

10.초기원자모형

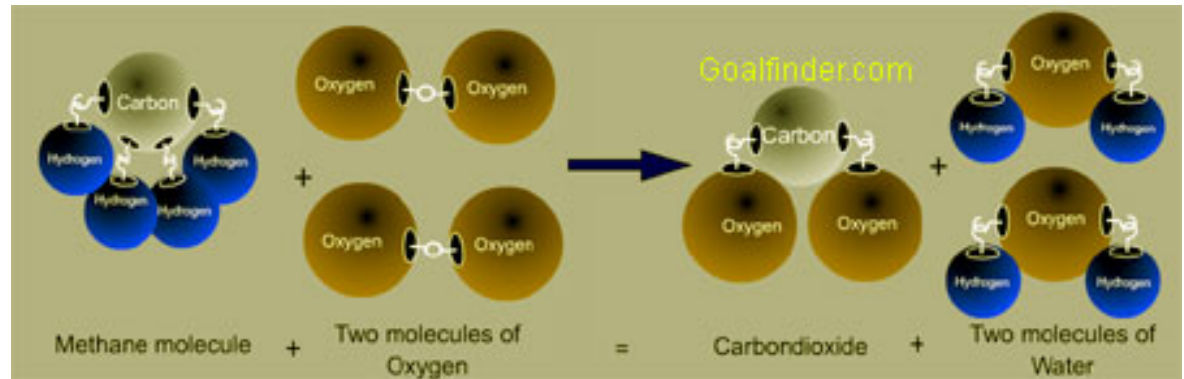
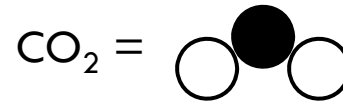
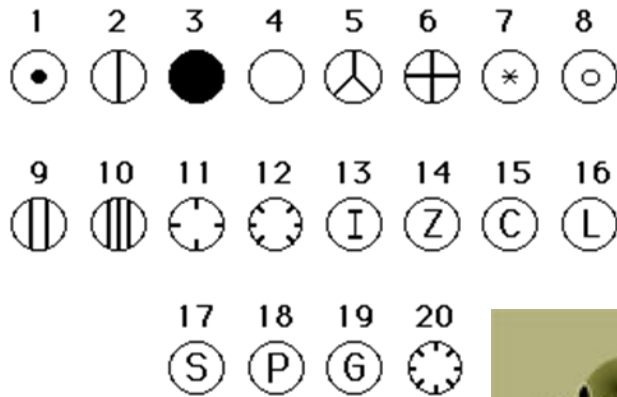
화공과 김영훈 교수

korea1@kw.ac.kr

원자모형의 변천사(Dalton)

- 1808: Dalton's atomic theory
 - ▣ 모든 물질은 원자로 불리우는 작은 입자로 구성된다
 - ▣ 원자는 파괴, 생성, 분할 불가하다
 - ▣ 화학반응은 서로 다른 원자간의 결합과 분리이다

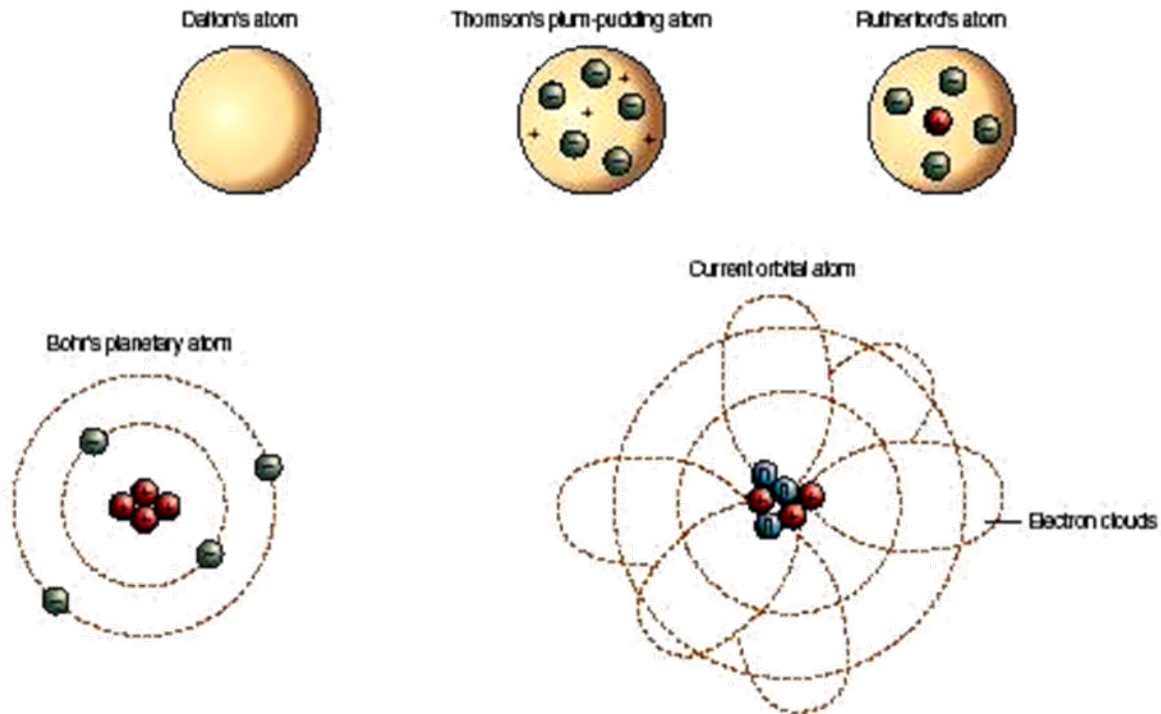
1 H
2 N
3 C
4 O
5 P
6 S
13 Fe
14 Zn
15 Cu
16 Pb
17 Ag
18 Pt
19 Au
20 Hg



원자모형의 변천사(Dalton 이후)

