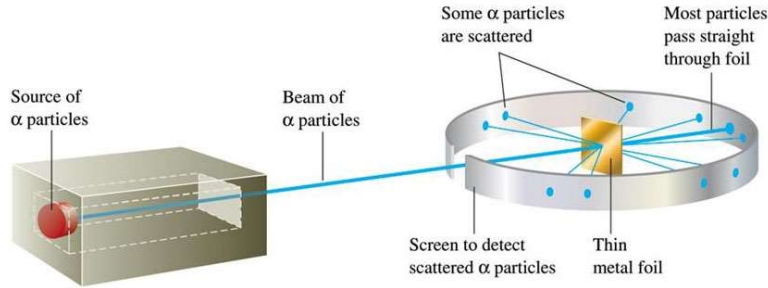
- **أشعة غاما (γ) Gamma Ray:** تمتلك طاقة عالية جداً (ضوء).
- **جزيئات بيتا (β) particles:** عبارة عن الكترونات فائقة السرعة.
- **جزيئات ألفا (α) particles:** وتمتلك شحنة مقدارها $(+2)$ ، حيث أنها تعادل ضعف شحنة الإلكترون بإشارة معاكسة، وتبلغ كتلة دقيقة ألفا **7300** ضعف كتلة الإلكترون.



نماذج أخرى من النشاط الإشعاعي باتت معروفة اليوم، وسنتطرق لها مستقبلاً، وسنقوم هنا بدراسة دقائق ألفا التي استخدمت في تجارب مبكرة كان لها دور حاسم في حياتنا.

II 4-3 – نموذج رذرفورد (الذرة النووية) Rutherford Model (Nuclear Atom)

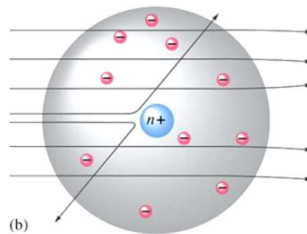
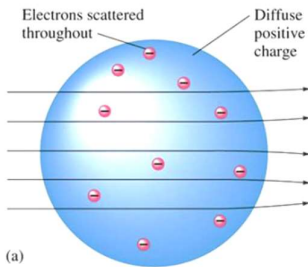
في عام 1911 قام العالم أرنست رذرفورد Ernest Rutherford (صاحب العديد من التجارب الرائدة) بإجراء تجربة لاختبار نموذج ال Plum Pudding (قطعة الحلوى) للذرة الذي وضعه العالم ثومسون والمتمثل في كون الإلكترونات تتواجد ضمن سحابة موجبة الشحنة.



الشكل (II-8):

تجربة صفيحة الذهب للعالم رذرفورد، حيث تعتمد على قذف صفيحة معدنية رقيقة بدقائق ألفا عالية السرعة، وأثبت من خلالها خطأ تصور العالم ثومسون حول بنية الذرة.

تمثلت تجربة رذرفورد الموضحة في الشكل (II-8) بتوجيه دقائق ألفا عالية السرعة نحو ورقة رقيقة من رقاقة معدنية (استخدم هنا ورقة من الذهب Gold Foil)، وقد استنتج رذرفورد أنه إذا كان نموذج ثومسون صحيحاً فإن دقائق ألفا يجب أن تمر عبر الصفيحة (تتحطم) كما تمر قذيفة مدفعية عبر قطعة شاش كما في الحالة (a) الشكل (II-9)



الشكل (II-9):

مقارنة بين حركة دقائق ألفا وفق نموذج ثومسون (a)، والنتائج التجريبية وفق تجربة رذرفورد (b).



هل تعلم



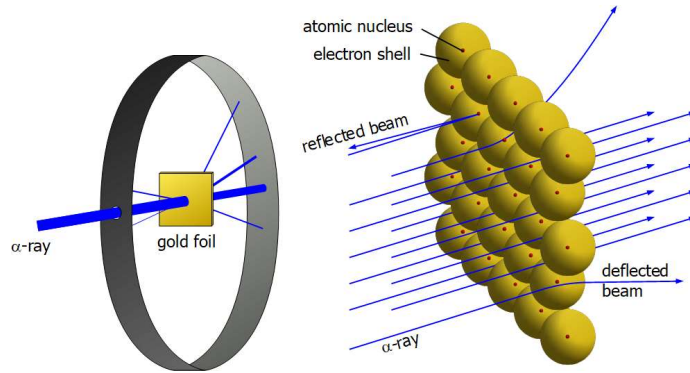
أرنست رذرفورد
Ernest Rutherford
1871-1937

عالم فيزياء بريطاني مولود في نيوزيلندا والذي يعرف بـ **أب الفيزياء النووية**. تصنفه الموسوعة البريطانية كأفضل المجريين منذ مايكل فزاداي. اكتشف في أحد أعماله المبكرة العمر النصف للعناصر المشعة، وأثبت أن النشاط الإشعاعي يشتمل على تحول العنصر الكيميائي إلى عنصر آخر، وسمى أنواع الإشعاع إلى **ألفا وبيتا**. كل هذه الأعمال تمت في جامعة ماك جيل بكندا. مؤدية لحصوله على **جائزة نوبل للكيمياء عام 1908**، كما اكتشف نواة الذرة واقترح سنة 1911 نموذجاً يشبه النظام الشمسي، حيث تشغل النواة المركز أما الإلكترونات فتدور حولها في مدارات دائرية. توفي العالم أرنست رذرفورد عام 1937 عن عمر يناهز 66 عاماً في كامبريدج.



تذكر هذا

من المحاضرة السابقة
ينص قانون النسب المحددة على:
" المركب المعطى يحتوي دائماً نفس النسبة بين كتل العناصر الداخلة فيه، وهذه النسبة لا تتعلق بطريقة الحصول على هذا المركب "



الشكل (II-10):

مخطط يوضح كيفية مرور دقائق ألفا عبر ذرات صفيحة الذهب في تجربة رذرفورد، حيث نلاحظ ارتداد هذه الدقائق **Reflected Beam** عند اصطدامها بالنواة الذرية **Atomic Nucleus**، والتي تكون محاطة بالسحابة الإلكترونية **Electron Shell**، بينما تنحرف الحزمة **Deflected Beam** عند مرورها بالقرب من نواة الذرة، هذا هو مفهوم تجربة رذرفورد التي أثبتت عدم صحة تصور **ثومسون للذرة**.

