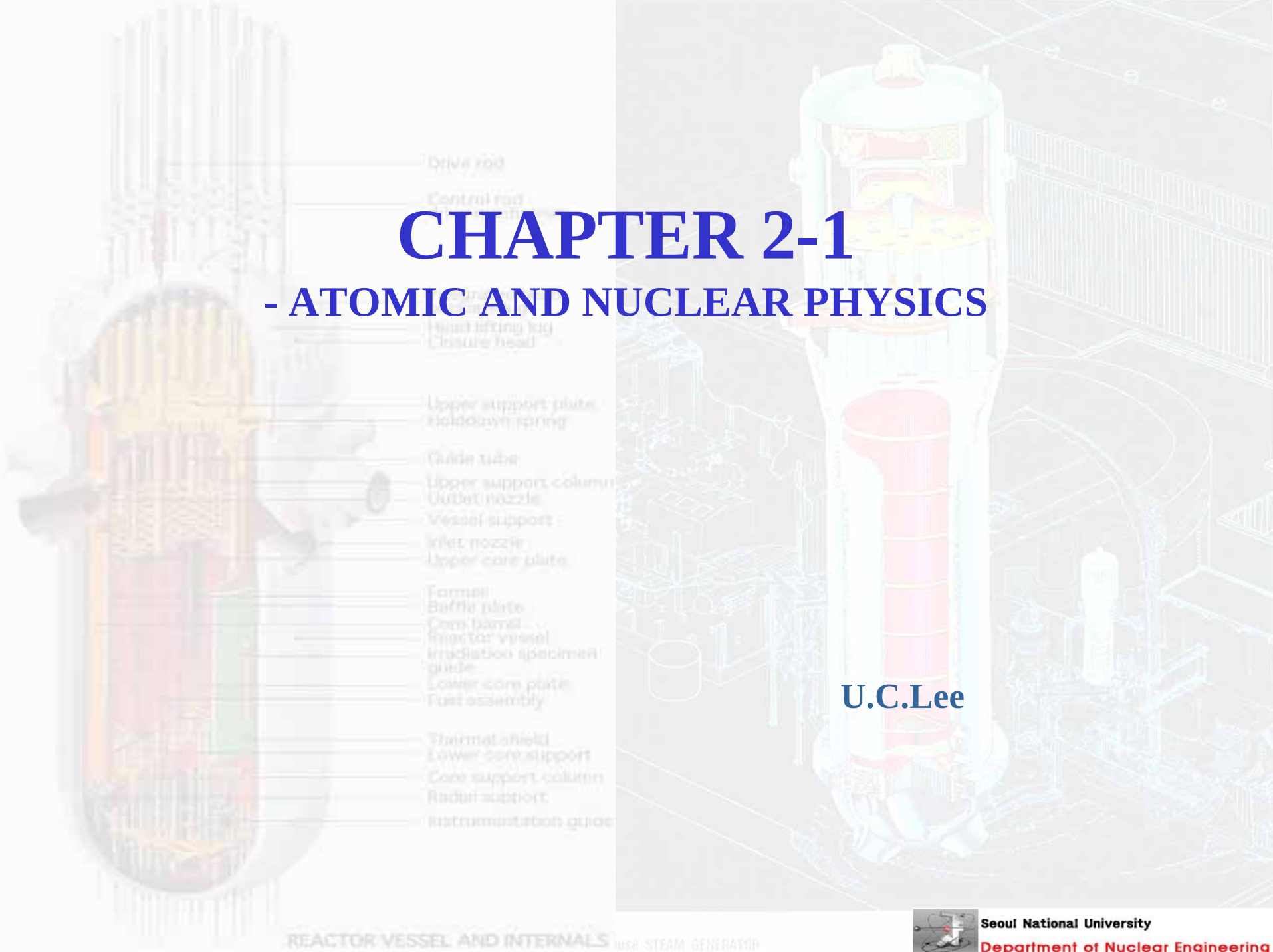


CHAPTER 2-1

- ATOMIC AND NUCLEAR PHYSICS

U.C.Lee

Seoul National University
Department of Nuclear Engineering

목 차

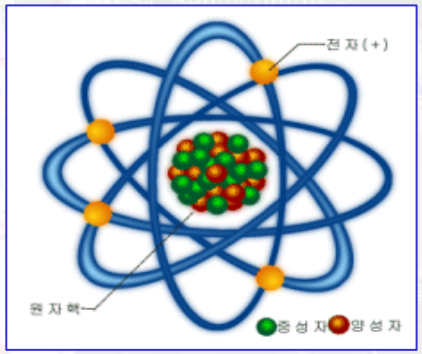
Chapter 2. Atomic and Nuclear Physics

- Atomic and nuclear structure
- Fundamental particles
  - Electron
  - Proton
  - Neutron
  - Photon
  - Classification of Nuclides
- Atomic and molecular weight
- Atomic and nuclear radii
  - 원자의 크기
  - 핵 반경
- Mass and energy
  - 결합에너지
  - Relativistic Velocities
- Particle wavelengths
  - Wavelength
- Excited states and radiation
  - 원자의 에너지 준위
  - 파동 역학 (Schrodinger의 wave mechanics)
  - X-ray 와 Bremsstrahlung
  - 원자 결합 (atomic bonding)
  - 핵 구조 및 결합력
  - 불안전한 원자핵과 방사선
- Nuclear stability and radioactive decay