3

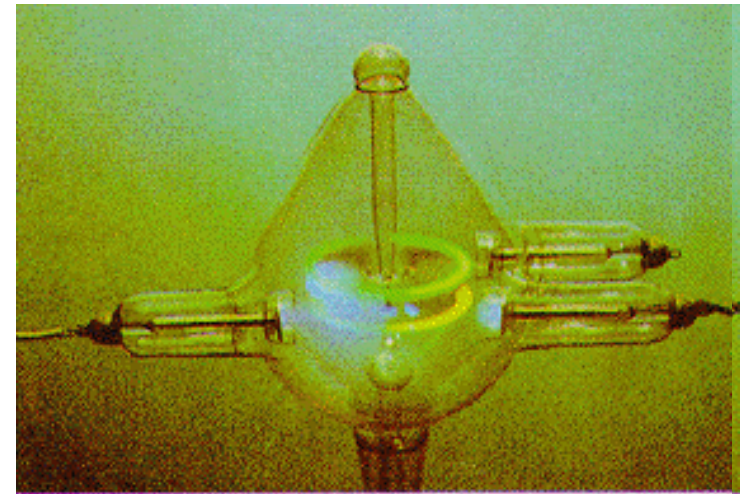
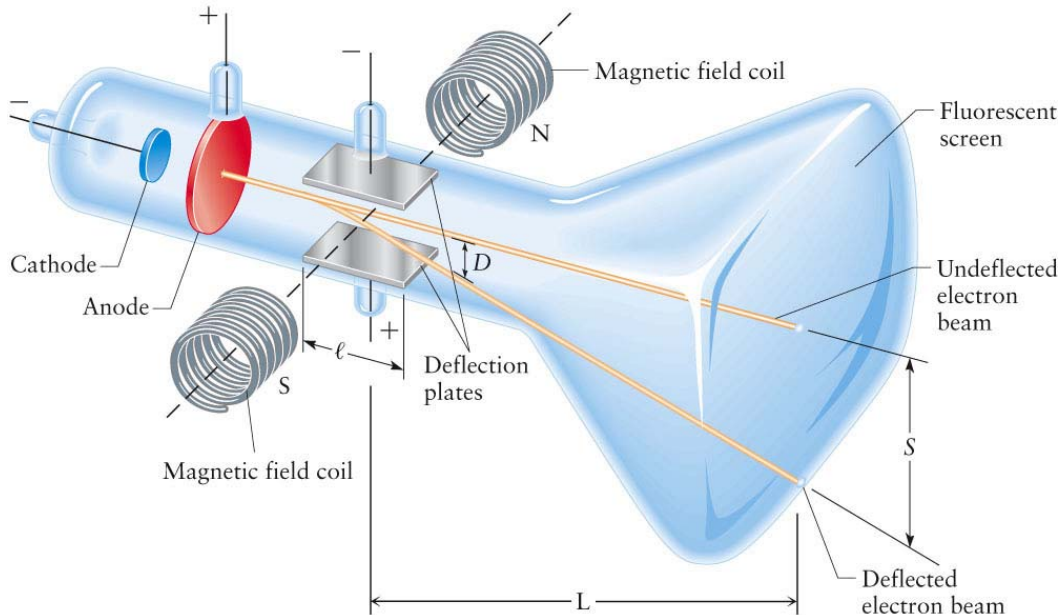
- 1897: Thompson's "Plum pudding model"
- 1911: Rutherford's Planetary model
- 1913: Bohr's model
- 1926: Quantum mechanical model



전자의 발견

4

- Thomson의 cathode ray scope 실험
 - ▣ Sub-atom particle 존재 증명
 - 원자 질량 보다 작은 입자의 존재(음의 전기를 띤 전자)
 - Dalton의 원자론 모순 규명
 - 금속, 기체가 다르더라도 음극선 물질의 전하량/질량(e/m_e) 비 일정 → 모든 물질내에 같은 물질 포함(전자)

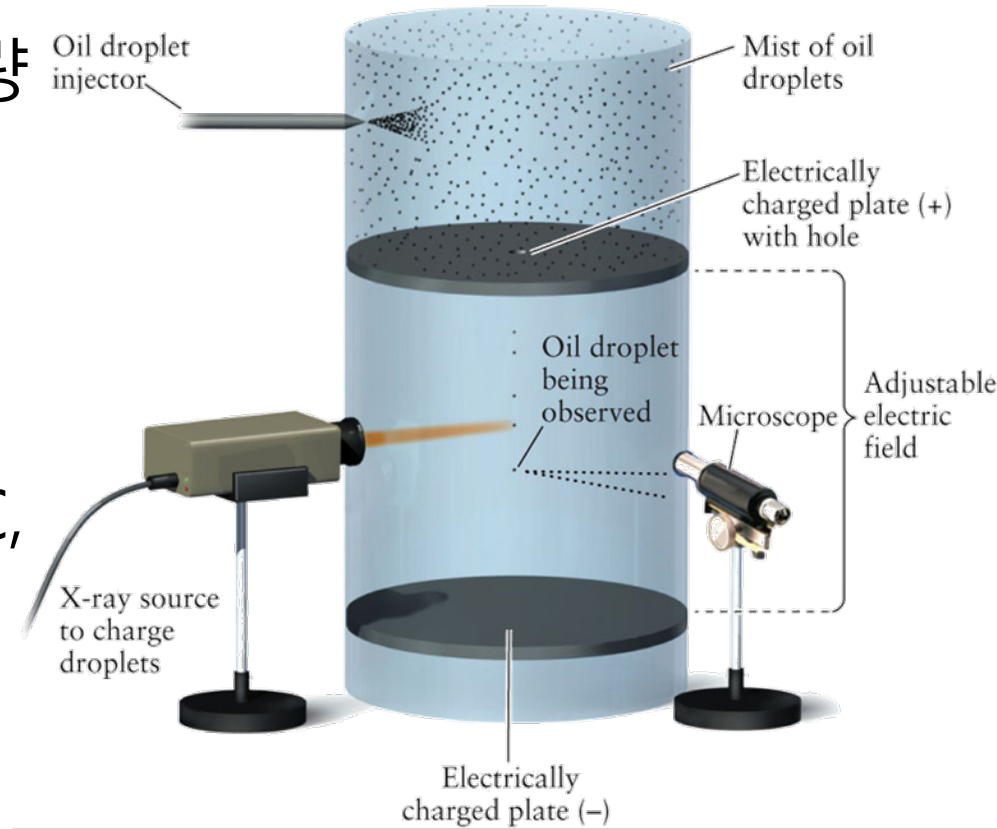


전자의 물성 측정

5

□ Millikan의 oil drop

- 전자의 질량과 전하량을 독립적으로 계산
- “중력=전기장” 균형인 공간에 전하를 띤 기름방울 분사
- 전하량(e)= $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$, 전자질량 (m_e)= $9.11 \times 10^{-28} \text{g}$