توقع رذرفورد أن تواجه جزيئات ألفا **Alpha Particles** الناتجة عن التحلل الإشعاعي للـ **Radioactive decay of Radium** خلال رحلتها عبر الصفيحة انحرافات طفيفة، ولكن نتائج التجربة كانت مختلفة عن توقعات رذرفورد، بالرغم أن معظم جزيئات ألفا عبرت بشكل مستقيم خلال الصفيحة، فإن:

- بعض هذه الجزيئات انحرفت بزوايا كبيرة عن مسارها، كما يظهر في الحالة (b) في الشكل (II-9) صفحة 63، وفي الشكل (II-10) أعلاه.
 - وبعضها انعكس عن الصفيحة.
- فكان ذلك أكبر مفاجأة للعالم رذرفورد.

إليك ما استنتجته رذرفورد:

لاحظ رذرفورد في تجربته ما يلي:

1. لأن معظم جسيمات ألفا سريعة الحركة مرت عبر ذرات الذهب بدون انحراف (لا بد أنها سافرت عبر الفضاء الفارغ داخل الذرة).
2. جسيمات ألفا موجبة الشحنة، لذلك نشأت حزمة الانحرافات **Deflected Beam** عندما واجهت جسيمات ألفا شحنة موجبة أخرى (الشحنات المتماثلة تتنافر مع بعضها البعض).
3. نظراً لأن الشحنات المتشابهة تتنافر مع بعضها البعض، فلا بد أن عدد قليل من جسيمات ألفا موجبة الشحنة التي غيرت المسارات فجأة **Reflected Beam** قد اصطدمت أو اقتربت من جسم آخر يحتوي أيضاً على شحنة موجبة عالية التركيز.
4. نظراً لحدوث الانحرافات في جزء صغير من الوقت، فهذا يعني أن هذه الشحنة (الموجبة) تحتل مساحة صغيرة فقط في رقائق الذهب.



هل تعلم



كيف يسخن الطعام في المايكروويف؟

تقوم جزيئات الماء الموجودة في الطعام بامتصاص الأشعة الصادرة عن المايكروويف مما يزيد في حركتها، هذه الطاقة عندها تنتشر لأنواع الجزيئات الأخرى في الطعام عن طريق التصادم مؤدية لارتفاع درجة حرارة الطعام.



تذكر هذا

نموذج رذرفورد للذرة

نواة Nucleus صغيرة جداً موجبة الشحنة حيث تتركز Concentrated معظم كتلة الذرة، وتحيط بها الإلكترونات سالبة الشحنة، بحيث تكون الذرة متعادلة كهربائياً

من المحاضرة السابقة

قانون النسب المضاعفة

"عندما يشكل عنصران سلسلة من المركبات، فإن نسب كتل العنصر الثاني الذي يرتبط مع 1 g من العنصر الأول يمكن أن ترجع دوماً لعدد صحيح صغير"

مستقبلك وحدك من

يرسمه، فأتقن رسمه



عند تحليل سلسلة من هذه التجارب، توصل رذرفورد إلى استنتاجين:

هـام:

استنتاجات رذرفورد

1. يجب أن يتكون الحجم الذي تشغله الذرة من مقدار كبير من المساحة الفارغة.
2. يجب أن يكون الجسم الصغير الثقيل نسبياً **Relatively Heavy** الموجب الشحنة **Positively Charged** والذي يمثل النواة **Nucleus** في مركز كل ذرة.

قاد هذا التحليل رذرفورد إلى اقتراح نموذج تتكون فيه الذرة من:

نموذج رذرفورد للذرة

نواة **Nucleus** صغيرة جداً موجبة الشحنة حيث تتركز **Concentrated** معظم كتلة الذرة، وتحيط بها الإلكترونات سالبة الشحنة، بحيث تكون الذرة متعادلة كهربائياً.

كما هو موضح في الشكل (II-10) ضمن الصفحة السابقة، وبالتالي أثبت أن:

"نموذج قطعة الحلوى للعالم ثومسون لم يكن صحيحاً"

اكتشف رذرفورد أيضاً أن نوى العناصر الأخرى **Nuclei of Other Elements** تحتوي على نواة الهيدروجين **Hydrogen Nucleus** باعتبارها حجر البناء **Building Block**، وأطلق على هذا الجسيم الأساسي **Fundamental Particle** اسم البروتون **Proton**، وهو عبارة عن جسيم موجب الشحنة موجود في النواة.

هـام:

عيوب نموذج رذرفورد

لم يتمكن من تفسير بقاء الإلكترونات في مدارات دائرية حول النواة دون أن تقترب من النواة وتلتحم بها (بسبب الفرق في الشحنة والانجذاب الكهرومغناطيسي) والذي يؤدي في النهاية لفناء المادة.

II 4-4 - نموذج بور Bohr Model

عام 1913 أدرك الفيزيائي الدنماركي **نيلز بور Niels Bohr**، النتائج التجريبية لطيف الهيدروجين حينها، حيث طور نموذجاً كمومياً لذرة الهيدروجين.

فكيف ذلك؟

1. افترض بور أن الإلكترون في ذرة الهيدروجين يدور حول النواة في مدارات دائرية محددة.
2. حسب نصف قطر هذه المدارات المتاحة باستخدام نظريات الفيزياء الكلاسيكية مع إيجاد بعض الافتراضات الجديدة.



