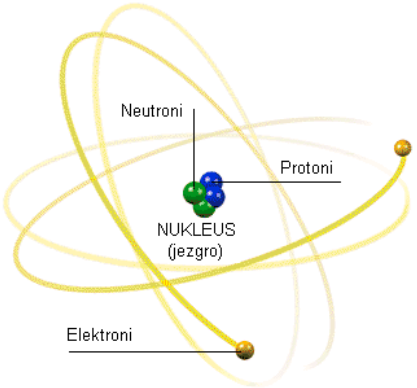
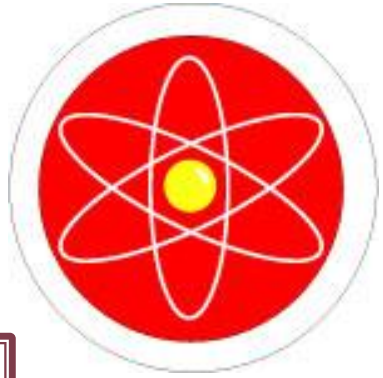
KINGDOM OF SAUDI ARABIA
AL-IMAM MUHAMMAD BIN SAUD
ISLAMIC UNIVERSITY
FACULTY OF SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSICS

المملكة العربية السعودية
جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية
كلية العلوم
قسم الفيزياء

Atomic physics (PHY 462)

Atomic physics (PHY 462)





Dr Basma Elbadry

Chapter 1

Early Models of the Atom

outline

- Thomson's model
- Rutherford's model, difficulties with Rutherford's model
- emission spectra, Absorption Spectra,
- Bohr's theory of the hydrogen, Bohr radius, radii and energy of orbits, energy level diagram.

Definition of Model

- **A model** is a representation of a system in the real world. Models help us to understand systems and their properties.

النموذج الذري

- For example, an **atomic model** represents what the structure of an atom *could* look like, based on what we know about how atoms behave. It is not necessarily a true picture of the exact structure of an atom.

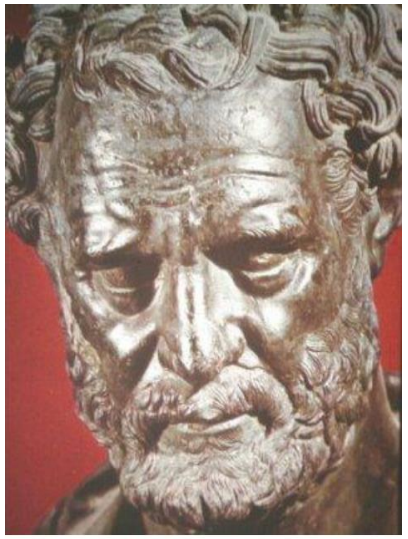
النموذج هو تمثيل لنظام في العالم الحقيقي. تساعدنا النماذج على فهم الأنظمة وخصائصها.

على سبيل المثال، يمثل النموذج الذري ما يمكن أن يكون عليه شكل الذرة بناءً على معرفتنا بسلوك الذرات.

لكنه ليس بالضرورة صورة حقيقية للبنية الدقيقة للذرة.

Democritus (460 BC – 370 BC)

Ancient Greeks were the first to come up with the idea of atoms.



Democritus

- Democritus suggested (along with his mentor Leucippus) that all matter was made of tiny indivisible (cannot be divided) particles called atoms. (Greek "atoma").

- He also believed that different atoms:
  - Are different sizes
  - Have different properties

اقترح ديموقريطوس (مع معلمه ليوكيبوس) أن جميع المادة تتكون من جزيئات صغيرة جدًا غير قابلة للتجزئة تسمى الذرات (من اليونانية "أتوما").

كما اعتقد أن الذرات المختلفة:

لها أحجام مختلفة.

تمتلك خصائص مختلفة.

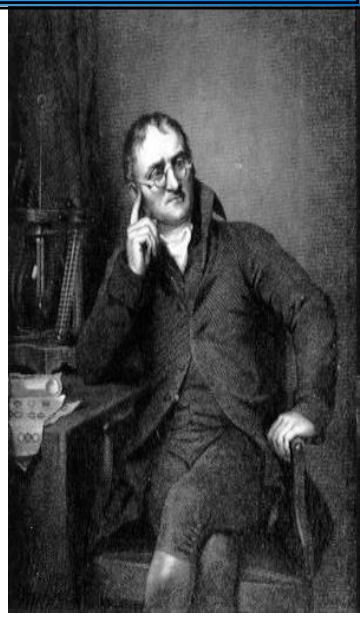
- Aristotle did not support his atomic theory

لم يدعم أرسطو نظرية ديموقريطوس الذرية.

John Dalton (Early 1800's)

1800 - جون دالتون اقترح نموذجًا حديثًا للذرة يعتمد على التجارب وليس على التفكير المجرد:

1800 -Dalton proposed a modern atomic model based on experimentation not on pure reason.



Dalton viewed atoms as tiny, solid balls. His atomic theory had 4 statements…

1. Each element is composed of extremely small particles called **atoms**. **These atoms** are indivisible (Atoms of an element are not changed into different types of atoms by chemical reactions).
2. All **atoms** of a given element are **identical** in size, mass and chemical properties. **Atoms** of one element are different from **atoms** of another element.
3. Atoms cannot be **created**, divided into smaller particles, or **destroyed**.
4. Compounds are formed when **atoms** of more than one kind combine. In a given compound, the relative number and kind of atoms are constant

His ideas account for the law of conservation of mass (atoms are neither created nor destroyed), the law of constant composition (elements combine in fixed ratios) and Law of Multiple Proportions

الذرات غير قابلة للتجزئة (ذرات العنصر لا تتحول إلى أنواع مختلفة من الذرات بواسطة التفاعلات الكيميائية

جميع ذرات العنصر الواحد متطابقة في الحجم والكتلة والخصائص الكيميائية. ذرات عنصر معين تختلف عن ذرات عنصر آخر.

لا يمكن إنشاء الذرات أو تقسيمها إلى جسيمات أصغر أو تدميرها.

تتكون المركبات عند اتحاد ذرات من أكثر من نوع واحد. في المركب الواحد، يظل العدد النسبي ونوع الذرات ثابتًا.

Sir J.J. Thomson (Late 1800's)

اكتشف ج.ج. طومسون الإلكترونات في عام 1903 باستخدام أنبوب الكاثود.

درس طومسون مرور تيار كهربائي عبر غاز في فراغ شبه كامل داخل أنبوب الكاثود.

أثناء مرور التيار عبر الغاز، انبعث ضوء.

أجرى طومسون تجارب باستخدام الأشعة الكاثودية ووجد أنها يمكن أن تنحرف باستخدام لوحة مغناطيسية؛ مما يعني أن للأشعة شحنة وكتلة.

تمكن طومسون من قياس نسبة الشحنة إلى الكتلة ووجد أن كتلة الجسيم أقل بكثير من كتلة ذرة الهيدروجين.

استنتج أن الجسيمات الموجودة في الأشعة هي جزء من كل المادة.

المفاجأة: توجد جسيمات أصغر من الذرة. كان طومسون أول عالم يظهر أن الذرة تتكون من أجزاء أصغر.

- J.J. Thomson discovered electrons in 1903 by using a cathode tube.

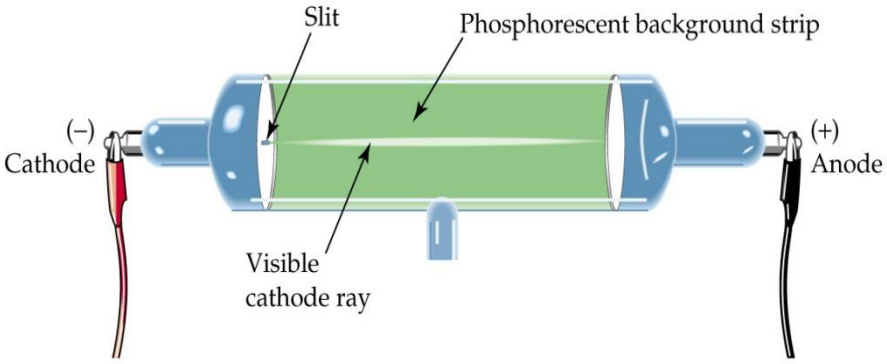
Thomson studied the passage of an electric current through a gas in the near vacuum of the cathode tube.