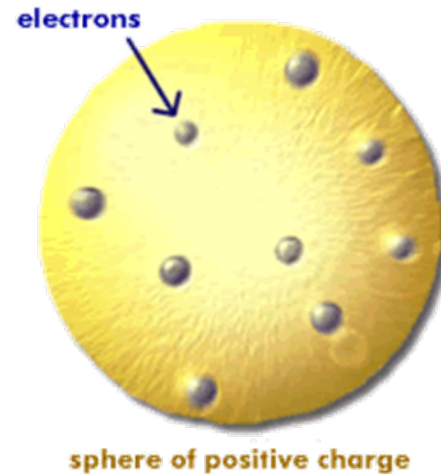
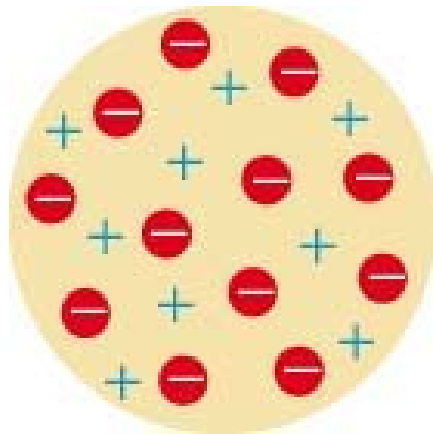
Thomson 원자모델

6



□ 푸딩(수박) 모델

- 양전하를 지닌 물질안에 음전하가 건포도(씨)처럼 뿌려진 형상
- 전자는 음전하이므로 반발력으로 인해 일정거리 유지 되어야 한다는 가정에 모델 제안
- 양전하를 띄는 물질은 원자크기만큼 팽창한다



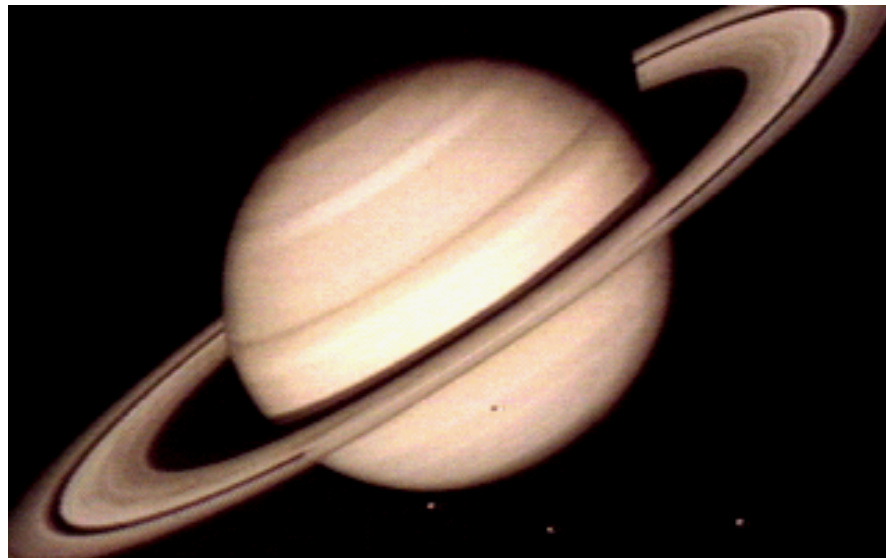
Nagaoka 원자모델

7



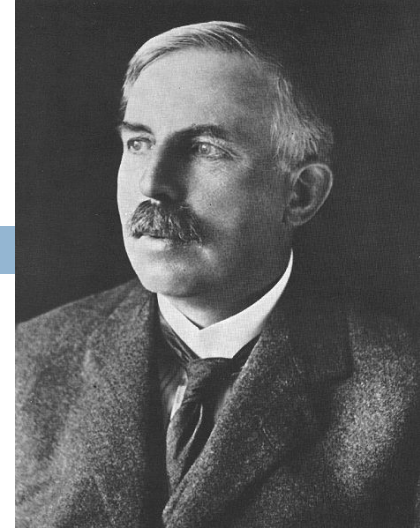
□ 토성 모델

- 토성의 띠처럼 음전하(전자)가 양전하 주변을 띠를 이루며 돌고 있는 형상
- 학계에서는 원자모델 역사에서 배제됨(러더퍼드의 모형과 유사)



Rutherford 원자모델

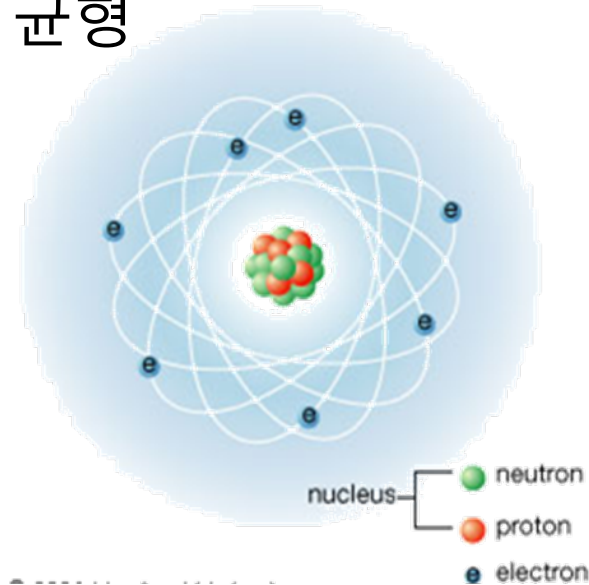
8



- 행성 모델(톰슨의 제자)
 - 원자핵 주변으로 전자 공전하는 모형
 - 톰슨 모델 입증 실험 수행 과정에서, 톰슨 모델 모순 규명
 - 공전하는 전자
 - 원심력(각운동량)=구심력(쿨롱힘)의 균형

$$F_{centripetal} = -\frac{q_1 q_2}{r^2} = -\frac{e(-e)}{r^2} = \frac{e^2}{r^2}$$