هل تعلم



نيلز بور
Niels Bohr
1885-1962

عالم فيزياء دنماركي، كان رئيس لجنة الطاقة الذرية الدنماركية ورئيس معهد كوينهاغن للعلوم الطبيعية النظرية، حصل على الدكتوراه في الفيزياء عام 1911، ثم سافر إلى كمبريدج حيث أكمل دراسته تحت إشراف العالم **ثومسون** الذي اكتشف الإلكترون، بعدها انتقل إلى مانشستر ليدرس على يد العالم ارنست رذرفورد مكتشف نواة الذرة. وسرعان ما اهتدى بور إلى نظريته عن بناء الذرة. ففي 1913 نشر بور بحثاً تحت عنوان: **عن تكوين الذرة والجسيمات** في المجلة الفلسفية، ويعتبر هذا البحث من العلامات في علم الفيزياء. حاز نيلز بور على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1922.



تذكر هذا

من المحاضرة السابقة
عيوب نظرية دالتون

الذرة هي أصغر مكونات المادة هي مقولة غير صحيحة بعد اكتشاف أن الذرة تتألف من جسيمات أصغر كثيراً تتمثل بالإلكترونات والبروتونات والنيوترونات، إضافة لعدم قدرتها على تحديد بنية مركب.

• من خلال الفيزياء الكلاسيكية

علم بور أن الجزيء يميل في حركته للتحرك في خط مستقيم، ويمكنه التحرك ضمن مسار دائري فقط في حالة تطبيق قوة متجهة نحو مركز الدائرة، فاستنتج ما يلي:

ميول الإلكترون الذي يتحرك دائرياً ليغادر الذرة يجب أن يكون متوازناً بجاذبيته نحو النواة الموجبة الشحنة

لكن الفيزياء الكلاسيكية أيضاً تقر بأن:

الجزيئات المشحونة تحت تأثير تسارعها يجب أن تصدر طاقة، حيث أن الإلكترون الذي يدور حول النواة يغير اتجاهه بشكل مستمر، وبالتالي يتسارع باستمرار، لذلك:

يجب أن يصدر الإلكترون ضوء ويخسر طاقة خلال حركته، وبالتالي يُسحب باتجاه النواة، وهذا طبعاً لا يصح مع وجود الذرات الثابتة.

إذاً النموذج الذري الذي اعتمد على نظريات الفيزياء الكلاسيكية لا يمكن الدفاع عنه.

• من خلال الفيزياء الموجية

علم بور أن النموذج الصحيح يجب أن يأخذ بالاعتبار الطيف التجريبية للهيدروجين، الذي يظهر أن:

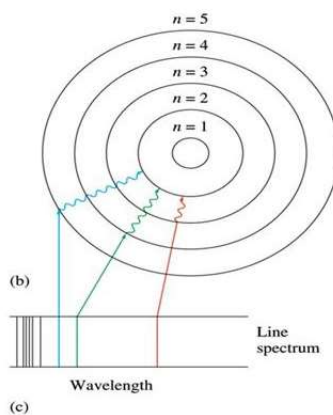
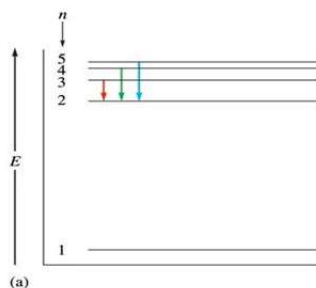
هناك طاقات الكترون محددة متاحة

حيث كانت البيانات التجريبية واضحة بشكل مطلق في هذه النقطة.

وجد بور أن نموذج الذرة سيكون متوافق مع النتائج التجريبية إن هو اعتبر أن:

القوة الدافعة الزاوية للإلكترون (القوة الدافعة الزاوية تعادل منتج الكتلة والسرعة ونصف قطر المدار) ستحصل فقط في تزايد محدد (انتقال من مدار لآخر)، ولم يكن واضحاً حينها لماذا يجب أن يكون ذلك صحيحاً، أي:

إن الإلكترون لا يمكن أن يتواجد إلا في سويات طاقة محددة.



(c)

مع هذه الفرضية أعطى نموذج بور ذرة الهيدروجين سويات طاقة متوافقة مع طيف الهيدروجين المنبثق كما هو معروض في الشكل المجاور. بالرغم من أننا لن نشاهد هنا أي استنتاج، إلا أن المعادلة الأكثر أهمية التي جاءت من نموذج بور تعبر عن سويات الطاقة المتاحة للإلكترون في ذرة الهيدروجين:

$$E = -2.178 \times 10^{-18} \text{ J} \left(\frac{Z^2}{n^2} \right) \quad (\text{II} - 1)$$

حيث: n عدد صحيح يمثل العدد الكوانتي الرئيسي (كلما كانت قيمة n كبيرة كلما كان نصف قطر المدار كبيراً).

Z شحنة النواة.

باستخدام المعادلة (II-1) تمكن بور من حساب سويات الطاقة لذرة الهيدروجين والتي كانت مطابقة للقيم التي حصل عليها بالنتائج التجريبية.

إن الإشارة السالبة في المعادلة السابقة تعني ببساطة:



أن طاقة الإلكترون المقيد بالنواة اخفض من طاقته فيما لو كان الإلكترون على مسافة كبيرة غير محدودة ($n = \infty$) من النواة، حيث لا يوجد هناك تفاعل وتكون قيمة الطاقة صفراً:

$$E = -2.178 \times 10^{-18} \text{ J} \left(\frac{Z^2}{\infty} \right) = 0$$

من هذه الحالة نجد أن طاقة الإلكترون في أي مدار هي طاقة سالبة نسبة لهذه الحالة المرجعية.

إن المعادلة (II-1) السابقة يمكن أن تستخدم في حساب التغير في طاقة الإلكترون عندما يغير مداره.

على سبيل المثال:

لنفرض أن الإلكترون في المستوى الطاقوي $n=6$ من ذرة الهيدروجين، قفز للمستوى $n=1$ حيث عادت ذرة الهيدروجين لأخفض حالة طاقوية متاحة (الحالة الأرضية).