As the current passed through the gas, it gave off light.

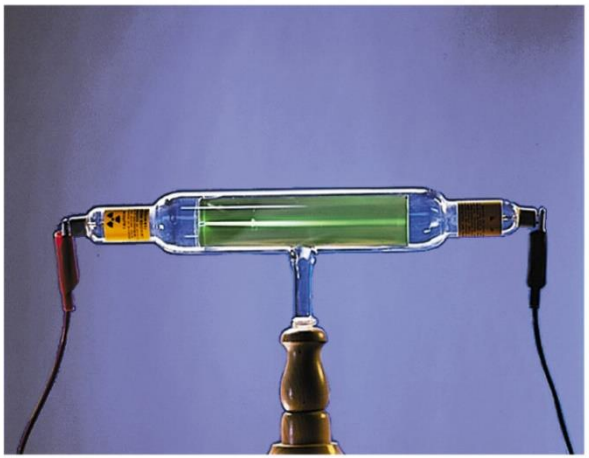
Thomson experimented with cathode rays and found they could be deflected with a magnetic plate—***the rays had charge and mass***.

- Thomson was able to measure the charge to mass ratio and **found that the mass of the particle was much less than the mass of a hydrogen atom**.
- It was concluded that the particles in the ray were part of all matter.
- Surprise—there are particles smaller than the atom. He was the first scientist to show that the atom was made of even smaller things.

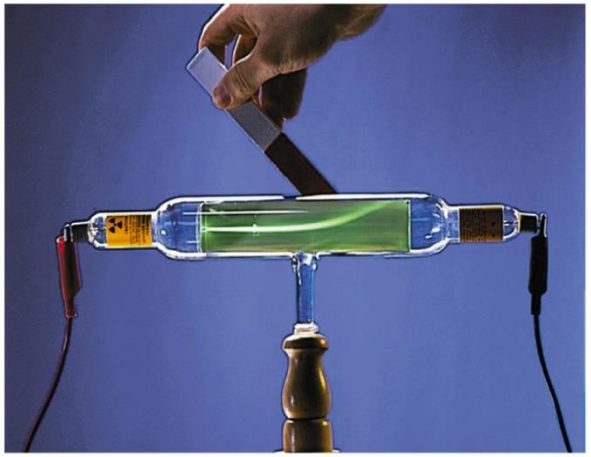
cathode ray tube



(a)



(b)



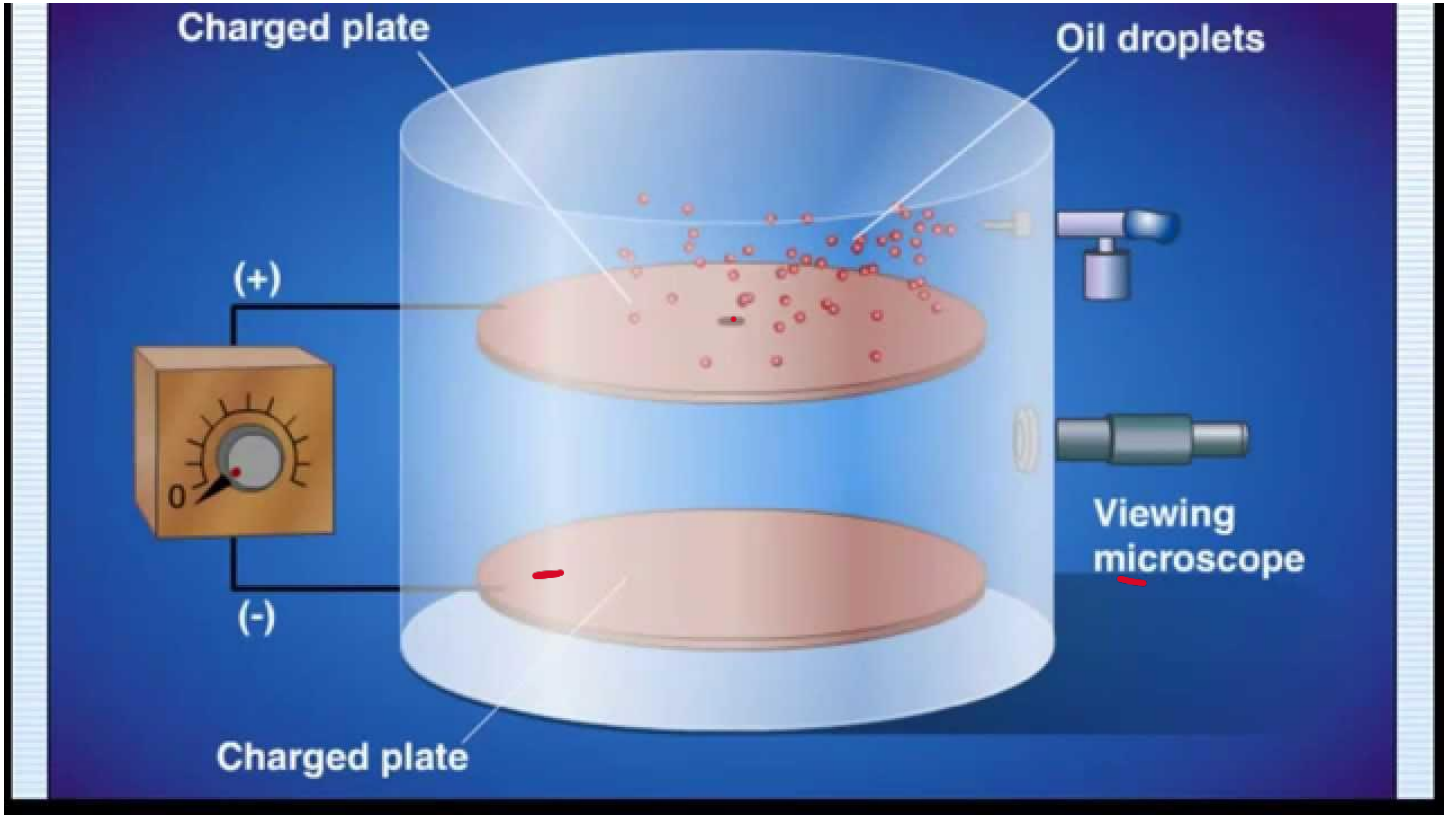
(c)

https://www.youtube.com/watch?v=_nLESblUAHY

Millikan's oil drop experiment

$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C

$m_- = 9.11 \times 10^{-31}$ kg



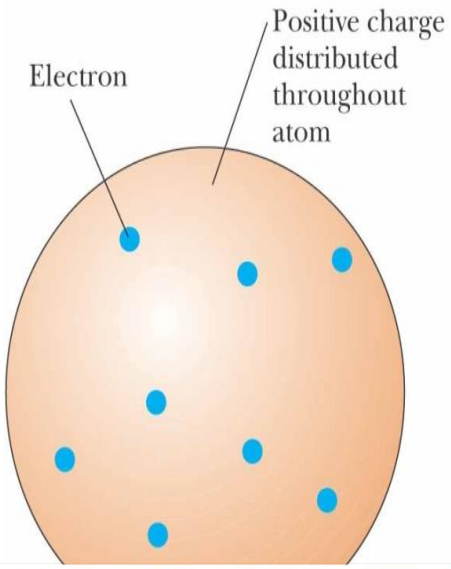
https://www.youtube.com/watch?v=nwnjYERS66U

Sir J.J. Thomson Model (Late 1800's)

In 1897, J.J Thomson's proposed the **Plum Pudding Model** which states that:

- atoms mostly consist of positively charged material with negatively charged particles (electrons) located throughout the positive material
- Won a Nobel Prize

- Overall, the atom is neutral atom because the atom had the same number of **positive** and **negative** charges.



- Definition: an electron is a negatively charged subatomic particle.
- Symbol: e^-
- mass of e^- is 9.11×10^{-28} grams
- charge of e^- is 1.6×10^{-19} C

نموذج "بودينج الزبيب" لج.ج. طومسون (1897)

النموذج: اقترح طومسون أن الذرة تتكون في الغالب من مادة مشحونة بشحنة موجبة تحتوي على جسيمات مشحونة بشحنة سالبة (الإلكترونات) موزعة داخل المادة الموجبة.

