

Physics 207106

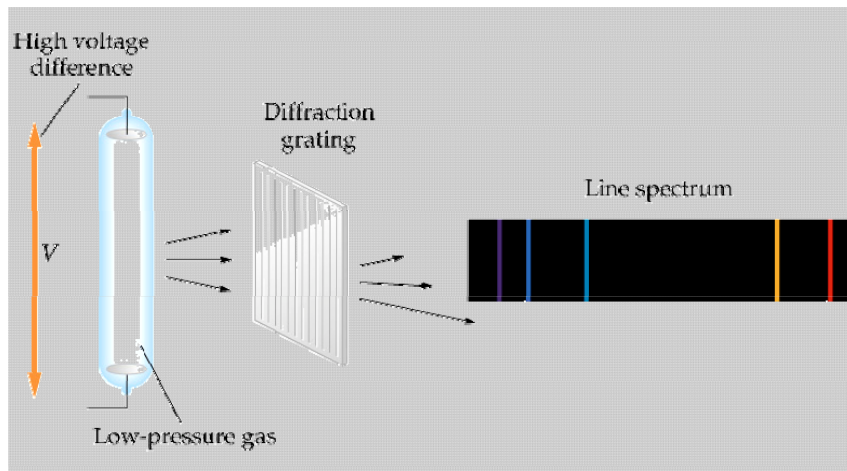
ฟิสิกส์ทั่วไป 2

บรรยายครั้งที่ 11

8, 10 กุมภาพันธ์ 2554

<http://www.physics.science.cmu.ac.th/courses/207106/index.htm>

เส้นสเปกตรัมของแสงที่ปลดปล่อยมาจากอะตอมของไฮโดรเจน



เส้นสเปกตรัมจากอะตอม มีลักษณะเป็นเส้นเดี่ยวๆ ที่ไม่ไช่แถบต่อเนื่อง

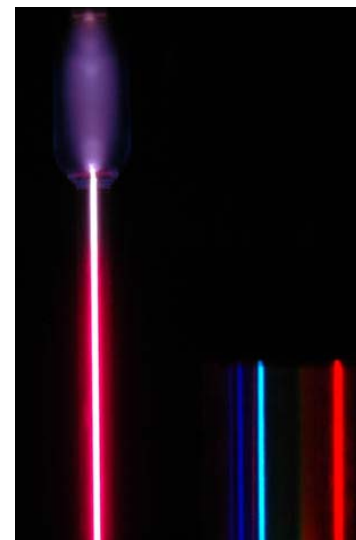
Atomic Physics



J.J. Thomson
(1856-1940)
ค้นพบอิเล็กตรอน
(1897)

"Could anything at first sight seem more impractical than a body which is so small that its mass is an insignificant fraction of the mass of an atom of hydrogen? --which itself is so small that a crowd of these atoms equal in number to the population of the whole world would be too small to have been detected by any means then known to science."

สเปกตรัมชนิดเส้น (Line spectrum)



- สเปกตรัมชนิดเส้นเป็นสมบัติเฉพาะตัวของธาตุ อาจใช้ตรวจสอบหาชนิดของธาตุต่างๆ ได้
- สเปกตรัมมีสองลักษณะดังนี้
 - **สเปกตรัมเส้นสว่าง (emission line spectrum)** เมื่อให้พลังงานแก่แก๊สที่มีความดันต่ำ ผ่านไปในแก๊สเย็นที่โลกสว่าง จะแผ่รังสีออกมาเป็นเส้นสเปกตรัมที่สามารถตรวจสอบได้ด้วยเครื่องวัดสเปกตรัม (spectroscope)
 - **สเปกตรัมเส้นมืด (absorption line spectrum)** เมื่อให้แสงที่มีสเปกตรัมต่อเนื่องผ่านไปในแก๊สเย็นที่ไม่โลกสว่าง แสงบางส่วนจะถูกดูดกลืน

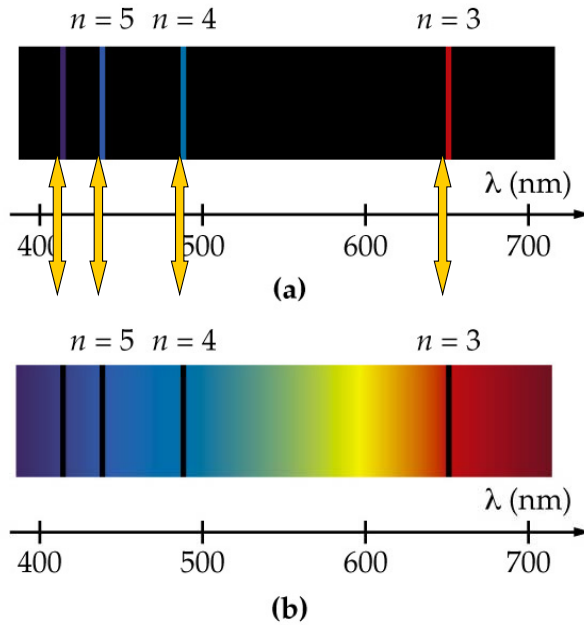
The Spectrum of Atomic Hydrogen

บาลเมอร์ (J.J. Balmer)