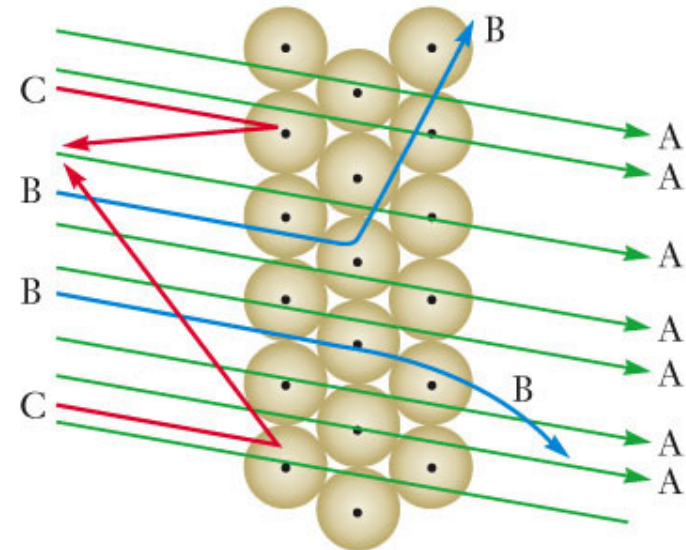
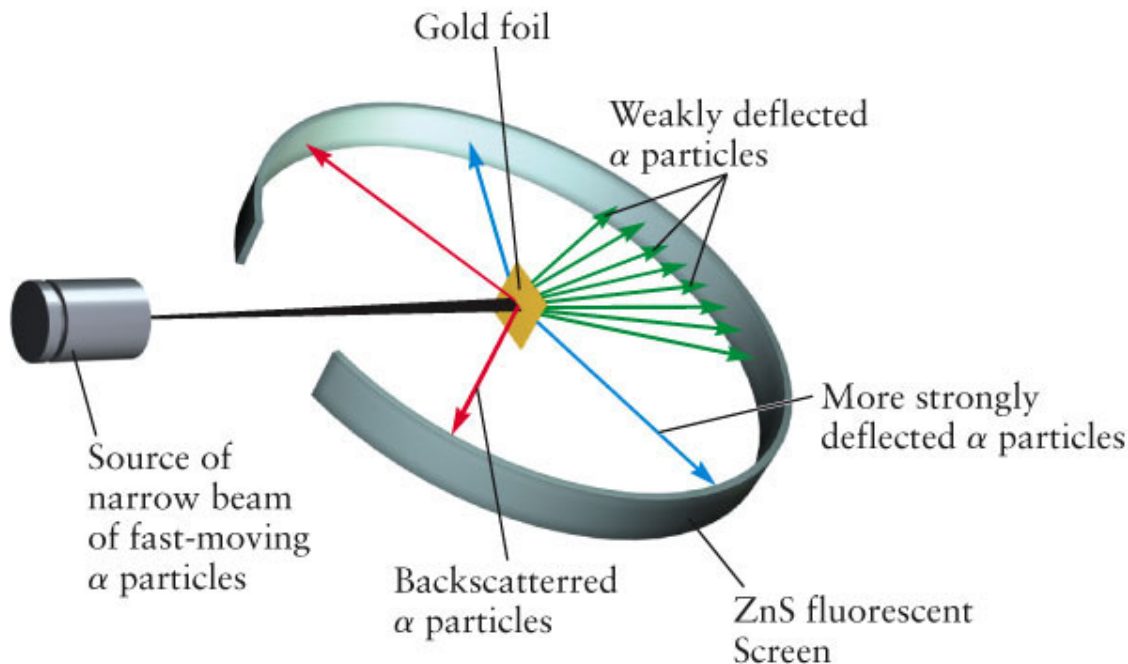
$$F_{centrifugal} = mr\omega^2$$



러더퍼드 실험

9

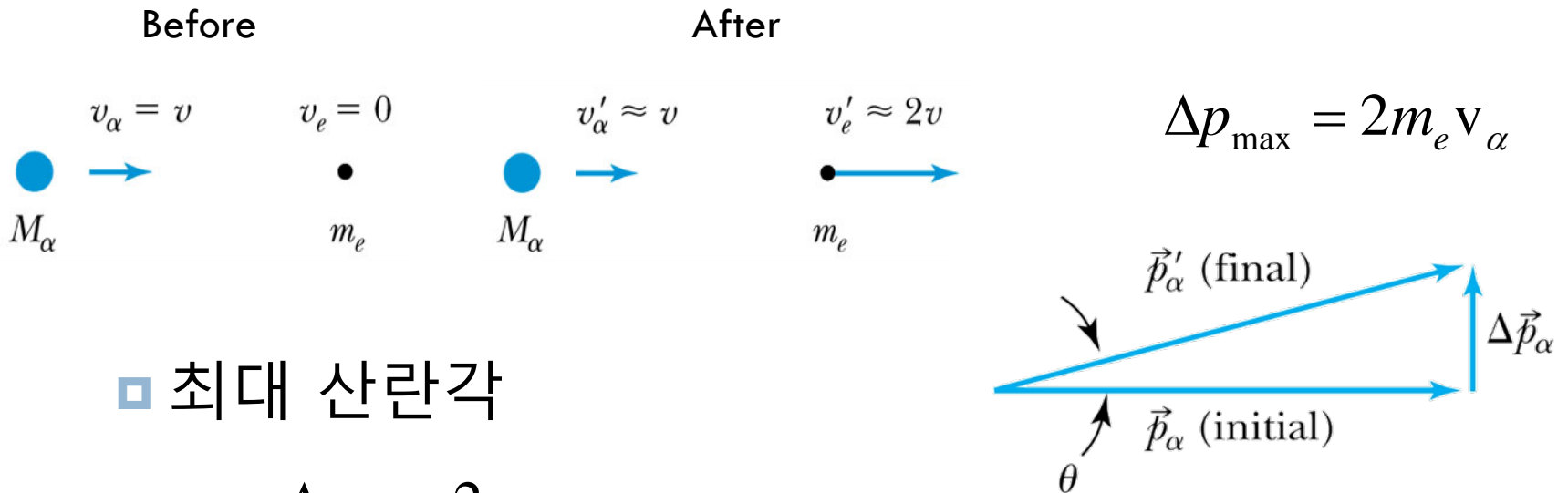
- α particle: Rutherford, Geiger, Marsden
 - ▣ 양전하는 원자크기만큼 팽창 \rightarrow 전하 밀도 낮음
 - ▣ 알파입자 전부 통과 예상
 - ▣ 1/20000 확률로 후방산란 관찰 \rightarrow 원자핵 존재