الحيادية: الذرة متعادلة كهربائيًا بشكل عام؛ حيث يحتوي العدد نفسه من الشحنات الموجبة والسالبة.

خصائص الإلكترون:

التعريف: الإلكترون هو جسيم دون ذري مشحون بشحنة سالبة.

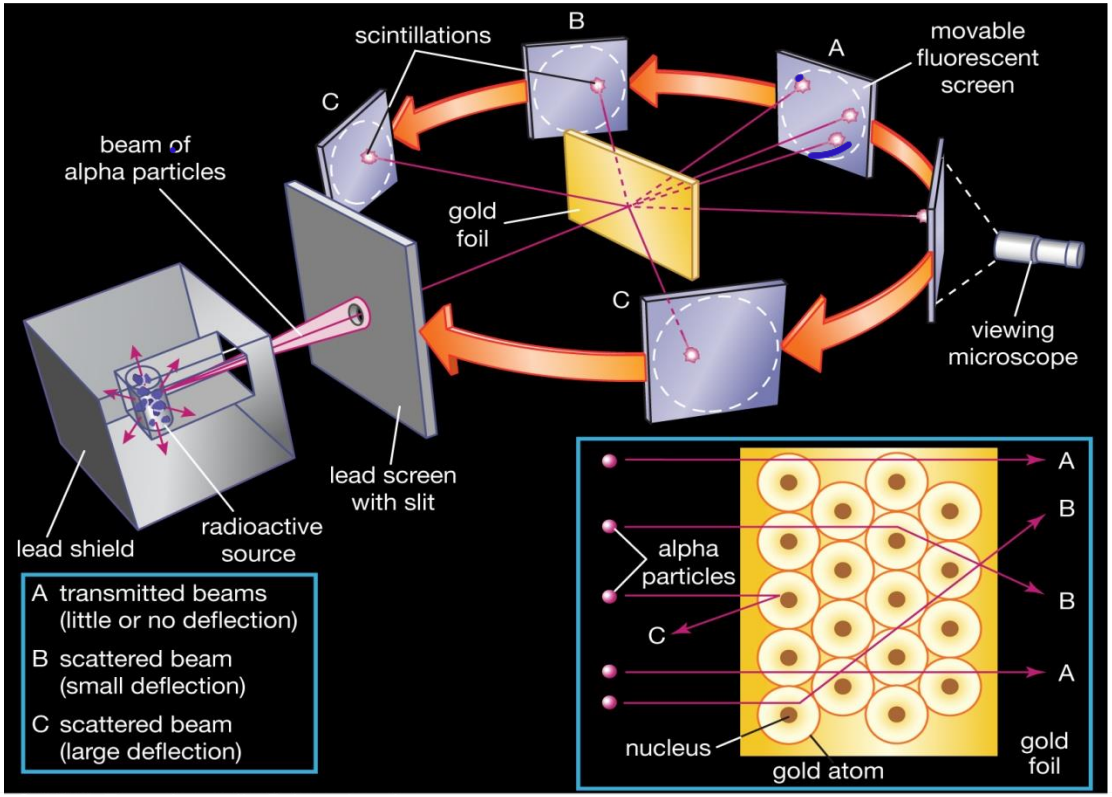
الرمز: e^-

كتلة الإلكترون: 9.11×10^{-28} جرام.

شحنة الإلكترون: -1.6×10^{-19} كولوم.

Rutherford, Geiger, and Marsden

- In 1911, Rutherford discovered the atom's nucleus.
- **Planetary model Based on results of thin foil experiments**
- Alpha particles (positively charged radioactive particles) were propelled through gold foil to study their behavior.



الاكتشاف: اكتشف رذرفورد النواة، وهي مركز صغير وكثيف داخل الذرة يحتوي على الشحنة الموجبة.

النموذج الكوكبي: اقترح رذرفورد نموذجًا يشبه النظام الكوكبي، حيث تدور الإلكترونات حول النواة المشحونة إيجابيًا.

http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/

Positively charged alpha-particles were directed at a piece of thin gold foil.

الوصف: قام رذرفورد بدراسة سلوك جسيمات ألفا (جسيمات مشحونة إيجابيًا ومشعة) عند إطلاقها على رقائق رقيقة جدًا من الذهب.

Rutherford model (Planetary model)

- The expected result was for the particles to pass straight through the foil. (They wouldn't be deflected much by the positive "plum pudding" and wouldn't be affected by the tiny electrons.)

كان من المتوقع أن تمر الجسيمات عبر الرقائق الذهبية مباشرة (لأنها لن تتأثر كثيرًا بالمادة الموجبة في نموذج "بودينج الزبيب" ولن تؤثر الإلكترونات الصغيرة على مسارها).

النتائج الفعليه:

معظم الجسيمات مرت عبر الرقائق الذهبية دون انحراف.

بعض الجسيمات انحرفت بزوايا كبيرة.

عدد قليل جدًا من الجسيمات ارتد إلى الوراء.

استنتاجات رذرفورد عن الذرة:

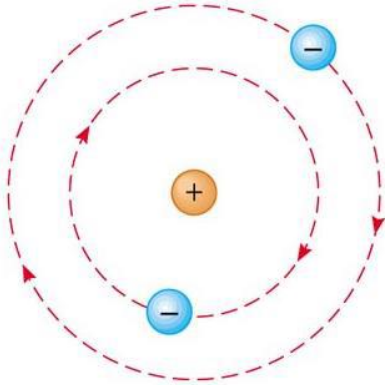
تتكون الذرة من نواة صغيرة تحتوي على معظم كتلة الذرة.

تتكون هذه النواة من جسيمات تُسمى البروتونات، وهي مشحونة بشحنة موجبة.

تحيط البروتونات إلكترونات سالبة الشحنة، ومعظم حجم الذرة عبارة عن فراغ.

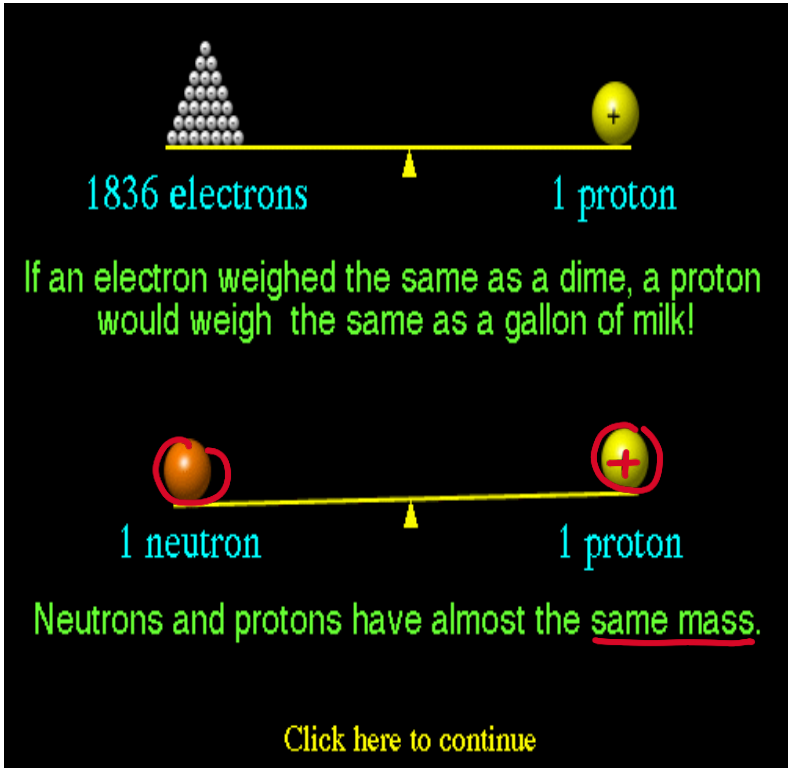
الشحنة الموجبة للنواة تعادل الشحنة السالبة للإلكترونات، مما يجعل الذرة متعادلة كهربائيًا.