อะตอมของไฮโดรเจนจะมีการปลดหรือดูดกลืนความถี่ของแสงได้เฉพาะบางค่าเท่านั้น

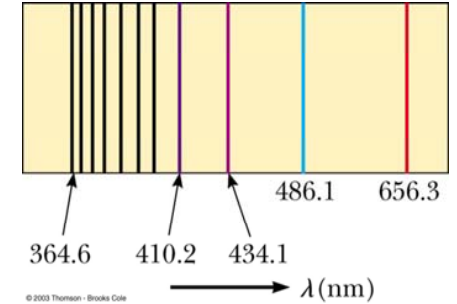
a) Emission spectrum

b) Absorption spectrum



สเปกตรัมของไฮโดรเจน

Johann Jakob Balmer (1825-1898) – ครูชาวสวีเดน ได้สร้างสมการที่สามารถทำนายความยาวช่วงคลื่นของเส้นสเปกตรัมในช่วงแสงที่มองเห็นได้ **visible lines** (360nm to 660nm) ที่ปลดออกมาจากอะตอมไฮโดรเจน

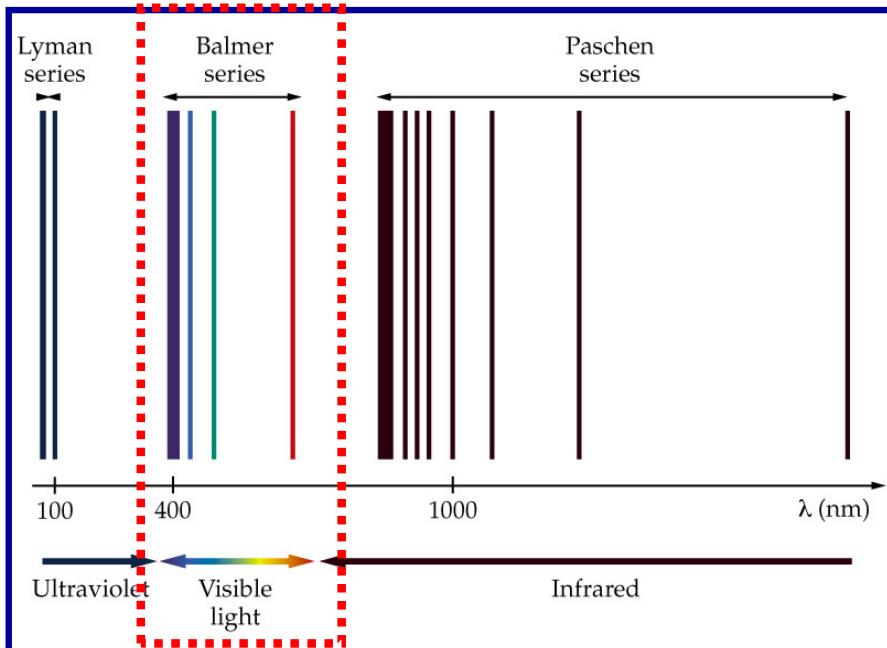


$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 3, 4, 5, \dots \text{ (Balmer Series)}$$

$$R, R_H = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \text{ (Rydberg constant)}$$



เส้นสเปกตรัมที่ทำนายโดยใช้สมการของ Balmer นั้น เรียกว่า **อนุกรมของ Balmer** ถึงแม้ว่าสมการของเขาจะทำนายผลการทดลองได้อย่างถูกต้อง **แต่ตัว Balmer เองให้เหตุผลไม่ได้ว่าทำไมสมการของเขาถึงทำนายผลได้ถูกต้อง**



สามารถใช้ในการทำนายเส้นสเปกตรัมที่ปลดออกมาจากอะตอมของไฮโดรเจน (visible & invisible)

เส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจน

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

$R_H = \text{Rydberg constant}$ สำหรับไฮโดรเจน = $1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

(จากสมการ $\lambda_s = 656.3, 486.1, 434.1, 410.2 \text{ nm}, \dots$)

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

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

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

Pfund series $\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right) \rightarrow n = 6, 7, 8, \dots$