طومسن مودلئ هؤباف سانران بؤلجاف 1

10

- سانرانكاف جئسان
 - سانرانسئ ؤئزاف سؤءو جئزاف



- ؤئزاف سانرانكاف

$$\theta_{\max} = \frac{\Delta p_\alpha}{p_\alpha} = \frac{2m_e v_\alpha}{M_\alpha v_\alpha} = 2.7 \times 10^{-4} \text{ rad} = 0.016^\circ$$

톰슨 모델의 후방 산란 불가능 2

11

If an a particle is scattered by N electrons: $\langle \theta \rangle_{\text{total}} \approx \sqrt{N} \theta$

N = the number of atoms across the thin gold layer, $t = 6 \times 10^{-7}$ m:

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{Number of molecules}}{\text{cm}^3} = [\text{Avogadro's no. (molecules/mol)}] \\ &\quad \times \left[\frac{1}{\text{gram - molecular weight} \left(\frac{\text{mol}}{\text{g}} \right)} \right] \left[\text{density} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \right] \\ &= \left(6.02 \times 10^{23} \frac{\text{molecules}}{\text{mol}} \right) \left(\frac{1 \text{ mol}}{197 \text{ g}} \right) \left(19.3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \\ &= 5.9 \times 10^{22} \frac{\text{molecules}}{\text{cm}^3} = 5.9 \times 10^{28} \frac{\text{atoms}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

The distance between atoms, $d = n^{1/3}$, is: $d = (5.9 \times 10^{28})^{-1/3} \text{ m} = 2.6 \times 10^{-10} \text{ m}$

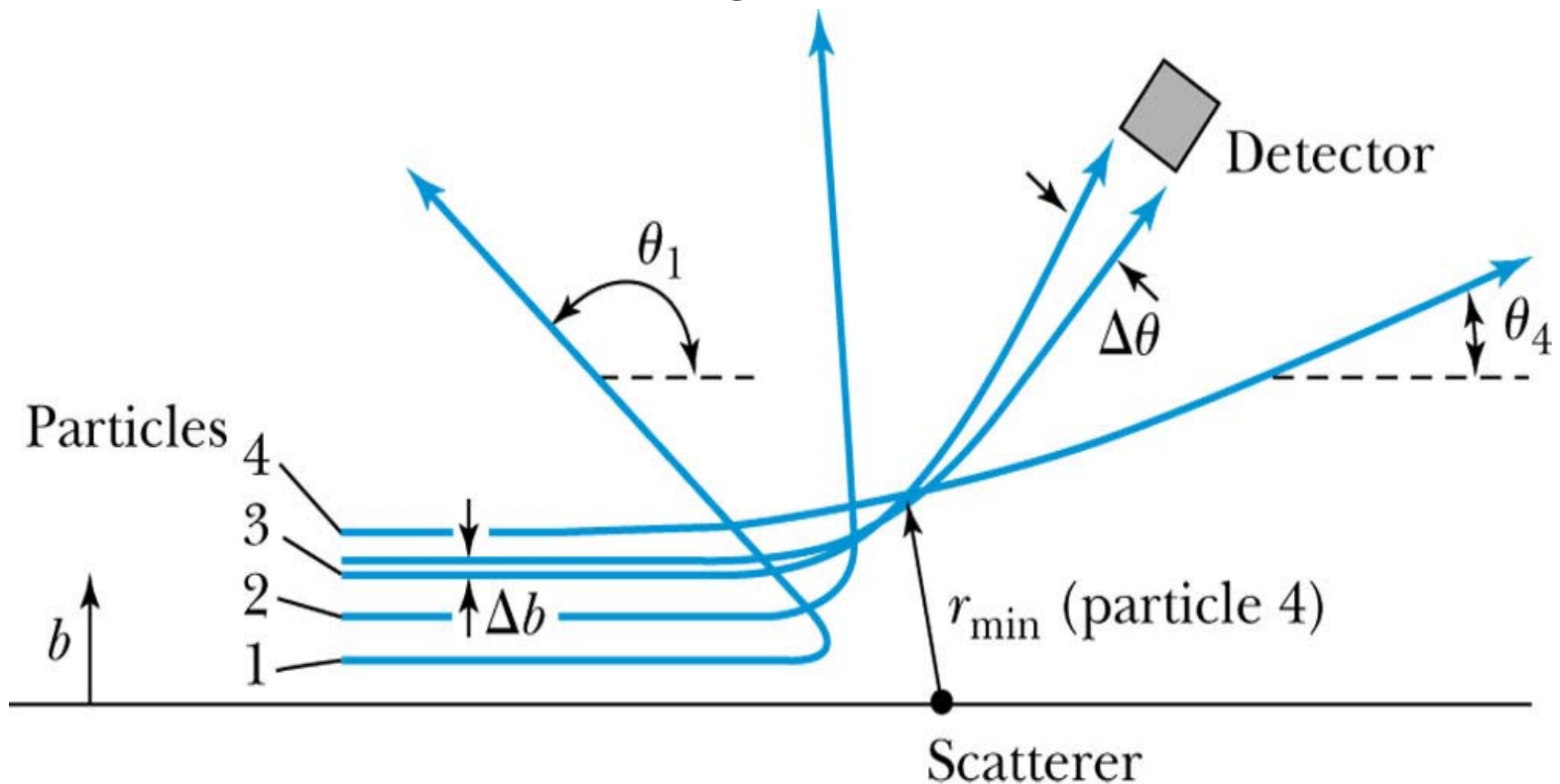
$$N = t / d = \frac{6 \times 10^{-7} \text{ m}}{2.6 \times 10^{-10} \text{ m}} = 2300 \text{ atoms}$$