- But he found that **most of particles** pass straight through the foil, but some it were deflected at wide angles and some bounced straight back.
- **Rutherford suggested the following characteristics of the atom:**
  - It consists of a small core called **nucleus**, that contains most of the mass of the atom
  - This nucleus is made up of particles called protons, which have a positive charge
  - The protons are surrounded by negatively charged electrons, but most of the atom is actually empty space
  - Accounted for the neutral charge of atoms, the + nucleus balanced the – electrons.



Sir James Chadwick (1932)

- Neutron Discovered in 1932 by James Chadwick (1891–1974).
- The neutron has a mass nearly equal to the proton's.
  - 1.675×10^{-24} grams
- There is in the atom's nucleus
- symbol: n^0
- Also has a zero charge



اكتشاف النيوترون بواسطة جيمس تشادويك (1932)

تفاصيل الاكتشاف:

النيوترون: جسيم دون ذري يوجد في نواة الذرة.

الخصائص:

الكتلة: تقترب كتلته من كتلة البروتون، حيث تبلغ 1.675×10^{-24} جرام.

الشحنة: شحنته صفر (محايد كهربائيًا).

الرمز: ^0n.

الموقع: يوجد داخل نواة الذرة بجانب البروتونات.

Summary of the Nuclear Model of the Atom

- Atoms contain protons, neutrons, and electrons.
- Protons are positive, electrons are negative, neutrons have no charge.
- Protons and neutrons contain most of the mass of an atom.
- Protons and neutrons are located in the nucleus, which is very small.
- Electrons are located outside the nucleus.

ملخص نموذج النواة للذرة

الذرات تحتوي على البروتونات، النيوترونات، والإلكترونات.

البروتونات: مشحونة بشحنة موجبة.

الإلكترونات: مشحونة بشحنة سالبة.

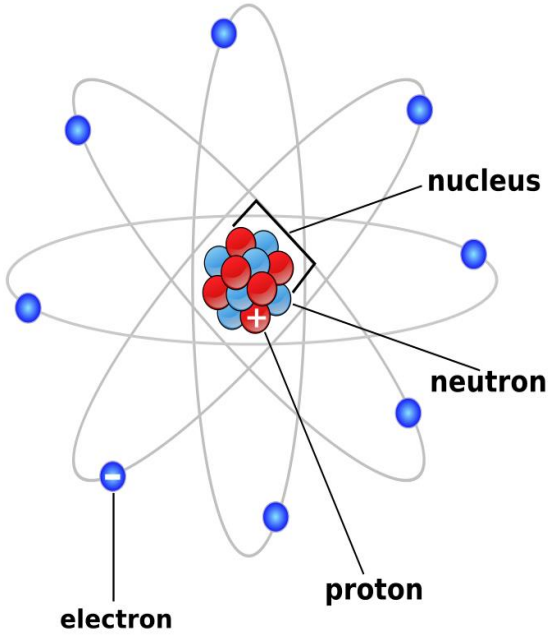
النيوترونات: لا تحمل شحنة (محايدة).

البروتونات والنيوترونات تحتويان على معظم كتلة الذرة.

البروتونات والنيوترونات تقع في النواة، التي تكون صغيرة جدًا.

الإلكترونات توجد خارج النواة.

Atomic Structure



Difficulties with the Rutherford model of the atom

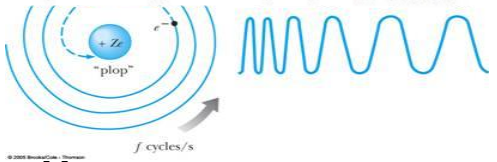
صعوبات نموذج رذرفورد للذرة:

❖ **Atoms emit certain discrete characteristic frequencies of electromaanetic radiation.**

- The Rutherford model is unable to explain this phenomena.

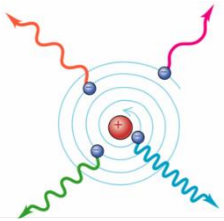
1. انبعاث ترددات معينة ومميزة من الإشعاع الكهرومغناطيسي:

- الذرات تصدر ترددات محددة ومميزة من الإشعاع الكهرومغناطيسي.
- نموذج رذرفورد غير قادر على تفسير هذه الظاهرة.



❖ **Rutherford's electrons are undergoing a centripetal acceleration.**

- It should radiate electromagnetic waves of the same frequency.
- The radius should steadily decrease as this radiation is given off.
- The electron should eventually spiral into the nucleus.
- ✓ But it doesn't



وفقًا للميكانيكا الكلاسيكية ونظرية الكهرومغناطيسية، أي جسيم مشحون يتحرك في مسار منحني يصدر إشعاعًا كهرومغناطيسيًا.

هذا يعني أن الإلكترونات ستفقد طاقتها تدريجيًا وتنهار داخل النواة، لكن هذا لا يحدث في الذرات الحقيقية.

2. تسارع الإلكترونات المركزي:

- الإلكترونات في نموذج رذرفورد تتعرض لتسارع مركزي (centripetal acceleration).
- وفقًا للنظرية الكلاسيكية، يجب أن تصدر الإلكترونات موجات كهرومغناطيسية بنفس التردد
- نتيجة لذلك، ينبغي أن يتناقص نصف قطر مسار الإلكترون تدريجيًا مع فقدان الطاقة.
- في النهاية، ينبغي أن يسقط الإلكترون في النواة.

According to classical mechanics and electromagnetic theory, any charged particle moving on a curved path emits electromagnetic radiation; thus, the electrons would lose energy and spiral into the nucleus.

Atomic Spectra

Emission Spectrum

- When a gas in a tube is subjected to a voltage at low pressure, the gas ionizes, and emits light characteristic of the gas.

- When the emitted light is analyzed with a spectrometer, a series of discrete bright lines is observed:

  - Each line has a different wavelength and color.
  - This series of lines is called an emission spectrum.

الطيف الانبعاثي (Emission Spectrum):

عند تعريض غاز داخل أنبوب لجهد كهربائي عند ضغط منخفض:

يتأين الغاز.

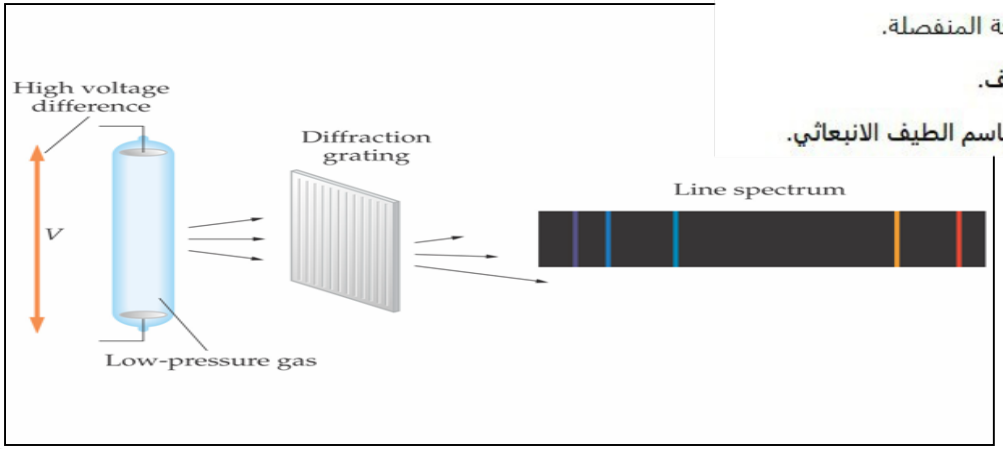
يصدر ضوءاً يتميز بخواص محددة خاصة بذلك الغاز.

عند تحليل الضوء المنبعث باستخدام مطياف:

تظهر سلسلة من الخطوط الساطعة المنفصلة.