Light

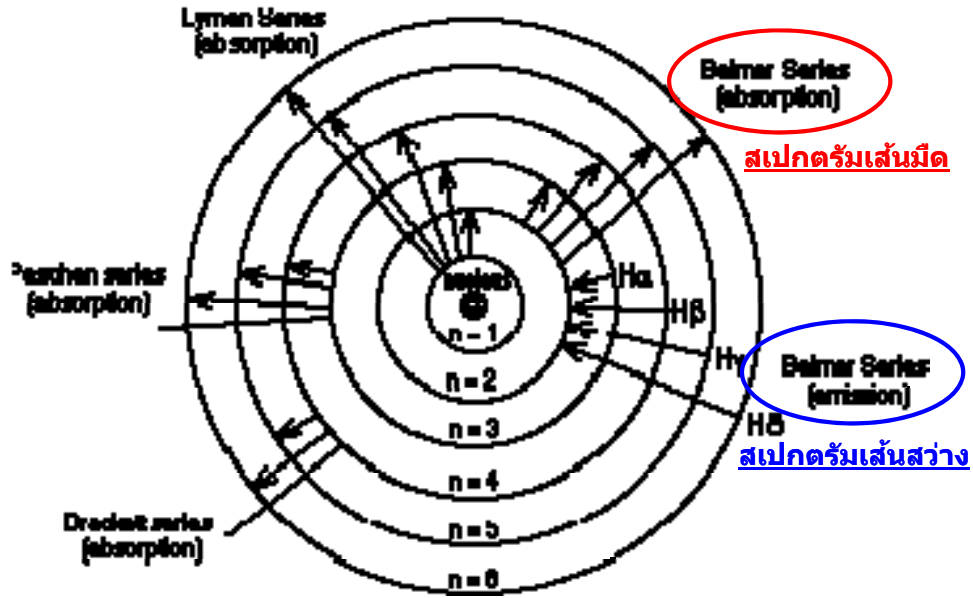
UV

IR

IR

IR

Emission & Absorption line spectrums



คำถาม: Balmer Series

1. λ ประมาณ 130 nm
2. λ ประมาณ 230 nm
3. λ ประมาณ 330 nm
4. λ ประมาณ 430 nm
5. λ ประมาณ 730 nm
6. λ ประมาณ 830 nm

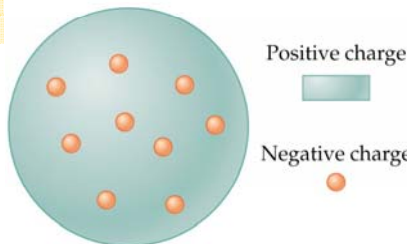
จงคำนวณค่าความยาวช่วงคลื่นของเส้นสเปกตรัมของแสงในอนุกรมของ Balmer เมื่อ $n = 5$

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 3, 4, 5 \dots \text{ (Balmer Series)}$$

$$R_H = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \text{ (Rydberg constant)}$$

แบบจำลองของอะตอมในยุคแรกๆ

- สมัยกรีกโบราณ : Leucippus และ Democritus – อะตอม – คือ ส่วนที่เล็กที่สุดของสสาร (แบ่งไม่ได้อีกแล้ว)



J.J. Thomson (1856-1940):

ทำการวัด รังสีคาโทดภายในหลอดแก้วสุญญากาศ
สร้าง แบบจำลองว่ารังสีคาโทดคือลำของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าอะตอม และอนุภาคที่กล่าวถึงนี้ในภายหลัง ถูกเรียกว่าเป็นอิเล็กตรอน ซึ่งกำหนดให้มีค่าประจุเป็นลบ อะตอมเป็นกลาง
เสนอ แบบจำลองอะตอม แบบ plum-pudding

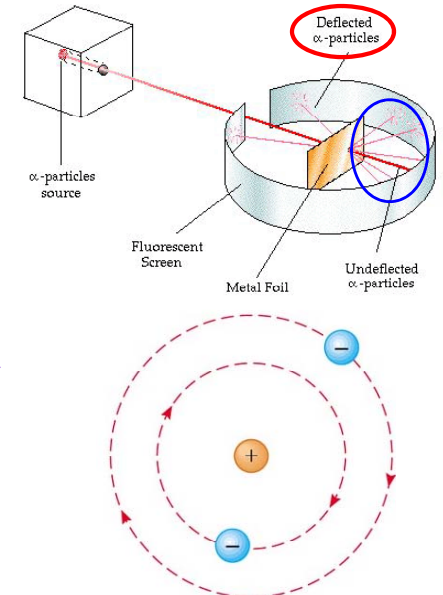
ถ้าแบบจำลองนี้ถูกต้อง :

เมื่อทำการระดมยิงด้วยอนุภาคอัลฟาซึ่งเป็นอนุภาคที่มีประจุบวกซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอิเล็กตรอน การกระเจิงของอนุภาคอัลฟานั้นควรจะมีความมน้อยๆ

แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

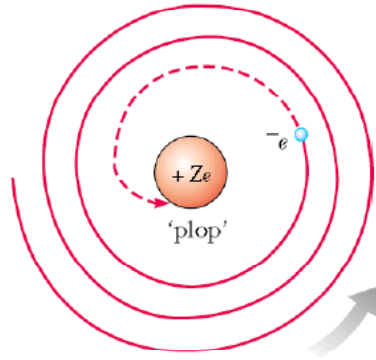
□ แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด (Rutherford's model)

- มีลักษณะคล้ายกับวงโคจรของดาวเคราะห์รอบๆ ดวงอาทิตย์
- มีแนวคิดพื้นฐานจากการทดลองการยิงอนุภาคฮีเลียมไปบนแผ่น foil บางๆ
- ประจุบวกจะอยู่อย่างหนาแน่น ณ จุดศูนย์กลางของอะตอม เรียกว่า **นิวเคลียส** และมีอิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียส คล้ายกับดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์
- ได้แสดงการคำนวณออกมาว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของนิวเคลียส เล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของอะตอมประมาณ 10^4 เท่า (นิวเคลียสมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10^{-14} - 10^{-15} เมตร)



ปัญหาในแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

- จากการทดลองวัดสเปกตรัมของแสงที่อะตอมมีการปลดพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ที่มีความถี่เฉพาะตัวค่าหนึ่งๆ) ที่มีค่าไม่ต่อเนื่อง
 - แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ดไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้
- อิเล็กตรอนในแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ดนั้นมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นวงกลม ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบมีความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลาง จะต้องมีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ ออกมา
 - ดังนั้นรัศมีของนิวเคลียสควรจะเล็กลงเรื่อยๆ เนื่องจากอิเล็กตรอนมีการสูญเสียพลังงาน
 - ตามแบบจำลองนี้ในที่สุดอิเล็กตรอนควรที่จะหมุนควงเข้าชนนิวเคลียส
 - ในความเป็นจริง ไม่เกิดกรณีแบบนี้ขึ้น**



Niels Bohr (1885-1962)



"Anyone who is not dizzy after his first acquaintance with the quantum of action has not understood a word". (N. Bohr)

- สร้างแบบจำลองของอะตอมไฮโดรเจน
- ได้รับรางวัล Nobel Prize ในปี 1922.

แนวคิดของ Bohr เป็นการผสมผสานของหลายๆ ความคิด เช่น **ควอนตัมพลังงานของ Planck**, **ทฤษฎีโฟตอนของ Einstein** **แบบจำลองของอะตอมแบบเกอ** และ **กลศาสตร์ของ Newton** ในการสร้างสมการที่จะมาใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนรอบๆ นิวเคลียสของไฮโดรเจนซึ่งประกอบด้วย 1 โปรตอนหรือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนตัวหนึ่งรอบนิวเคลียสของไอออนอื่นเช่น He^+ ซึ่งมี 2 โปรตอน (1 อิเล็กตรอน) เป็นต้น



สมมติฐานของบอห์ร์ สำหรับอะตอมไฮโดรเจน

สมมติฐานของบอห์ร์ สำหรับอะตอมไฮโดรเจน :

- อิเล็กตรอนภายในอะตอมของไฮโดรเจนจะมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลม รอบๆ นิวเคลียส (Rutherford's model)
- ในบางวงโคจรนั้นอิเล็กตรอนจะ**ไม่มีการปลดรังสีออกมา** ดังนั้นจึงทำให้อะตอมนั้นเสถียร เรียกว่า **อิเล็กตรอนอยู่ในสถานะนิ่ง (stationary states)**
- อะตอมจะมีการปลด หรือ ดูดกลืนพลังงานก็ต่อเมื่ออิเล็กตรอนมีการเปลี่ยนวงโคจร โดยที่ : $\Delta E = hf$ เมื่อ ΔE มีค่าเป็นบวกแสดงว่าอะตอมมีการปลดพลังงานออกมา และ เมื่อ ΔE เป็นลบแสดงว่าอะตอมมีการดูดกลืนพลังงาน

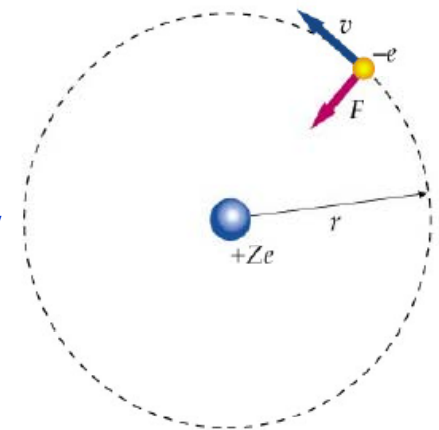
$$\Delta E = E_i - E_f = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

- มีวงโคจรบางวงโคจรเท่านั้นที่อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่อยู่ได้ โดยที่วงโคจรเหล่านั้นต้องมีค่าโมเมนตัมเชิงมุมของอิเล็กตรอนเป็นจำนวนเท่าของ $h/2\pi$

$$L = mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad (n \text{ เป็นเลขจำนวนเต็ม})$$

สมมติฐานของ Bohr

ข้อที่ 1: อิเล็กตรอนของไฮโดรเจนเคลื่อนที่เป็นวงกลมอยู่รอบนิวเคลียสโดยอาศัยแรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนและโปรตอนสำหรับอิเล็กตรอนประจุ $-e$ เคลื่อนที่รอบๆ นิวเคลียสที่มีประจุ $+Ze$ ซึ่ง **คือเลขอะตอม** กำหนดให้ระยะห่างระหว่างอิเล็กตรอนและนิวเคลียสคือ r และอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v



จาก

$$\sum \vec{F}_c = m\vec{a}_c$$

สมมุติฐานของ Bohr

ค่าพลังงานจลน์ (K) ของอิเล็กตรอน

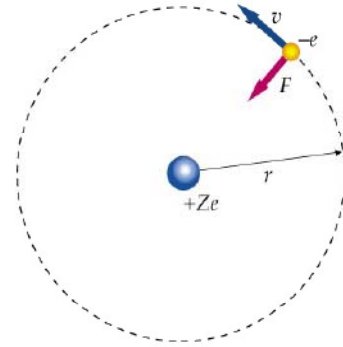
$$E_k = \frac{1}{2} \frac{kZe^2}{r}$$

ค่าพลังงานศักย์ (U) ของอิเล็กตรอน

$$U = \frac{kq_1q_2}{r} = \frac{k(Ze)(-e)}{r} = -\frac{kZe^2}{r}$$

ค่าพลังงานรวม (Total Energy) ของอิเล็กตรอน

$$E = K + U = \frac{1}{2} \frac{kZe^2}{r} - \frac{kZe^2}{r} \Rightarrow E = -\frac{1}{2} \frac{kZe^2}{r}$$