$$\langle \theta \rangle_{\text{total}} = \sqrt{2300} (0.016^\circ) = 0.8^\circ \quad \text{still too small!}$$

Geiger-Marsden 실험 결과

12

- Geiger showed that many a particles were scattered from thin gold-leaf targets at backward angles greater than 90° .
- $\langle \theta \rangle_{\text{total}} = 6.8^\circ$ even if the α particle is scattered from all 79 electrons in each atom of gold



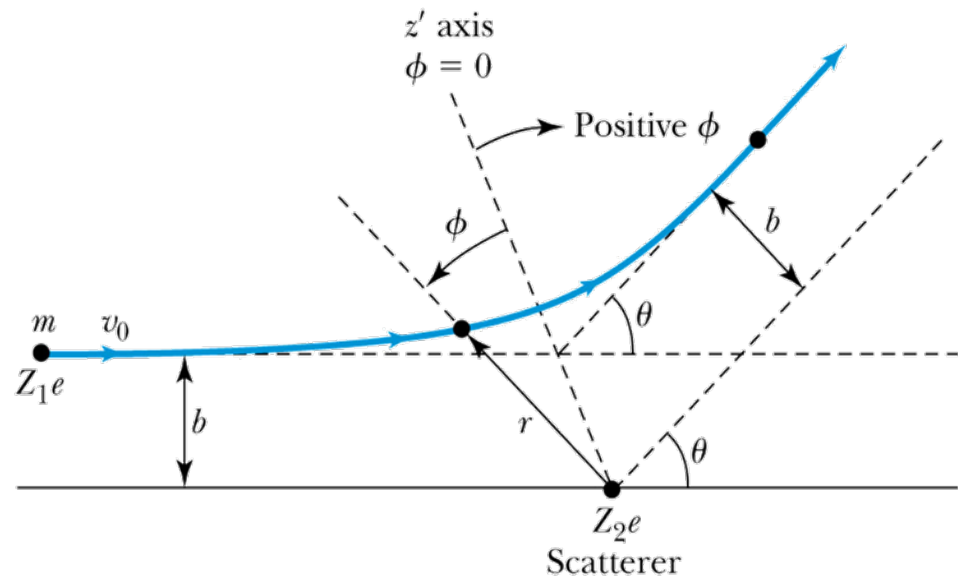
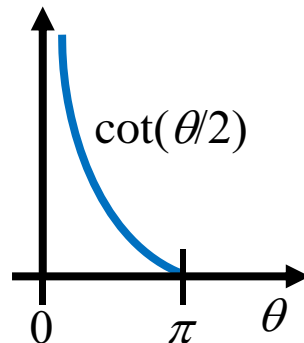
러더퍼드의 후방산란 설명 1

13

- Thomson의 계산: 산란각 너무 작음
- Rutherford의 계산: 산란각 보정 ($\downarrow b$ gives $\uparrow \theta$)
 - Impact parameter (b), scattering angle (θ)
 - When b is small, r is small \rightarrow Coulomb force is large $\rightarrow \theta$ can be large and the particle can be repelled backward

$$b = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{8\pi\epsilon_0 K} \cot \frac{\theta}{2}$$

$$K = \frac{1}{2} m v_0^2$$

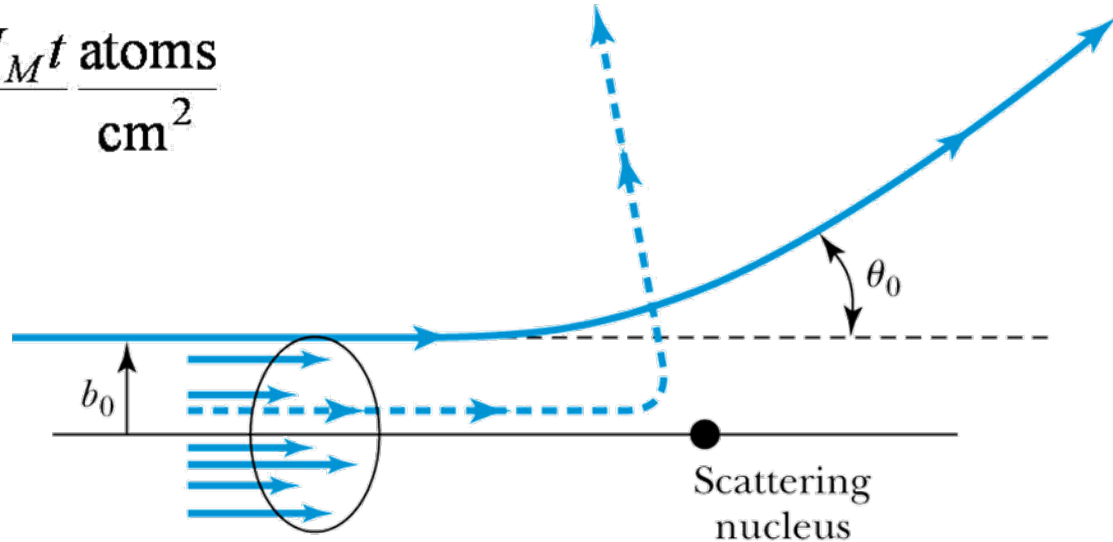


러더퍼드의 후방산란 설명 2

14

- 가정: 면적 πb^2 내 입사 입자는 유사하게 산란
 - ▣ 단면적 $s = \pi b^2$ 는 핵에서의 입자 산란 가능성과 관련 ($t = \text{foil thickness}$):
$$= \pi n t \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{8 \pi \epsilon_0 K} \right)^2 \cot^2 \frac{\theta}{2}$$
 - ▣ 입사 입자가 산란할 비율: $f = \frac{\text{target area exposed by scatterers}}{\text{total target area}}$
 - ▣ 단위 면적당 핵에 의한 산란입자수