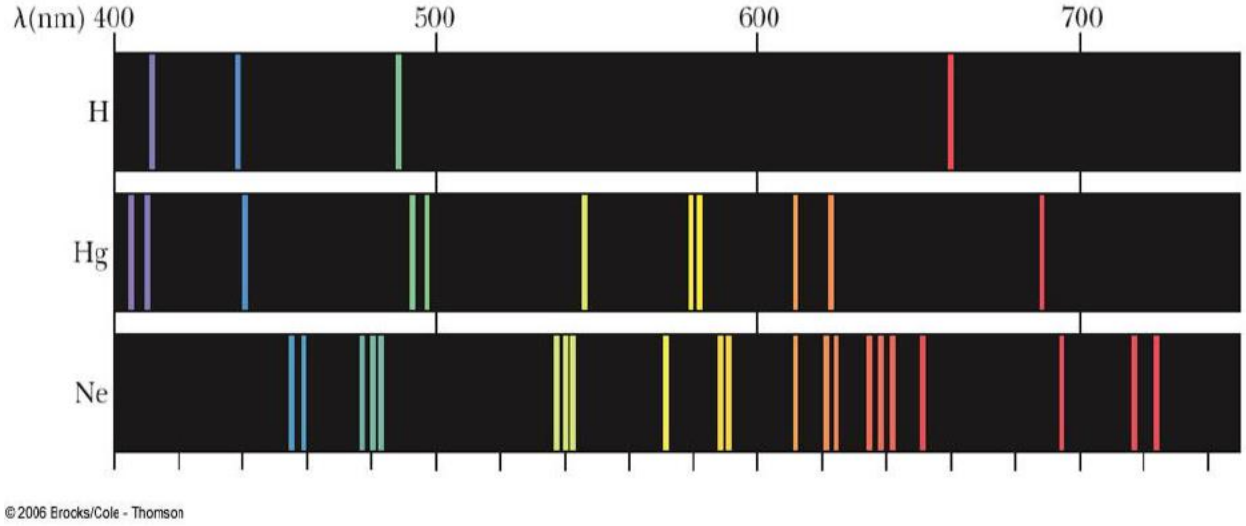
كل خط له طول موجي ولون مختلف.

تُعرف هذه السلسلة من الخطوط باسم الطيف الانبعاثي.



Example of Emission Spectrum

- The simplest line spectrum is that for atomic hydrogen



- Other atoms exhibit completely different line spectra
- Because no two elements have the same line spectrum, the phenomena represents a practical and sensitive technique for identifying the elements present in unknown samples

أبسط طيف خطي هو طيف ذرة الهيدروجين

- الذرات الأخرى تعرض أطيافًا خطية مختلفة تمامًا.
- نظرًا لأن أي عنصرين لا يمتلكان نفس الطيف الخطي، فإن هذه الظاهرة تمثل تقنية عملية وحساسة لتحديد العناصر الموجودة في العينات غير المعروفة.

Atomic Spectra

Absorption Spectrum

طيف الامتصاص

- يمكن للعنصر أيضًا امتصاص الضوء عند أطوال موجية محددة.

✓An element can also absorb light at specific wavelengths.

✓An absorption spectrum can be obtained by passing a continuous radiation spectrum through a vapor of the gas.

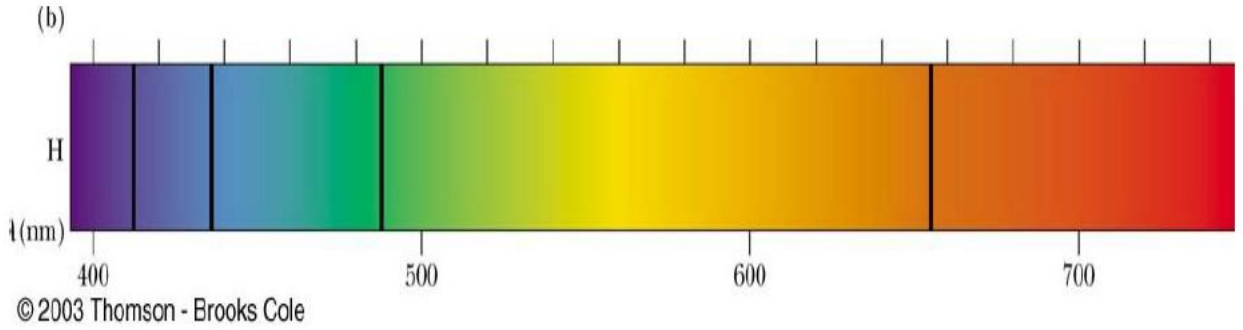
✓The absorption spectrum consists of a series of dark lines superimposed on the otherwise continuous spectrum.

✓**The dark lines of the absorption spectrum coincide with the bright lines of the emission spectrum**

- يتم الحصول على طيف الامتصاص عن طريق تمرير طيف إشعاعي مستمر عبر بخار الغاز.
- يتكون طيف الامتصاص من سلسلة من الخطوط الداكنة التي تظهر فوق الطيف المستمر.
- الخطوط الداكنة في طيف الامتصاص تتطابق مع الخطوط الساطعة في طيف الانبعاث.

Example of Absorption Spectrum

- Absorption Spectrum of Hydrogen atom



- A practical example is the continuous spectrum emitted by the sun

Hydrogen Spectrum – The Balmer Series

Johann Jakob Balmer

In 1885, Johann Jakob Balmer analyzed the hydrogen spectrum and found that hydrogen emitted four bands of light within the visible spectrum. His empirical formula for the visible spectral lines of the hydrogen atom was later found to be a special case of the Rydberg formula, devised by Johannes Rydberg.

Wavelength (nm)	Color
656.2	red
486.1	blue
434.0	blue-violet
410.1	violet

في عام 1885:

يوهان جاكوب بالمر قام بتحليل طيف الهيدروجين ووجد أن الهيدروجين يصدر **أربع خطوط ضوئية** داخل الطيف المرئي.

صيغة بالمر التجريبية:

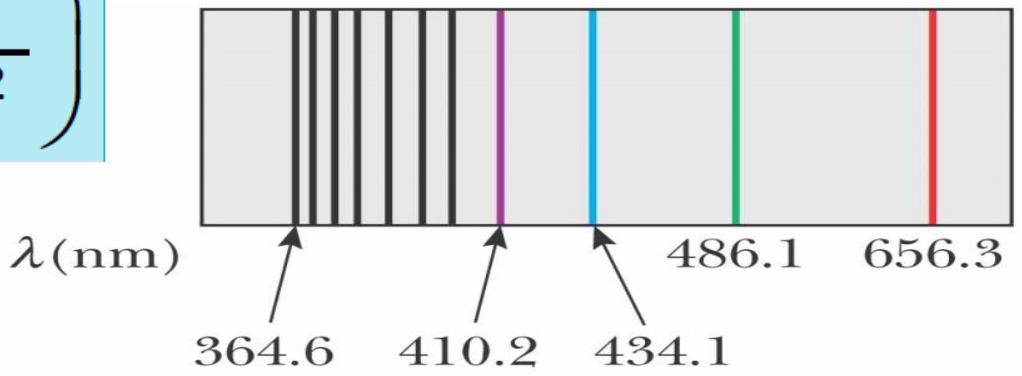
كانت تهدف إلى وصف الخطوط الطيفية المرئية لذرة الهيدروجين.

لاحقًا، تم اكتشاف أنها **حالة خاصة من صيغة رايدبرغ**، التي طورها **يوهانس رايدبرغ**.

Hydrogen Spectrum – The Balmer Series

Empirical equation that correctly predicted the four visible emission lines of hydrogen.