$k = \text{Coulomb constant}$
 $= 8.988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$

สมมุติฐานของ Bohr

ข้อที่ 2: อิเล็กตรอนในอะตอมจะเคลื่อนที่อยู่ในวงโคจรบางวงโคจร ซึ่งจะไม่มีการแผ่รังสีออกมา ดังนั้นพลังงานทั้งหมดของอะตอมจะคงที่และวงโคจรนั้นเรียกว่า สถานะคงที่ (Stationary States) (ทราบได้ที่อิเล็กตรอนยังอยู่ในวงโคจรนั้น อะตอมจะไม่มีการแผ่รังสี)

ข้อที่ 3: อะตอมจะมีการแผ่รังสีออกมาเมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจรจากวงโคจรที่มีพลังงานสูงกว่า (E_i) ไปยังวงโคจรที่มีพลังงานต่ำกว่า (E_f) และ ความถี่ของรังสีที่แผ่ออกมาจะขึ้นกับระยะห่างระหว่างวงโคจรทั้งสอง (โดยไม่ขึ้นกับความถี่ของอิเล็กตรอนที่วิ่งอยู่รอบนิวเคลียส)

ความถี่ของรังสีที่แผ่ออกมาเมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจร

$$f = \frac{E_1 - E_2}{h} = \frac{1}{2} \frac{kZe^2}{h} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

$r_1 =$ รัศมีของวงโคจรตั้งต้น
 $r_2 =$ รัศมีของวงโคจรสิ้นสุด

สมมุติฐานของ Bohr

ข้อที่ 4: รัศมีของวงโคจรหาได้จากโมเมนตัมเชิงมุม (Angular Momentum) ของอิเล็กตรอน ซึ่ง Bohr กำหนดให้ว่าโมเมนตัมเชิงมุมถูกควันไทซ์ (Quantized) นั่นคือมีค่าเฉพาะ (discrete)

Angular Momentum $\rightarrow m_e v r = \frac{n\hbar}{2\pi} = n\hbar, \quad n = 1, 2, 3, \dots$

$$\hbar = 1.055 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 6.582 \times 10^{-16} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

ความเร็วของอิเล็กตรอนในวงโคจร

$$v = \frac{n\hbar}{m_e r} \quad \text{หรือ} \quad v^2 = n^2 \frac{\hbar^2}{m_e^2 r^2} \quad (1)$$

เมื่อเทียบความเร็วของอิเล็กตรอนกับสมการจากสมมุติฐานข้อที่ 1

$$v^2 = \frac{kZe^2}{m_e r} \quad (2)$$

เทียบ (1) = (2)

จะได้ว่า $n^2 \frac{\hbar^2}{m_e^2 r^2} = \frac{kZe^2}{m_e r}$

รัศมีของวงโคจรของอิเล็กตรอน

$$r = n^2 \frac{\hbar^2}{m_e kZe^2} = n^2 \frac{a_0}{Z} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

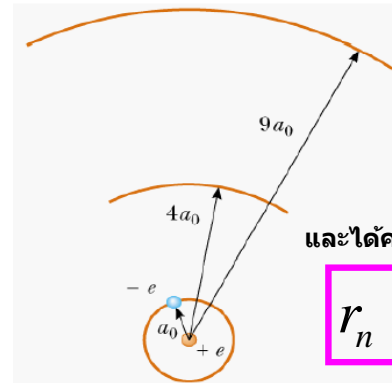
$a_0 =$ รัศมี Bohr (Bohr radius) = 0.0529 nm

ถ้ารับอะตอมไฮโดรเจน $Z = 1$

และได้ความสัมพันธ์ว่า

$$r_n = n^2 r_1$$

สำหรับวงโคจรอิเล็กตรอนวิ่งได้โดยไม่แผ่รังสี คือวงที่มีรัศมีเป็น $r_1, 4r_1, 9r_1, \dots$ ตามลำดับ



แทนค่า r ลงในสมการของความถี่ของรังสีที่แผ่ออกจากอะตอม
เมื่ออิเล็กตรอนเปลี่ยนวงโคจร **จากกฎข้อ 3**

$$f = \frac{E_1 - E_2}{h} = \frac{1}{2} \frac{kZe^2}{h} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) = Z^2 \frac{m_e k^2 e^4}{4\pi\hbar^3} \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$$

สำหรับอะตอมไฮโดรเจน $Z = 1$ สมการหาความยาวคลื่นของรังสี
ที่แผ่ออกจากอะตอม

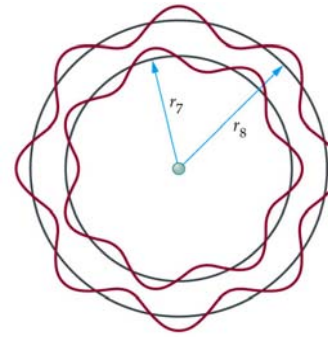
$$\frac{1}{\lambda} = \frac{f}{c} = \frac{m_e k^2 e^4}{4\pi c \hbar^3} \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$$