نستخدم المعادلة (II-1) مع إعطاء $Z=1$ ، حيث تحوي نواة الهيدروجين بروتون مفرد، وتحسب الطاقات للحالتين السابقتين وفق ما يلي:

$$n = 6: E_6 = -2.178 \times 10^{-18} \text{ J} \left(\frac{1^2}{6^2} \right) = -6.050 \times 10^{-20} \text{ J}$$

$$n = 1: E_1 = -2.178 \times 10^{-18} \text{ J} \left(\frac{1^2}{1^2} \right) = -2.178 \times 10^{-18} \text{ J}$$

نلاحظ أنه من أجل الحالة $n=1$ ، يمتلك الإلكترون طاقة سالبة أكبر من تلك التي يمتلكها في الحالة $n=6$.

فماذا يعني ذلك؟؟

يعني ذلك أن الإلكترون مقيد بقوة في المدار الأصغر المتاح له.

يعطى التغير في الطاقة عندما يسقط الإلكترون من $n=6$ إلى $n=1$ وفق ما يلي:

التغير في الطاقة = طاقة الحالة النهائية - طاقة الحالة الابتدائية

$$\Delta E = E_1 - E_6 = (-2.178 \times 10^{-18} \text{ J}) - (-6.050 \times 10^{-20} \text{ J}) = -2.117 \times 10^{-18} \text{ J}$$

حيث تشير الإشارة السالبة في تغير الطاقة إلى أن:

الذرة تخسر الطاقة وهي الآن في أكثر حالاتها ثباتاً، حيث تتحرر الطاقة من الذرة عن طريق إنتاج فوتون (انبعاث فوتون).

يمكن حساب الطول الموجي للفوتون المنبعث من العلاقة التالية:

$$\Delta E = h \left(\frac{C}{\lambda} \right) \quad \text{or} \quad \lambda = \frac{hC}{\Delta E}$$

حيث: ΔE : التغير في طاقة الذرة التي تعادل طاقة الفوتون المنبعث.

h : ثابت بلانك ويساوي $(6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})$.

C : سرعة الضوء وتساوي $(2.9979 \times 10^8 \text{ m/s})$

$$\lambda = \frac{hC}{\Delta E} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})(2.9979 \times 10^8 \text{ m/s})}{2.117 \times 10^{-1} \text{ J}} = 9.383 \times 10^{-8} \text{ m}$$



لاحظ أنه من أجل هذه العملية الحسابية استخدمنا القيمة المطلقة لتغير الطاقة (حيث لم نرفقها بالإشارة السالبة)، في هذه الحالة حددنا اتجاه الطاقة المتدفقة بالقول إن:

الفوتون ذو الطول الموجي $(9.383 \times 10^{-8} \text{ m})$ انبعث من ذرة الهيدروجين.

لاحظ انه في حال أرفقنا القيمة السالبة للطاقة في هذه المعادلة، فإننا نحصل على قيمة سالبة للطول الموجي والذي لا معنى له فيزيائياً.

النقاط الهامة حول نموذج بور للذرة:

- النموذج يناسب بشكل صحيح كميات سويات الطاقة لذرة الهيدروجين ويفترض وجود مدارات دائرية محددة متاحة للإلكترون.
- كلما أصبح الإلكترون مقيد بشكل وثيق أكثر، كلما أصبحت طاقته أكثر سلبية نسبة للحالة المرجعية ذات الطاقة المعدومة (عندما يكون الإلكترون بعيداً مسافة لا متناهية عن النواة)، حيث كلما ازداد قرب الإلكترون من النواة، كلما تحررت طاقة من النظام (الذرة).

يمكننا باستخدام معادلة بور السابقة (II-1) في الصفحة (66) اشتقاق معادلة عامة لحركة الإلكترون من مستوى لآخر:

التغير في الطاقة = طاقة المستوى النهائي - طاقة المستوى البدائي

$$\Delta E = \text{energy of level } n_{\text{final}} - \text{energy of level } n_{\text{initial}}$$

$$\Delta E = E_{\text{final}} - E_{\text{initial}}$$

$$\Delta E = -2.178 \times 10^{-18} \text{ J} \left(\frac{1^2}{n_{\text{final}}^2} \right) - (-2.178 \times 10^{-18} \text{ J}) \left(\frac{1^2}{n_{\text{final}}^2} \right)$$

$$\Delta E = -2.178 \times 10^{-18} \text{ J} \left(\frac{1^2}{n_{\text{final}}^2} - \frac{1^2}{n_{\text{initial}}^2} \right) \quad (\text{II} - 2)$$

حيث يمكن استخدام هذه المعادلة لحساب تغير الطاقة بين أي مستويي طاقة في ذرة الهيدروجين، وهذا ما سنوضحه من خلال الأمثلة المحولة في الصفحة (73).

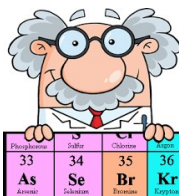


هل تعلم



اروين شرودينغر
Erwin Schrödinger
1887-1961

فيزيائي نمساوي معروف
بإسهاماته في ميكانيكا
الكم وخصوصاً معادلة
شرودينغر والتي حاز عبرها
على جائزة نوبل في الفيزياء
عام 1933م.
استطاع شرودينغر
تفسير طيف الهيدروجين عن
تطبيق نتائج معادلته الشهيرة
المسماة معادلة شرودينغر
على ذرة الهيدروجين وذلك
في عام 1926.
حلت معادلة شرودينغر بنجاح
معضلة تأثير جسيمات
أساسيان كموميان هما
الإلكترون السالب
الشحنة والبروتون الموجب
الشحنة والذي يكون نواة
ذرة الهيدروجين.
تلك المسألة التي لم تنجح
في حلها النظريات
الكلاسيكية، حتى استطاع
شرودينغر حلها بأخذه الطبيعة
الغريبة للإلكترون،
وهي مثنوية:
موجة-جسيم حيث عثر عن
الإلكترون في معادلته كموجة
وليس كجسيم.