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$



- R_H is the Rydberg constant
  - $R_H = 1.097\ 373\ 2 \times 10^7\ m^{-1}$
- n is an integer, n = 3, 4, 5,…
- The spectral lines correspond to different values of n

Other Hydrogen Series

- Other series were also discovered and their wavelengths can be calculated

- Lyman series:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 2, 3, 4, \ldots$$

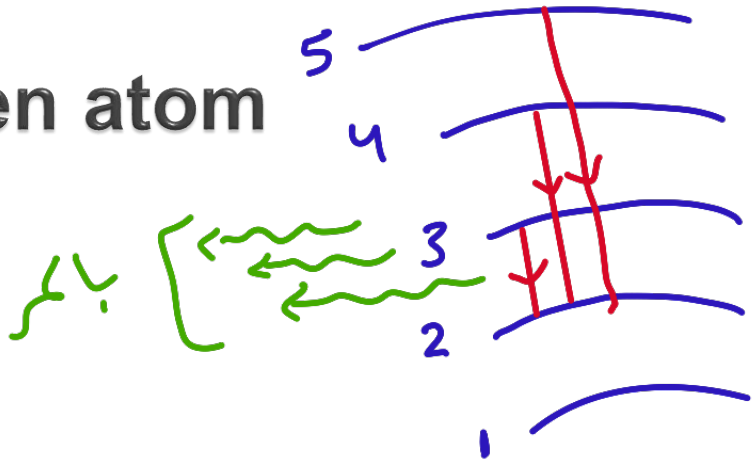
- Paschen series:

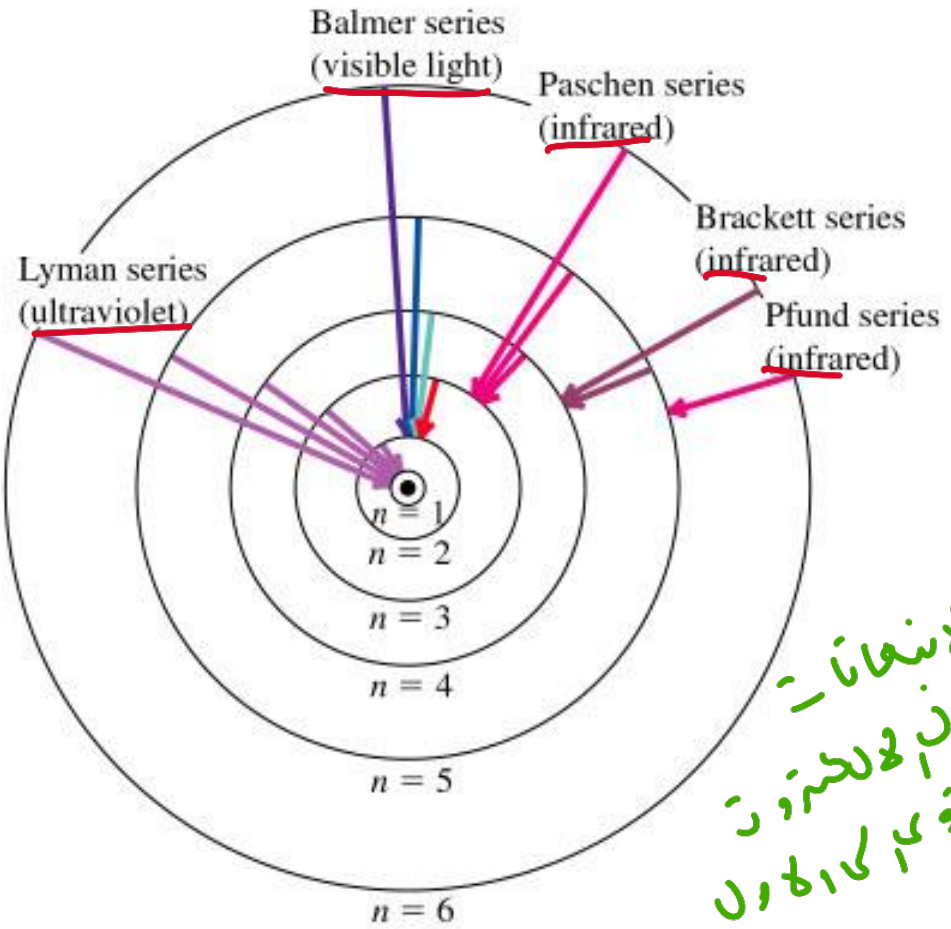
$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 4, 5, 6, \ldots$$

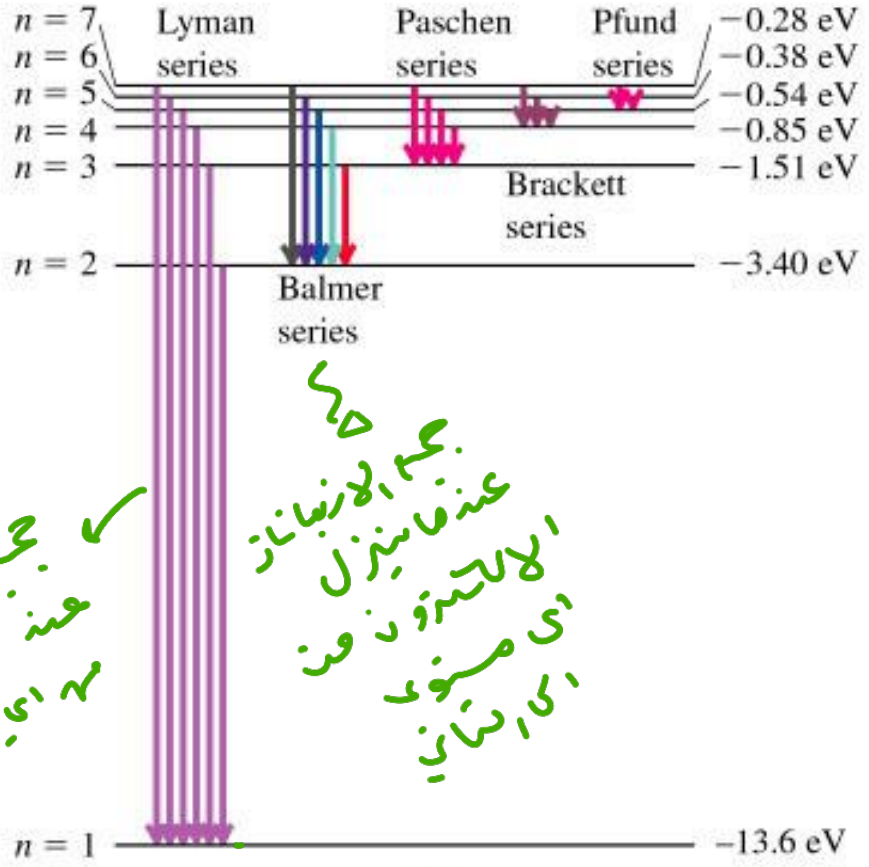
- Brackett series:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 5, 6, 7, \ldots$$

The hydrogen atom

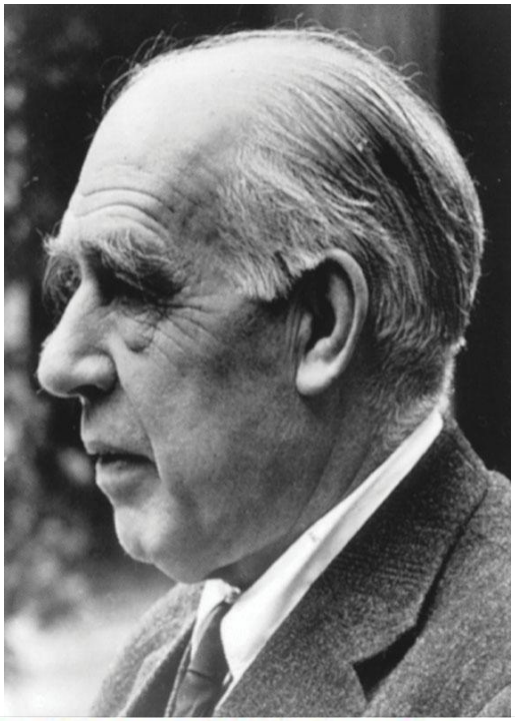






Bohr's theory of the hydrogen

- In 1913 Bohr provided an explanation of atomic spectra that includes some features of the currently accepted theory.
- His model includes both classical and non-classical ideas.
- His model included an attempt to explain why the atom was stable.



- **في عام 1913:** قدم **نيلز بور** تفسيرًا للطيف الذري للهيدروجين يتضمن بعض الخصائص التي تتفق مع النظرية الحالية.

ملامح نموذج بور:

1. يشمل أفكارًا كلاسيكية وغير كلاسيكية.
2. محاولة لشرح سبب استقرار الذرة.