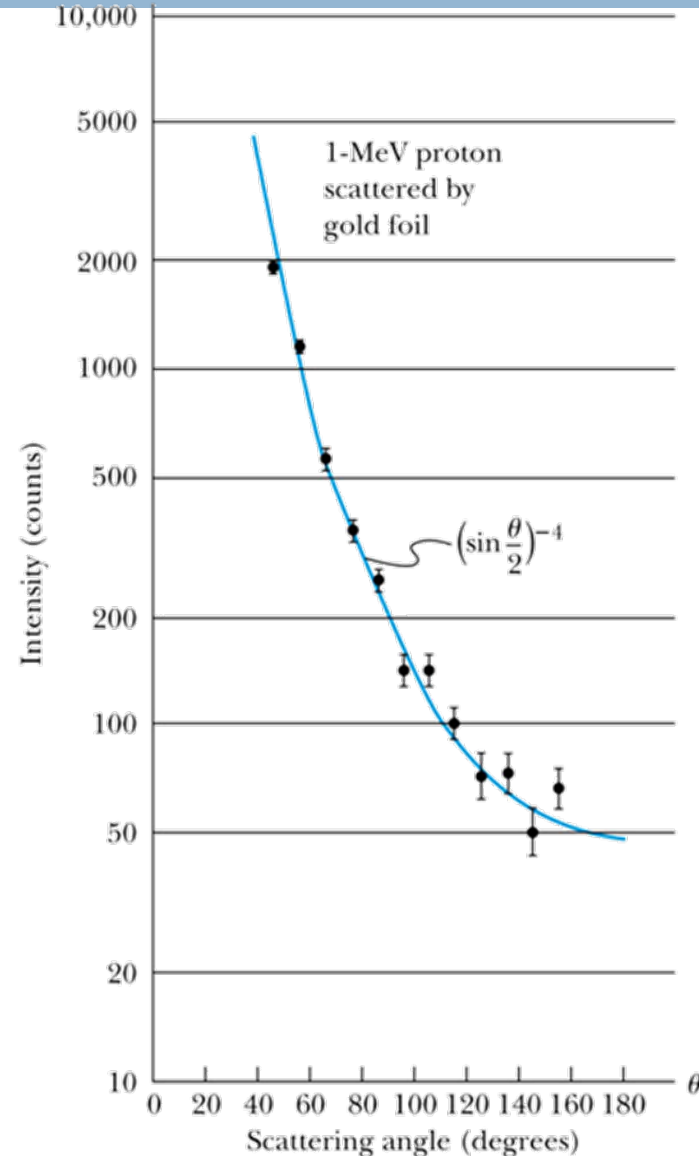
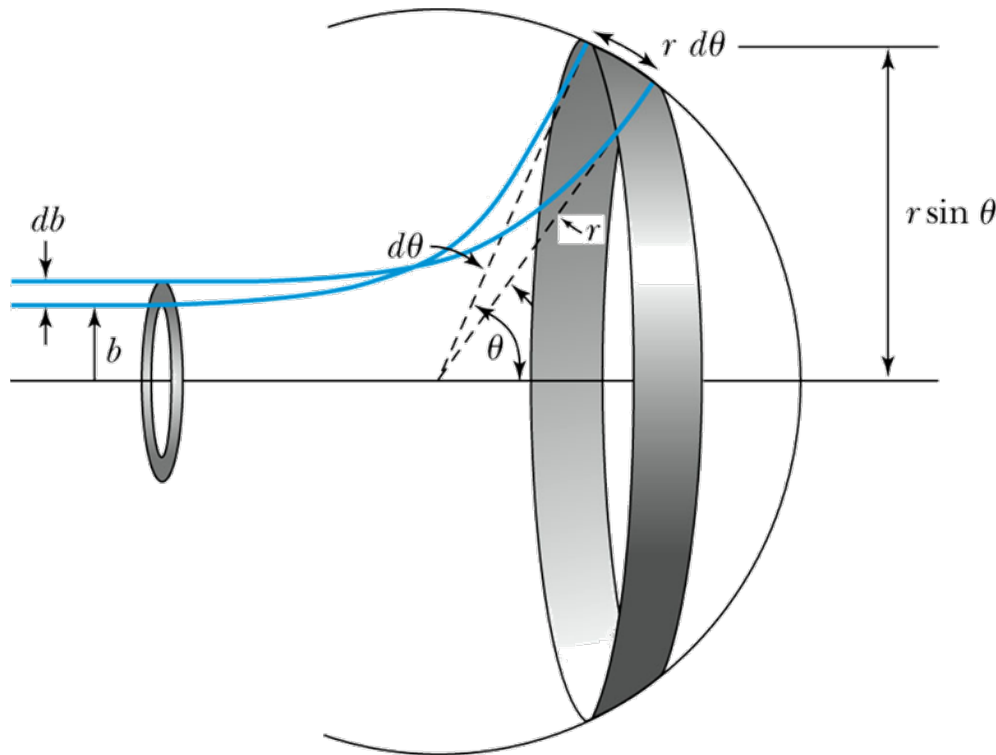
$$n t = \frac{\rho N_A N_M t \text{ atoms}}{M_g \text{ cm}^2}$$