الكيمياء علم الرموز والحقائق،
اسأل دائماً عما يخطر ببالك تجد
أن الإجابة أقرب إليك

مسلمات نموذج بور:

1. يدور الإلكترون حول النواة وفق مدارات دائرية محددة.
2. لا يصدر الإلكترون أي طاقة كهربائية ما دام يدور على مداره.
3. يحتاج الإلكترون إلى طاقة للانتقال من مستوى طاقة أدنى لمستوى طاقة أعلى، كما يصدر طاقة عند انتقاله من مستوى طاقة أعلى لمستوى طاقة أدنى.

في البداية يبدو أن نموذج بور للذرة يبدو واعداً، حيث أن سويا الطاقة التي حسبت من قبل بور توافقت إلى حد قريب مع القيم التجريبية التي تم الحصول عليها من طيف الانبعاث لذرة الهيدروجين، ولكن:

عيب نموذج بور:

عندما تم تطبيق نموذج بور على ذرات غير الهيدروجين، لم يعمل هذا النموذج على الإطلاق في حالة الذرات المتعددة الإلكترونات وهذه هي إحدى عيوب نموذج بور.

رغم ذلك فإن نموذج بور فتح المجال أمام نظريات أخرى استطاعت تفسير الطيف الخطية لباقي الذرات متعددة الإلكترونات.

II 4-5 - نموذج ميكانيكا الكم للذرة

The Quantum Mechanical Model of the Atom

منتصف العام 1920 بدا واضحاً أن نظرية بور لا يمكن العمل بها، إذ كانت بحاجة لمقاربة جديدة في العموم، هذا الجهد تبناه ثلاثة فيزيائيين في تلك الفترة هم:

- هيزنبرغ Heisenberg
- بروغلي Broglie
- اروين شرودينغر Erwin Schrodinger

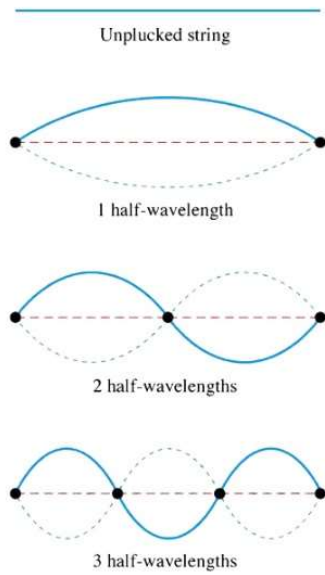
حيث عرف النهج الذي قاموا بتطويره بـ **الميكانيكا الموجية** Wave mechanics، والذي يدعى بشكل أوسع **ميكانيكا الكم** Quantum mechanics.

ارتقى بروغلي بفكرة الإلكترون الذي كان سابقاً يعد كجزيئة، فأظهر أن له صفات موجية، وقد تابع هذا المنهج من التفكير الفيزيائي السويدي شرودينغر الذي قرر مواجهة معضلة البنية الذرية عن طريق التركيز على الخصائص الموجية للإلكترون، وفقاً لشرودينغر وبروغلي فإن:

الإلكترون يرتبط إلى النواة بما يشبه الموجة الدائمة (الثابتة)

وقد بدأوا البحث وفق الميكانيكا الموجية عن وصف للذرة.

هل يمكنك تخيل ذلك؟



الشكل (II-11):

حركة الوتر، وتلاحظ فيها أنها عبارة عن مكبرات
لأنصاف طول الموجة، وتظهر العقد بشكل واضح
بين كل نصف موجة.

المثال الأكثر شهرةً بالموجة الدائمة (الثابتة) تم ملاحظته من خلال الآلات الموسيقية مثل الغيتار والكمان، حيث الوتر مربوط من كلا نهايتيه، عندما يهتز الوتر يعطي النغمة الموسيقية، والأمواج وصفت لديهم كالوتر (دائمة)، **فالموجة كالوتر**، لا تتحرك لوحدها.

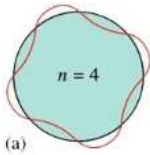
يمكن تشبيه الوتر عندما يصدر الصوت كتراكب موجات بسيطة مع بعضها البعض كما في الشكل (II-11) المجاور، حيث تشير النقاط إلى العقدة أو ما يسمى انزياح الصفر الجانبي (من الأطراف). من أجل موجة محددة نلاحظ أن هناك محدودية للأطوال الموجية المتاحة، (لاحظ أن كل طرف من الوتر مثبت، أي أن هناك دائماً نقطة عند كل نهاية).

ماذا يعني ذلك؟

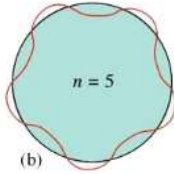
هذا يعني أن:

هناك دائماً عدد صحيح من نصف طول الموجة في أي حركة متاحة للوتر كما في الشكل (II-11) المجاور.

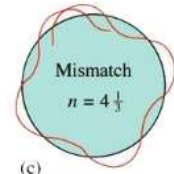
موقف مشابه ينتج إلى تخيلنا أن **الإلكترون في ذرة الهيدروجين عبارة عن موجة دائرية دائمة** كما يظهر في الشكل المجاور، حيث يوجد مدارات دائرية محددة تمتلك محيط يناسب أعداداً صحيحة من **نصف طول الموجة لموجة الإلكترون الدائمة** (الثابتة) كما في الحالتين (a) و (b)، أما جميع المدارات الأخرى سينتج عنها تداخلات هدامة لموجة الإلكترون الدائمة (الثابتة) غير مسموح بها كما في الحالة (c)، وهذا يشير إلى حقيقة أن الإلكترون يملك طاقة محددة، وهذا يبدو شرحاً ممكناً لتكوين تصور حول ذرة الهيدروجين.



(a)



(b)



(c)

لذلك عمل شرودينغر على نموذج ذرة الهيدروجين الذي يفترض أن **الإلكترون يتصرف كموجة دائمة** (ثابتة).