Bohr's Assumptions for Hydrogen, 1

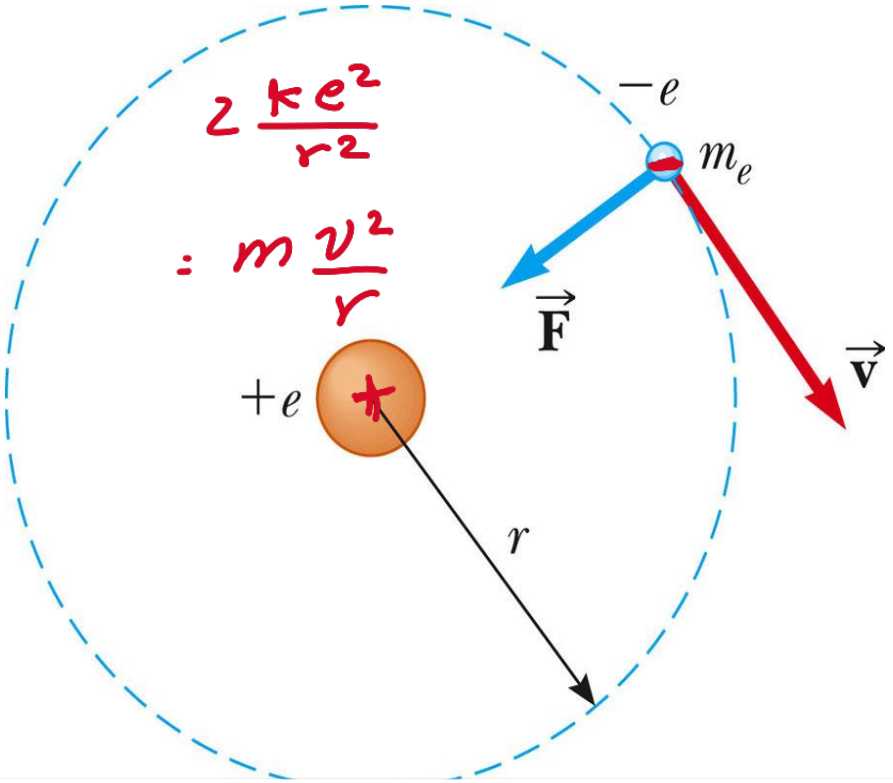
- **The electron moves in circular orbits about the nucleus under the influence of the coulomb force of attraction.**
  - The Coulomb force, F_e produces the centripetal acceleration, a for continued motion.

$$F_e = F_{cent}$$

$$k_e \frac{Ze^2}{r^2} = m_e \frac{v^2}{r}$$

  - For Hydrogen atom, Z=1

$$\therefore m_e v^2 = k_e \frac{e^2}{r}$$



افتراضات بور لذرة الهيدروجين:

1. الإلكترون يتحرك في مدارات دائرية حول النواة:

- يتأثر بقوة كولوم التجاذبية.
- قوة كولوم F_e تنتج التسارع المركزي a اللازم لاستمرار الحركة.

Bohr's Assumptions for Hydrogen, 2

- **An electron with constant acceleration moving in an allowed orbit does not radiate electromagnetic energy. Thus, its total energy E remains constant.**

  - Therefore, the total energy of the atom remains constant.
  - This representation claims the centripetally accelerated electron does not emit energy and therefore does not eventually spiral into the nucleus

2. الإلكترون في مدار مسموح لا يشع طاقة كهرومغناطيسية:

- الإلكترون ذو التسارع الثابت في مدار مسموح لا يصدر إشعاعًا كهرومغناطيسيًا.
- تظل الطاقة الكلية E للإلكترون ثابتة.
- هذا يعني أن الإلكترون لن يفقد طاقته تدريجيًا ولن يقترب من النواة.

Bohr's Assumptions for Hydrogen, 3

- الإشعاع ينبعث عندما ينتقل الإلكترون من حالة أولية ذات طاقة أعلى إلى مدار أقل طاقة.

- **Radiation is emitted by the atom when the electron makes a transition from a more energetic initial state to a lower-energy orbit.**

- الإشعاع ينبعث عندما ينتقل الإلكترون من حالة أولية ذات طاقة أعلى إلى مدار أقل طاقة.
- الانتقال لا يمكن تفسيره بالطريقة الكلاسيكية.

  - The transition cannot be treated classically
  - The frequency f of the photon emitted in the transition is related to the change in the atom's energy.
  - The frequency is independent of frequency of the electron's orbital motion.
  - The frequency of the emitted radiation is given by

- التردد (f) للفوتون المنبعث أثناء الانتقال مرتبط بالتغير في طاقة الذرة.
- التردد مستقل عن تردد الحركة المدارية للإلكترون.

$$E_i - E_f = hf$$

Where E_i is the energy of the initial state, E_f is the energy of the final state, and $E_i > E_f$

  - If a photon is absorbed, the electron moves to a higher energy level

- إذا امتصت الذرة فوتونًا، فإن الإلكترون ينتقل إلى مستوى طاقة أعلى.

Bohr's Assumptions for Hydrogen, 4

- The allowed electron orbits is determined by orbital angular momentum, L was defined as:

$$L = m_e v r$$

- The orbital angular momentum is quantized and equal to an integral number of ħ where ħ=h/2π

$$L = m_e v r = n\hbar$$

Where n is quantum numbers
n = 1, 2, 3,…

4. المدارات المسموح بها تحددها الزخم الزاوي المداري:

- الزخم الزاوي المداري L للإلكترون كمي ومحدد بالصورة:

$$n\hbar = L$$

حيث $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ و n هو عدد الكم (n = 1, 2, 3,...).

Bohr Radius

نصف قطر

- Solving for the radii of the Bohr orbits give us:

$$r_n = \frac{n^2 \hbar^2}{m_e k_e e^2} \qquad n = 1, 2, 3, \ldots$$

  - This shows that the radii of the allowed orbits have discrete values—they are quantized
    - When n = 1, the orbit has the smallest radius, called the Bohr radius, a_o
    - $a_o = 0.052\ 9$ nm

A general expression for the radius of any orbit in a hydrogen atom is

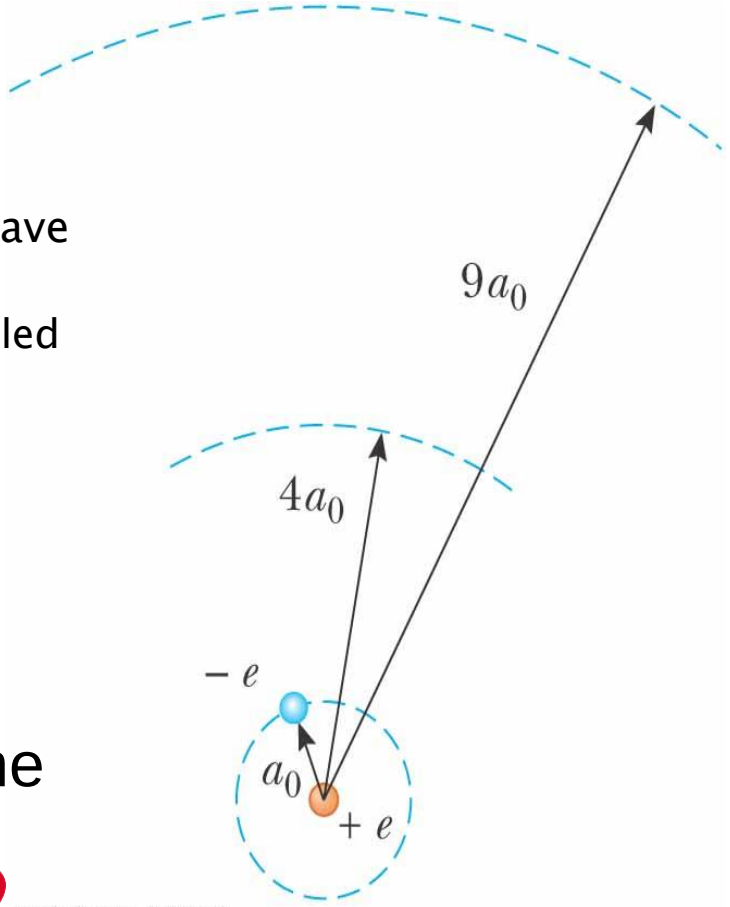
نصف القطر

$$r_n = a_o n^2 \qquad (1)$$

And the velocity of the electron in the n^{th} orbit is :