러더퍼드의 후방산란 설명 3

- 해당 각도에서 단위면적당 검출되는 산란 입자수

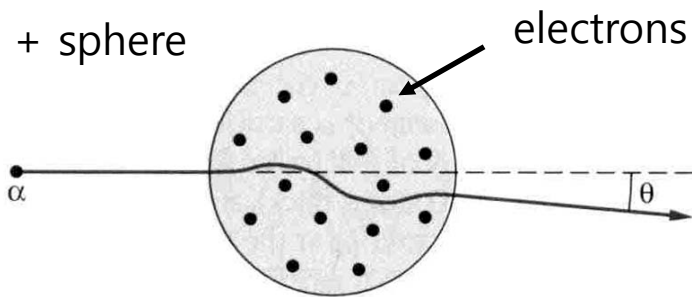
$$N(\theta) = \frac{N_i n t}{16} \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \frac{Z_1^2 Z_2^2}{r^2 K^2 \sin^4(\theta/2)}$$



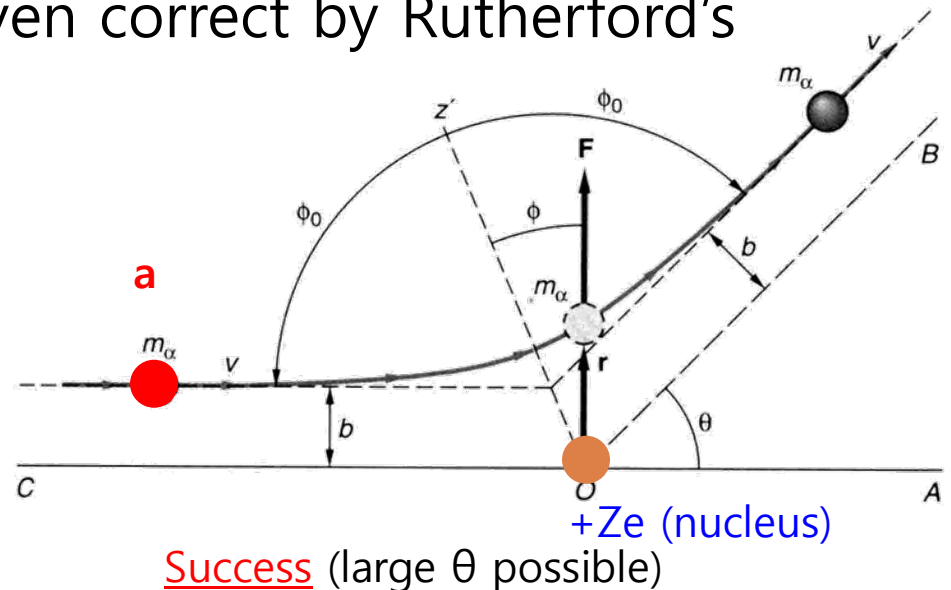
스승과 제자의 모델 비교

16

- Atomic model must include: 10^{-10} m dia., electrons, neutral atom
 - ▣ Model #1 - Thomson's "plum pudding" model
 - ▣ Model #2 - Rutherford's hard core "nuclear" model
 - Nuclear model proven correct by Rutherford's experiment



Failure (θ too small)



임의각에서의 후방산란 비율 계산

17

$$f = \frac{N_{\alpha}^{out\theta}}{N_{\alpha}^{in}} = \frac{I_o \sigma N_{nuclei}}{I_o A_{beam}} \quad \text{where } I_o = \text{beam intensity, } \sigma = \pi b^2,$$

$$f = \pi b^2 n t \quad N_{nuclei} = n t A_{beam}, \quad n = \text{density, } t = \text{thickness}$$

금판($Z=79$, $n= 5.9 \times 10^{28}$ atoms/ m^3), 두께($t=2$ mm),
입사에너지($K=7$ MeV) \rightarrow 산란비율 찾기!!

$$b_{10} = \frac{kq_{\alpha} Q_{Au}}{2K_{\alpha}} \cot \frac{\theta}{2} = \frac{Z_{\alpha} Z_{Au} (ke^2)}{2K_{\alpha}} \cot \frac{\theta}{2}$$

$$b_{10^{\circ}} = \frac{(2)(79)(1.44eV \cdot nm)}{2(7 \times 10^6 eV)} \cot \left(\frac{10^{\circ}}{2} \right) = 1.86 \times 10^{-4} nm$$

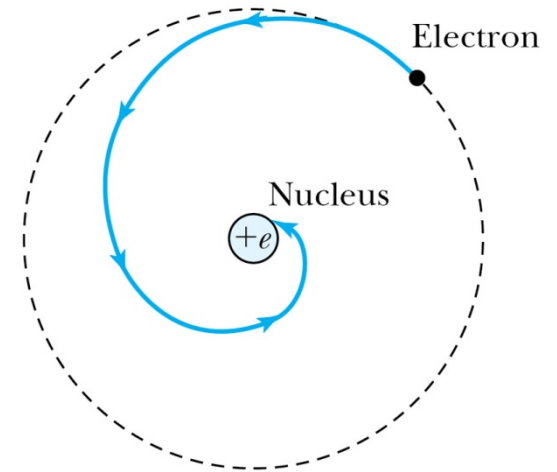
$$f_{10} = \pi b^2 n t$$

$$f_{10^{\circ}} = \pi (1.86 \times 10^{-13} m)^2 (5.90 \times 10^{28} / m^3) (2.0 \times 10^{-6} m) = 0.013$$

러더퍼드 원자모델 문제점

18

- Maxwell's electromagnetics
 - ▣ 회전(진동)하는 전자는 전자기파(빛)을 발생
 - ▣ 빛 발생과 함께 에너지 손실 → 회전 반경 감소



Bohr의 등장

19

- 보어: 러더퍼드의 제자
 - ▣ 에너지 궤도: 에너지 준위의 불연속 사용
 - ▣ “공전을 하되 빛을 발생시키지 않는다”
 - ▣ “상위 준위에서 하위 준위로 내려올 때 빛 발생”