كانت المبادئ الفيزيائية لوصف الموجة الدائمة متاحة عام 1925 عندما قرر شرودينغر معالجة الإلكترون بطريقته التي حددها، وكانت معالجته الرياضية لهذه النقطة معقدة للغاية بحيث لا يمكن تفصيلها هنا، على كل حال تعطى **معادلة شرودينغر** بالشكل التالي:

$$\hat{H}\psi = E\psi$$

حيث:

ψ تمثل الوظيفة الموجية وهي وظيفة إحداثيات (x, y, and z) لموقع الإلكترون في فضاء ثلاثي الأبعاد.

\hat{H} تمثل مجموعة من العمليات الرياضية وتدعى **العامل**، حيث يحوي العامل على مصطلحات رياضية تنتج الطاقة الكلية للذرة عندما يتم تطبيقها على الوظيفة الموجية.

E تمثل **الطاقة الكلية** للذرة وهي مجموع **الطاقة الكامنة** الناتجة عن التجاذب بين البروتون والإلكترون و**الطاقة الحركية** للإلكترون المتحرك.



تذكر هذا

الانبعاثات الإشعاعية

- تتمثل فيما يلي:
أشعة غاما: تمتلك طاقة عالية جداً (ضوء).
- جزيئات بيتا: عبارة عن الإلكترونات فائقة السرعة.
- جزيئات ألفا: وتمتلك شحنة مقدارها (+2)، حيث أنها تعادل ضعف شحنة الإلكترون بإشارة معاكسة، وتبلغ كتلة دقيقة ألفا 7300 ضعف كتلة الإلكترون.

نموذج رذرفورد للذرة

توصل رذرفورد إلى اقتراح نموذج تتكون فيه الذرة من:
نواة Nucleus صغيرة جداً موجبة الشحنة حيث تتركز Concentrated معظم كتلة الذرة، وتحيط بها الإلكترونات سالبة الشحنة، بحيث تكون الذرة متعادلة كهربائياً. وبالتالي أثبت أن:

نموذج قطعة الحلوى للعالم
ثومسون لم يكن صحيحاً

عيوب نموذج رذرفورد:

لم يتمكن من تفسير بقاء الإلكترونات في مدارات دائرية حول النواة دون أن تقترب من النواة وتلتحم بها (بسبب الفرق في الشحنة والانجذاب الكهرومغناطيسي) والذي يؤدي في النهاية لفناء المادة.



بالإصرار تصل لهدفك،
نريدك اسماً فلا تكن رقماً

حل المعادلة السابقة ينتج عنه عدة حلول، كل حل يتضمن الوظيفة الموجية ψ المميزة بقيمة عملية للطاقة (E)، تدعى القيمة المحددة هذه للوظيفة الموجية **بالمدارية**.

فماذا تعني المدارية؟

Orbital المدارية

يجب أن نعلم أن المدارية ليست مدار بور الذي عرفناه، فالإلكترون في المدار **1s** لا يدور حول النواة في مدار دائري.

كيف ذلك؟ هل يعني أن الإلكترون ثابت أم يتحرك؟

على سبيل المثال:

عندما تتصادم كرتا بلياردو معروفتي السرعة، فإنه يمكننا التنبؤ بحركتهما بعد التصادم، بينما لا يمكننا التنبؤ بحركة الإلكترون من المدار **1s** لأنه جسيم صغير جداً.

لفهم طبيعة المدارية Orbital نحن بحاجة للنظر في المبدأ الذي وصفه **هيزنبرغ** أحد المطورين الأساسيين للميكانيك الكمومي (الموجي).

قاد التحليل الرياضي هيزنبرغ إلى استنتاج هام يتمثل بما يلي:

مبدأ عدم التعيين لهيزنبرغ:

لا يمكننا تعيين موقع وسرعة دقيقة صغيرة كالإلكترون في الوقت نفسه.
التعبير الرياضي لمبدأ عدم التعيين يعطى وفق علاقة هيزنبرغ التالية:

$$\Delta x \times \Delta(m\theta) \geq \frac{h}{4\pi}$$

حيث:

Δx عدم التعيين في موقع الجزيء (الجسيم).
 $\Delta(m\theta)$ عدم التعيين في قوة الدفع للجزيء (سرعته).
h ثابت بلانك.

لذلك أصغر مقدار لعدم التعيين يساوي $\frac{h}{4\pi}$.

إذا نستنتج مما سبق:

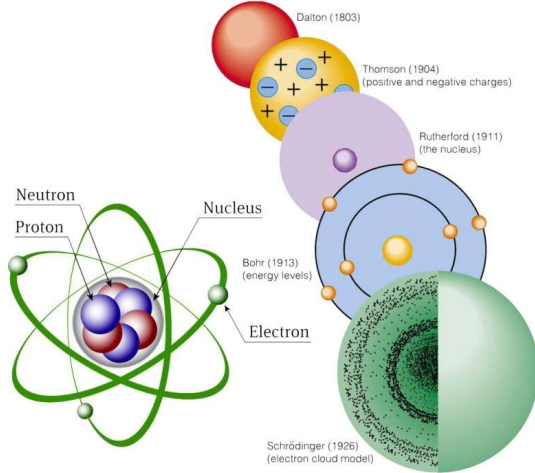
كلما كانت الدقة في تحديد موقع الجسيم عالية كلما كانت الدقة في تحديد سرعته منخفضة (عند الوقت المعطى)، والمثل بالمثل.

بتطبيق مبدأ عدم التعيين لهيزنبرغ على الإلكترون فهذا يعني أننا لا يمكننا معرفة الحركة الدقيقة للإلكترون أثناء حركته حول النواة، لذلك **من غير المناسب أن نقول:**

إن الإلكترون يتحرك حول النواة في مدار واضح المعالم كما في نموذج بور، وإنما في مدارية Orbital وهذا أهم ما حمله لنا نموذج الميكانيك الموجي للذرة.

وبذلك نكون قد أوجزنا أهم النظريات في بنية الذرة، **الشكل (12-II)** يوضح مخطط تطور بيئة الذرة من نموذج دالتون حتى نموذج شرودينغر اعتماداً على الميكانيك الموجي.