سرعة الالكترون

$$v_n = \frac{k_e e^2}{n\hbar} \qquad (2)$$



©2004 Thomson - Brooks/Cole

Energy of Orbits

- The total energy of the orbittom is

$$E = K + U = \frac{1}{2} m_e v^2 - k_e \frac{e^2}{r}$$

- The total energy can also be expressed as

$$E = -\frac{k_e e^2}{2r} = \frac{-ke^2}{2(n^2)a_0}$$

  - Note, the total energy is negative, indicating a bound electron-proton system

اشاره الطاقه الكليه سالبه تدل على التنبؤبين e و p

Energy of Orbits

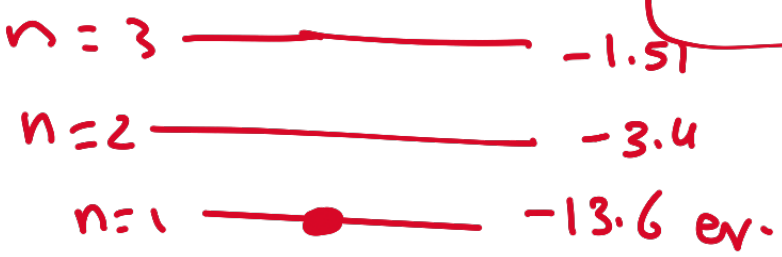
- The energy of any orbit is

$$E_n = -\frac{k_e e^2}{2a_o}\left(\frac{1}{n^2}\right) \quad n = 1, 2, 3, \ldots$$

E_n = - 13.606 eV / n^2

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

(3)



Specific Energy Levels

- Only energies satisfying the previous equation are allowed

مستوى، لا ستوار

- The lowest energy state is called the ground state
  - This corresponds to n = 1 with E = -13.606 eV

- The ionization energy is the energy needed to completely remove the electron from the ground state in the atom
  - The ionization energy for hydrogen is 13.6 eV

مستويات الطاقة المحددة:

1. الطاقات المسموح بها فقط هي التي تحقق المعادلة السابقة.
2. الحالة الأقل طاقة تُسمى الحالة الأرضية:
   - تتوافق مع $n = 1$ حيث تكون الطاقة $E = -13.606\ \text{eV}$.
3. **طاقة التأين:**
   - هي الطاقة اللازمة لإزالة الإلكترون بالكامل من الحالة الأرضية في الذرة.
   - طاقة التأين لذرة الهيدروجين تساوي $13.6\ \text{eV}$.

Energy Level Diagram

- Quantum numbers are given on the left and energies on the right

  اى مستوى تلويه طاقة صفر

- The uppermost level, $E = 0$, represents the state for which the electron is removed from the atom
  - Adding more energy than this amount *ionizes* the atom

$E_i - E_f = -1.51 - -13.606$

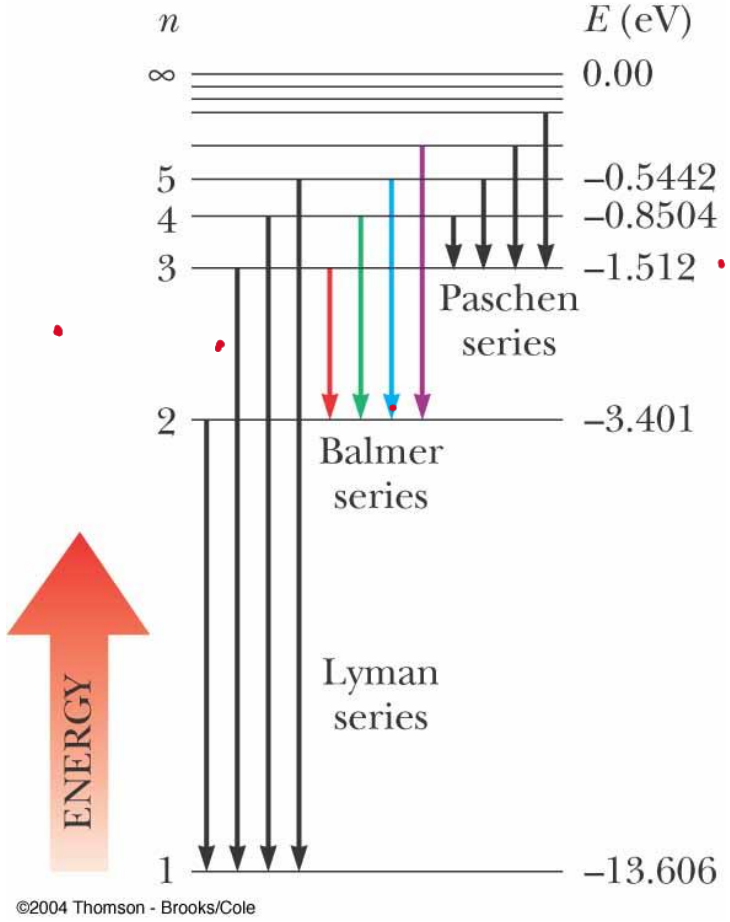
$= 12.09\ eV$

$E_i - E_f = hf$

$\frac{12.09 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} = f = 2.9 \times 10^{15}\ Hz$

$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2.9 \times 10^{15}}$

$\lambda = 103.4\ nm$



Frequency of Emitted Photons

- The frequency of the photon emitted when the electron makes a transition from an outer orbit to an inner orbit is

$$f = \frac{E_i - E_f}{h} = \frac{k_e e^2}{2a_o h}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

- It is convenient to look at the wavelength instead

Wavelength of Emitted Photons

- The wavelengths are found by

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{f}{c} = \frac{k_e e^2}{2a_0 hc}\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) = R_H\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

- The value of R_H from Bohr's analysis is in excellent agreement with the experimental value

حيث تم حساب الثابت الذي وصفها جون منفعة تسلل
همتار مع نتائج التجريبية لثابت ريدبرج

$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

Extension to Other Atoms

- Bohr extended his model for hydrogen to other elements in which all but one electron had been removed

$$r_n = \left(n^2\right)\frac{a_o}{Z}$$

$$E_n = -\frac{k_e e^2}{2a_o}\left(\frac{Z^2}{n^2}\right) \qquad n = 1, 2, 3, \ldots$$

  - Z is the **atomic number** of the element and is the number of protons in the nucleus

Difficulties with the Bohr Model

- It violates the Heisenberg Uncertainty Principle because it considers electrons to have both a known radius and orbit.
- The Bohr Model provides an incorrect value for the ground state orbital angular momentum.
- It makes poor predictions regarding the spectra of larger atoms.
- It does not predict the relative intensities of spectral lines.
- The Bohr Model does not explain fine structure and hyperfine structure in spectral lines.
- It does not explain the Zeeman Effect.

صعوبات نموذج بور:

- ينتهك مبدأ الشك لهايزنبرغ لأنه يعتبر الإلكترونات ذات نصف قطر ومدار معروفين.
- يوفر نموذج بور قيمة غير صحيحة للعزم الزاوي المداري في الحالة الأرضية.
- يقدم تنبؤات ضعيفة بشأن طيف الذرات الأكبر.
- لا يتنبأ بالكثافات النسبية لخطوط الطيف.
- نموذج بور لا يشرح الهيكل الدقيق والهيكل فوق الدقيق في خطوط الطيف.
- لا يفسر تأثير زيمان.

نجاحات نظرية بور:

- شرح العديد من ميزات طيف الهيدروجين.
- يوفر تفسيرًا لسلسلة بالمر وسلاسل أخرى.
- يتنبأ بقيمة لـ RH تتوافق مع القيمة التجريبية.
- يقدم تعبيرًا لنصف قطر الذرة.
- يتنبأ بمستويات الطاقة لذرة الهيدروجين.
- يوفر نموذجًا يوضح شكل الذرة وسلوكها.
- يمكن تمديده ليشمل "الذرات المشابهة للهيدروجين" (التي تحتوي على إلكترون واحد).
- يجب استبدال Z^2 بـ e^2 في المعادلات.
- Z هو الرقم الذري للعنصر.

Successes of the Bohr theory

- Explained several features of the hydrogen spectrum
- Accounts for Balmer and other series
- Predicts a value for R_H that agrees with the experimental value
- Gives an expression for the radius of the atom
- Predicts energy levels of hydrogen
- Gives a model of what the atom looks like and how it behaves
- Can be extended to "hydrogen-like" atoms .Those with one electron
- Ze^2 needs to be substituted for e^2 in equations
- Z is the atomic number of the element