ค่า Rydberg constant $R_H = \frac{m_e k^2 e^4}{4\pi c \hbar^3} = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

ซึ่งค่า Rydberg constant ที่ได้มีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากการทดลอง

คลื่นของ De-Broglie และแบบจำลองอะตอมของ Bohr

จากคลื่นของสสาร แสดงว่าอนุภาคจะมีสมบัติของความ
เป็นคลื่นจะมีค่าความยาวช่วงคลื่น $\lambda = h/p$ ซึ่งเกี่ยวข้องกับ
กับค่าโมเมนตัมของตัวมันจากสมมติฐานของบอร์ แสดง
ว่าค่าโมเมนตัมนั้นมีค่าไม่ต่อเนื่อง ในการที่จะมีวงโคจรที่
เสถียร(อะตอมไม่ปลดปล่อยรังสี) ก็ต่อเมื่อคลื่นของ
อิเล็กตรอนสามารถที่จะทำให้เกิดคลื่นนิ่งในวงโคจรได้



$$L_n = \frac{h}{2\pi} n$$

$$L_7 = \frac{h}{2\pi} 7$$

(7waves)

$$L_8 = \frac{h}{2\pi} 8$$

(8waves)

วงโคจรวงที่
7 มีเส้นรอบ
วงเท่ากับเจ็ด
ความยาว
คลื่นของ
อิเล็กตรอน

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

$$2\pi r_n = \lambda n$$

$$2\pi r_n = \frac{h}{p} n$$

$$L_n = m v_n r_n$$

$$L_n = p_n r_n$$

$$L_n = \frac{h}{2\pi} n$$

เมื่อแทนค่า r หรือรัศมีของวงโคจร คือ $r = n^2 \frac{\hbar^2}{m_e k Z e^2} = n^2 \frac{a_0}{Z}$ ลงในสมการพลังงานรวมของอะตอม จะได้ว่า

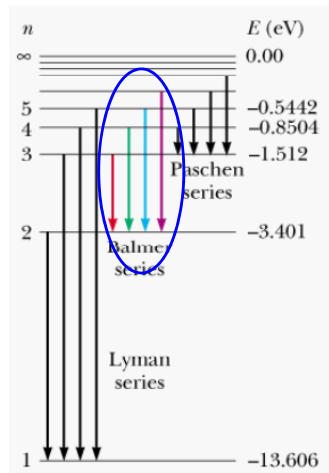
พลังงานรวมของอะตอม

$$E = K + U = \frac{1}{2} \frac{kZe^2}{r} - \frac{kZe^2}{r} \Rightarrow E = -\frac{1}{2} \frac{kZe^2}{r} \quad \text{จะได้ว่า}$$

ชั้นพลังงาน (Energy Levels) ของอะตอมไฮโดรเจน ($Z = 1$)

$$E_n = -\frac{13.606}{n^2} \text{ eV} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

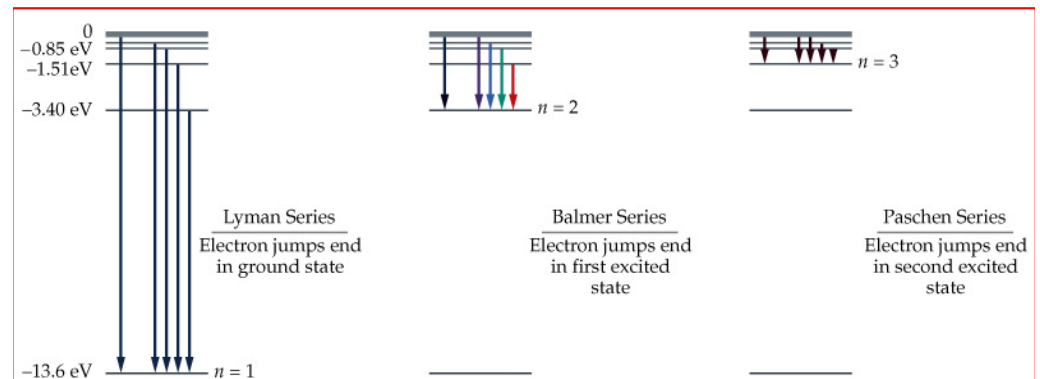
สมการของ Bohr สามารถนำมาใช้
อธิบายการเกิดรังสีเฉพาะของอะตอม
ไฮโดรเจนได้



ค่าพลังงานของวงโคจรของ Bohr และพลังงาน ของสเปกตรัมของ H

$$E_n = -\frac{(13.6\text{eV})}{n^2}; \Delta E = E_i - E_f$$

$$\Delta E = hc / \lambda; \quad \frac{1}{\lambda} = \text{Const} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$



ค่าพลังงานในวงโคจรของ Bohr

$$\begin{cases} E = KE + U \\ E = \frac{1}{2}mv^2 + U \end{cases}$$

$$E_n = -(13.6eV) \frac{Z^2}{n^2}$$

$$1eV = 1.6 \times 10^{-19} J$$

Z - the atomic number

n - the number of the orbit



สถานะพื้น (Ground state)

คือระดับพลังงานต่ำสุดที่เป็นไปได้ของระบบ

ในการทำให้อะตอมไฮโดรเจนแตกตัว ซึ่งก็คือการดึงอิเล็กตรอนออกมาจากอะตอมต้องใช้พลังงานอย่างน้อย 13.6eV.