هل اتضحت الآن أمامك فكرة تطور بنية الذرة خلال 100 عام تقريباً ؟



الشكل (12-II):

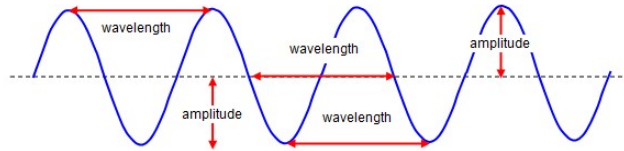
مخطط تطور بيئة الذرة من نموذج دالتون حتى نموذج شرودينغر اعتماداً على الميكانيك الموجي.

قبل أن ننتقل لمفهوم البنية الذرية سنناقش فقرة مهمة لا بد منها وهي الإشعاع الكهرومغناطيسي.

5. II – الإشعاع الكهرومغناطيسي Electromagnetic Radiation

أحدى الطرق التي تنتقل الطاقة فيها عبر الفضاء هي **الإشعاع الكهرومغناطيسي**، فانتقال الضوء من الشمس، والطاقة المستخدمة في طهي الطعام ضمن المايكروويف وأشعة إكس المستخدمة عند أطباء الأسنان، والحرارة المشعة من المدفأة كلها أمثلة عن الأشعة الكهرومغناطيسية، على الرغم من أنها تبدو مختلفة فيما بينها لكنها تظهر نفس السلوك من حيث انتقالها كأموح بسرعة الضوء في الخلاء.

للموجة الكهرومغناطيسية ثلاث خصائص أساسية:

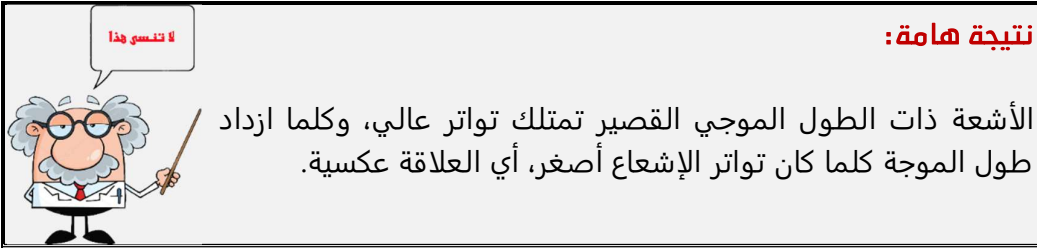


الشكل (13-II): مخطط تفصيلي يبين مفهوم الطول الموجي والتواتر

- **طول الموجة Wavelength:** يرمز له بالرمز الإغريقي لامبدا λ ، وهو يعبر عن المسافة بين قمتين متتاليتين كما هو موضح في **الشكل (13-II)**، أو المسافة بين انخفاضين متتاليين في الموجة، حيث **Amplitude** تعني قيمة الذروة.
- **التواتر Frequency:** يرمز له بالحرف الإغريقي نيو ν ، ويشير لعدد الأمواج التي تعبر نقطة معينة من الفراغ خلال ثانية واحدة.
- **السرعة Speed:** أصبح من البديهي أن الأمواج الكهرومغناطيسية تتحرك بسرعة الضوء، لذلك يعبر عن سرعتها بسرعة الضوء.

من خلال ما سبق نجد أن:

نتيجة هامة:



هل توجد علاقة تعبر عن الرابط بين الطول الموجي وتواتر الموجة وسرعتها؟

الجواب هو نعم، يوجد بينهم علاقة يعبر عنها وفق ما يلي:

$$\lambda \nu = c$$

حيث: λ طول الموجة بالمتري، ν تواتر الإشعاع مقدر بالدورة/ ثانية، ولكن لا معنى لدورة في الجملة الدولية SI، فهي غير مفهومة لذلك يتم كتابة الواحدة (1/s) والتي تدعى هيرتز Hz

C: سرعة الضوء وتساوي $(2.9979 \times 10^8 \text{ m/s})$

تواتر الأشعة يمنح معان هامة لنقل الطاقة.

على سبيل المثال:

الطاقة التي تصل الأرض قادمة من الشمس تكون على شكل أشعة مرئية وأشعة فوق بنفسجية (لها تواتر محدد)، فيما الطاقة التي تصلنا من المشعات الحرارية تكون على شكل أشعة تحت حمراء (لها تواتر محدد مختلف).



مثال محلول (17)

هذا المثال يدعم علاقة بور في حساب طاقة الإلكترون

زمن الحل: 8 دقائق كحد أقصى الزمن الإمتحاني: 12 دقيقة كحد أقصى

احسب الطاقة المطلوبة لتهييج الكترون ذرة الهيدروجين من المستوى $n=1$ إلى المستوى $n=2$ ، ثم احسب الطول الموجي للضوء الذي تمتصه ذرة الهيدروجين في حالتها المستقرة لتصل للحالة المهيجة.

الحل:

باستخدام معادلة بور (II-1)، واعتبار $z=1$ نجد:

$$E_1 = -2.178 \times 10^{-18} \text{ J} \left(\frac{1^2}{1^2} \right) = -2.178 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$$E_2 = -2.178 \times 10^{-18} \text{ J} \left(\frac{1^2}{2^2} \right) = -5.445 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = (-5.445 \times 10^{-19} \text{ J}) - (-2.178 \times 10^{-18} \text{ J}) = 1.633 \times 10^{-18} \text{ J}$$

تشير القيمة الموجبة لتغير الطاقة إلى أن الجملة اكتسبت طاقة، فيكون الطول الموجي للضوء الممتص اللازم لإنتاج هذا التغير هو:

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})(2.9979 \times 10^8 \text{ m/s})}{1.633 \times 10^{-18} \text{ J}} = 1.216 \times 10^{-7} \text{ m}$$



مثال محلول (18)

هذا المثال يدعم استخدام العلاقة العامة لحركة الإلكترون من مستوى لآخر.