คำถาม: Bohr Orbits

$$1. r_5 = r_1$$

$$2. r_5 = 5r_1$$

$$3. r_5 = r_1/5$$

$$4. r_5 = 25r_1$$

$$5. r_5 = r_1/25$$

ข้อใดต่อไปนี้เป็นคำตอบในการแสดงค่าของรัศมีการโคจรของอิเล็กตรอนในอะตอมไฮโดรเจนเมื่อ n = 5

$$\begin{cases} r_n = \frac{h^2}{4\pi^2 m k e^2} n^2, n = 1, 2, 3, \dots \\ r_1 = 5.29 \times 10^{-11} m \\ r_n = n^2 r_1, n = 5 \end{cases}$$

คำถาม : Bohr H Model

$$1. \Delta E = 13.6eV$$

$$2. \Delta E = -13.6eV$$

$$3. \Delta E = 4.08eV$$

$$4. \Delta E = -4.08eV$$

$$5. \Delta E = 2.856eV$$

$$6. \Delta E = -2.856eV$$



เมื่อ e- ในอะตอมไฮโดรเจนมีการเปลี่ยนชั้นพลังงานจากชั้นที่ 5 ไปอยู่ที่ระดับชั้นพลังงานที่ 2 จงหาว่าจะปลดปล่อยพลังงานออกมาเท่าใด

จาก $\Delta E = E_i - E_f = E_5 - E_2$

$$E_5 = -\frac{13.6}{5^2} = -0.544eV$$

$$E_2 = -\frac{13.6}{2^2} = -3.4eV$$

$$E_5 - E_2 = -0.544 - (-3.4) = 2.856eV$$

จะเกิดการปลดปล่อย (คาย) หรือ แผ่รังสีออกมาเป็นโฟตอนตัวหนึ่ง



ผลสำเร็จของทฤษฎีอะตอมของ Bohr

- สามารถที่จะอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆของเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนได้
 - โดยเฉพาะเรื่องชุดสเปกตรัม ใน Balmer และ series อื่นๆ
 - สามารถทำนายค่า R_H ได้อย่างถูกต้องเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากผลการทดลอง
 - สามารถใช้ในการคำนวณหาค่ารัศมีของอะตอมได้
 - ใช้ในการทำนายระดับพลังงานต่างๆ ของไฮโดรเจน
 - ให้แบบจำลองว่าอะตอมมีลักษณะเป็นอย่างไร และมีพฤติกรรมอย่างไรบ้าง
- สามารถใช้อธิบายอะตอมที่มีลักษณะคล้ายกับไฮโดรเจนได้ "hydrogen-like" atoms
 - ที่มีจำนวนอิเล็กตรอนเพียง 1 ตัว
 - เช่น He⁺ (Z=2), Li⁺⁺ (Z=3) เป็นต้น
 - ต้องใช้ Ze^2 แทนลงไปในการแทนที่ e²
 - Z คือ เลขอะตอมของธาตุที่กำลังพิจารณา

ปฏิกิริยาที่พบในแบบจำลองอะตอมและสมการของ Bohr

- ไม่มีเหตุผลเพียงพอที่จะตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับสถานะคงที่ (Stationary States) หรือการที่โมเมนตัมเชิงมุมถูก quantized นอกจากว่าเมื่อมีการตั้งสมมติฐานดังกล่าวแล้วให้ผลตรงกับการทดลองวัดรังสีเฉพาะที่แผ่ออกมาจากอะตอมไฮโดรเจน (Spectral Lines)
- แบบจำลองและสมการดังกล่าวไม่สามารถใช้กับอะตอมที่มีเลขอะตอม (Atomic number) สูงๆ ได้ ซึ่งหมายถึงอะตอมที่มีจำนวนอิเล็กตรอนที่ล้อมรอบนิวเคลียสอยู่มีมากกว่าหนึ่งตัว
- จากการใช้เครื่องมือ (spectroscope) ที่มีคุณภาพดีขึ้นวัดรังสีที่แผ่ออกมาจากอะตอมพบว่ามีรังสีที่แผ่ออกมาและมีค่าเฉพาะนั้นประกอบด้วยค่าที่มากกว่าหนึ่งรังสีเพียงแต่รังสีเหล่านั้นมีความยาวคลื่นหรือพลังงานที่ใกล้เคียงกันมากสมการของ Bohr ไม่สามารถอธิบายถึงรังสีดังกล่าวได้
- ไม่สามารถอธิบายว่าทำไมสเปกตรัมบางเส้นของ H ถึงมีความเข้มมากกว่าเส้นอื่นๆ

ตัวอย่าง จงหาความยาวคลื่นที่ยาวที่สุดและสั้นที่สุดในอนุกรมไลมาน

จากสมการ $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 2, 3, 4, 5 \dots \text{ (Lyman Series)} \rightarrow \text{UV}$$

$$R = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \text{ (Rydberg constant)}$$

$$\lambda_{\text{max}} \rightarrow f_{\text{min}} \rightarrow E_{\text{photon, min}} \rightarrow n=2 \rightarrow n=1$$

ได้ว่า

$$\frac{1}{\lambda_{\text{max}}} = 1.097 \times 10^7 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

$$\lambda_{\text{max}} = 1.216 \times 10^{-7} \text{ m} = 1216 \text{ \AA}$$

$$\lambda_{\text{min}} \rightarrow f_{\text{max}} \rightarrow E_{\text{photon, max}} \rightarrow n=\infty \rightarrow n=1$$

$$\frac{1}{\lambda_{\text{min}}} = 1.097 \times 10^7 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2} \right)$$

$$\lambda_{\text{min}} = 0.913 \times 10^{-7} \text{ m} = 913 \text{ \AA}$$

ตัวอย่าง อะตอมไฮโดรเจนอะตอมหนึ่ง อยู่ในสถานะที่มีพลังงานยึดเหนี่ยว 0.85 eV ถ้าอะตอมนี้เปลี่ยนไปอยู่ที่มีระดับพลังงานสูงกว่าสถานะพื้นฐาน 10.2 eV (ก) เลขควอนตัม (n) ของอะตอมไฮโดรเจนก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลง (ข) จงหาค่าพลังงานของโฟตอนที่ส่งออกมา (คายพลังงาน)

(ก) จาก $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$

$n=1, E_1 = -13.6 \text{ eV}$

$n=2, E_2 = -3.4 \text{ eV}$

$n=3, E_3 = -1.51 \text{ eV}$

$n=4, E_4 = -0.85 \text{ eV}$

โดยการใส่ระดับพลังงานในอะตอมไฮโดรเจนเราทราบว่าที่ $n=4$ อิเล็กตรอนถูกยึดไว้กับอะตอมด้วยพลังงาน 0.85 eV ดังนั้น ก่อนการเปลี่ยนแปลงเดิมอิเล็กตรอนอยู่ในระดับที่ 4

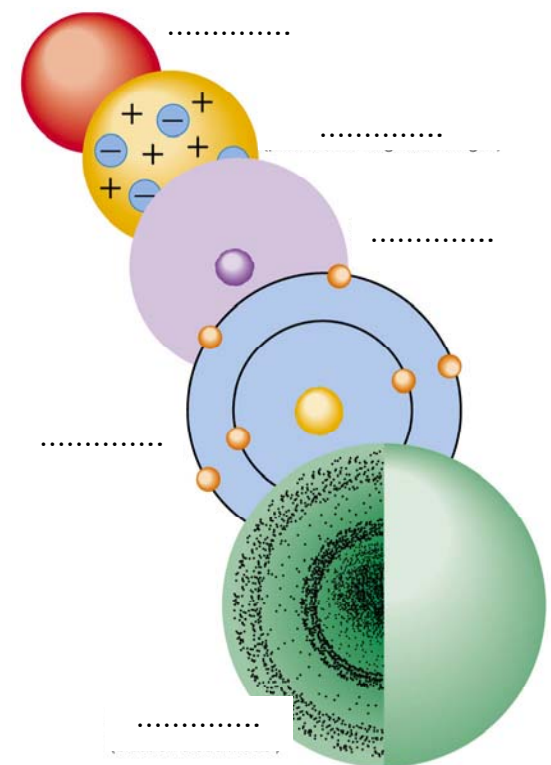
หลังการเปลี่ยนแปลง อิเล็กตรอนเปลี่ยนไปอยู่ที่ระดับที่มีพลังงานสูงกว่าสถานะพื้นฐาน 10.2 eV ลองเอาพลังงานระดับต่างๆ **ลบกับระดับ E_1** ได้

$$E_2 - E_1 = -3.4 - (-13.6) = 10.2 \text{ eV}$$

แสดงว่า หลังการเปลี่ยนแปลงอิเล็กตรอนมาอยู่ในระดับ $n=2$ นั่นคือ **เปลี่ยนจาก $n=4 \rightarrow n=2$**

(ข) พลังงานของโฟตอนที่ส่งออกมามีค่า

$$E_{\text{photon}} = -0.85 - (-3.4) = 2.55 \text{ eV}$$



เพราะปัญหาหลากหลายที่เกิดขึ้นกับ Bohr Model แบบจำลองอะตอมของบอร์ พร้อมทั้งการค้นพบทางควอนตัมที่แสดงว่าตำแหน่งการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็นแค่ความน่าจะเป็น ไม่ใช่ตำแหน่ง orbit ที่แน่นอนดังในแบบจำลองของบอร์ทำให้เกิดแบบจำลองใหม่คือ *electron cloud model*

การทดลอง

The principle of science, the definition, almost, is the following:

The test of all knowledge is experiment. Experiment is the sole judge of scientific "truth." But what is the source of knowledge? Where do the laws that are to be tested come from? **Experiment, itself, helps to produce these laws, in the sense that it gives us hints. But also needed is imagination to create from these hints the great generalizations -- to guess at the wonderful, simple, but very strange patterns beneath them all, and then to experiment to check again whether we have made the right guess.**

(Richard Feynman)