زمن الحل: 8 دقائق كحد أقصى الزمن الإمتحاني: 12 دقيقة كحد أقصى

احسب الطاقة المطلوبة لتحرير الإلكترون من ذرة الهيدروجين في حالتها الأرضية (المستقرة).

الحل:

تحرير الإلكترون من ذرة الهيدروجين في حالتها الأرضية (المستقرة) يعتمد على أخذ الإلكترون من السوية الطاقةية $n_{initial} = 1$ إلى السوية $n_{final} = \infty$ لذلك وتطبيق علاقة بور:

$$\Delta E = -2.178 \times 10^{-18} \text{J} \left(\frac{1^2}{n_{final}^2} - \frac{1^2}{n_{initial}^2} \right)$$

$$= -2.178 \times 10^{-18} \text{J} \left(\frac{1^2}{\infty} - \frac{1^2}{1^2} \right) = -2.178 \times 10^{-18} \text{J} (0 - 1) = 2.178 \times 10^{-18} \text{J}$$

إذاً الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون من ذرة الهيدروجين في حالتها الأرضية (المستقرة) هي:

$2.178 \times 10^{-18} \text{J}$



مثال محلول (19)

هذا المثال يدعم مفهوم العلاقة بين الطول الموجي والتواتر.

زمن الحل: 8 دقائق كحد أقصى الزمن الإمتحاني: 10 دقائق كحد أقصى

إن الضوء الأحمر المتوهج في المدفأة الكهربائية نتيجة انبعاث ضوء ذو طول موجي 650 nm ينتج عندما نسخن أحد أملاح السترونشيوم Sr مثل نترات السترونشيوم $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ وكربونات السترونشيوم SrCO_3 (يمكن ملاحظة هذا الشيء بسهولة في المختبر عن طريق حل أحد هذه الأملاح في الميثانول الذي يحوي كمية قليلة من الماء وإشعال المزيج في زجاجة ساعة).

احسب تواتر الضوء الأحمر للطول الموجي $6.50 \times 10^2 \text{ nm}$

الحل:

يمكننا الحصول على تواتر هذا الضوء من خلال العلاقة:

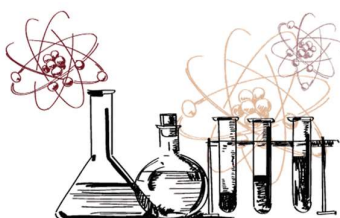
$$\lambda \nu = c \rightarrow \nu = \frac{c}{\lambda}$$

نحول الطول الموجي إلى وحدة الجملة الدولية فنجد:

$$6.50 \times 10^2 \text{ nm} \times \frac{1 \text{ m}}{10^9 \text{ nm}} = 6.50 \times 10^{-7} \text{ m}$$

بالتعويض في العلاقة السابقة نجد:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}}{6.50 \times 10^{-7} \text{ m}} = 4.61 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} = 4.61 \times 10^{14} \text{ Hz}$$



المفاهيم الأساسية للمحاضرة والموجز

Key Concepts and Summary

في هذه المحاضرة تطرقنا بشكل مبسط للنشاط الإشعاعي وأهم انبعاثاته، من أشعة غاما إلى دقائق بيتا وألفا، ثم تطرقنا للأعمال التجريبية للعالم رذرفورد على صفيحة الذهب باستخدام دقائق ألفا (الأشعة)، والتي من خلالها اكتشف أن الذرة مؤلفة من نواة موجبة الشحنة تدور الإلكترونات حولها على مدارات دائرية محددة وفق نموذج دعي بالذرة النووية، ثم تابعا تطور بنية الذرة مع العالم نيلز بور الذي استفاد من النتائج التجريبية لتصحيح تصور رذرفورد وذلك من خلال دراسة بنية ذرة الهيدروجين من وجهة النظر الكمومية، حيث وجد أنه وفقاً للفيزياء الكلاسيكية لا يمكن تفسير بقاء الإلكترون على مداره، مما قاده نتيجة الأعمال التجريبية لوضع علاقة توضح طاقة الإلكترون على مداره، واعتبر أن الإلكترون المقيّد (الأقرب للنواة) يمتلك طاقة منخفضة (قيمة سالبة أعلى) مقارنة مع طاقته في المدار الأبعد للنواة حيث يمتلك أكبر طاقة (الإلكترون غير مقيّد) وتم اعتبار هذه الطاقة مساوية للصفر كقيمة مرجعية.

كما وجدنا أن الأعمال التي قام بها كل من هيزنبرغ وبروغلي وشرودينغر الذين طوروا مفهوم النظرية الكوانتية، أسست لمفهوم أن الإلكترون عبارة عن موجة ثابتة، وأنه لا يمكنه التحرك سوى على مدارات محددة الطاقة بحيث يكون كل مدار عبارة عن أعداد صحيحة من نصف طول الموجة، ثم بين هيزنبرغ أنه بسبب طبيعة الإلكترون، فإنه لا يمكننا تعيين موقعه وسرعته بنفس الوقت ضمن مبدأ عرف باسمه (مبدأ عدم التعيين لهيزنبرغ)، ووجدنا أن النظرية الكوانتية استطاعت تفسير سبب وجود المدارات عوض المدارات، وهذا من خلال مبدأ هيزنبرغ.

هذا موجز لمدرس المقرر، الأهم منه هو موجزك عزيزي الطالب بعد قراءة المحاضرة ومعرفة أهم الأفكار التي وردت فيها وتطبيقاتها.

-- نهاية المحاضرة --

في المحاضرة القادمة بتا / / ستتعرف إلى عناوين متعددة منها:

- ✓ الكتل الذرية.
- ✓ النظائر.

أعدت هذه المحاضرة وفق قواعد الجودة العالمية لمناهج التدريس، كما تم الاستعانة في إعداد هذه المحاضرة بجامعة (جورج واشنطن - الأز - الينوي) في الولايات المتحدة.



مكتبة أ إلى ز