  - Classification of Radioactive Decay
- Radioactivity
  - Radioactivity
- Nuclear Reaction
  - 핵반응이란
  - 반응의 Q value

2.1 Atomic and Nuclear Structure

➢ 원자 구조

- ❑ atomic nucleus : protons + neutrons + orbital electrons
  - 원자의 중심부는 양전하를 띈 원자핵이 위치하며, 그 주위를 돌고 있는 전자는 음의 전하를 띄고 있음

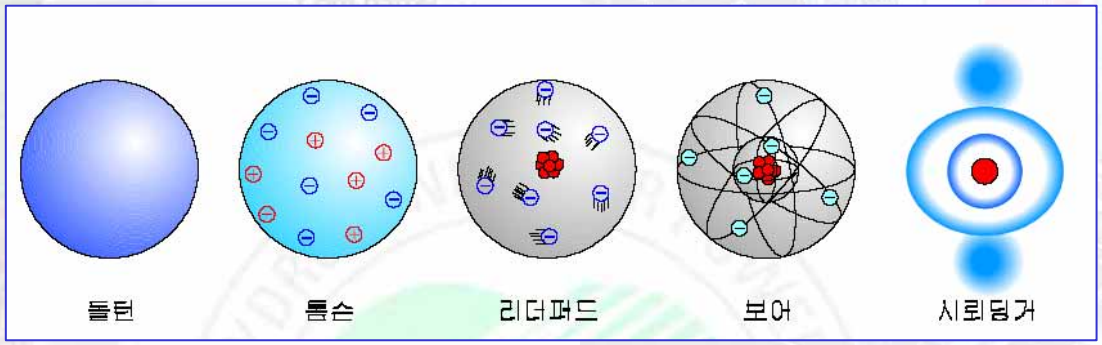


- ❑ Symbols : ${}_{z}X^{A}$, X – A
  - 원자 번호 : 원자핵 속의 양성자 수
  - 질량수 : 원자핵의 양성자와 중성자 수를 합한 것

$$ {}^{A}_{Z}X^{b}_{a} $$

X : 원소 기호
Z : 원자 번호(Z=p)
A : 질량수(A=Z+n)
a : 분자의 원자수(예, O_2)
b : 이온의 전하수(예, Na^{+1}, O^{-2})

- ❑ 원자모형의 변천



2.2 Fundamental Particles

- **Electron (전자)**
  - 전자의 질량은 양성자의 질량의 1/1837
    - $m_e = 9.10956 \times 10^{-28} g$
  - $e = 1.60219 \times 10^{-19} coulombs$
- **Proton (양성자)**
  - Positive charge
  - $M_p = 1.67261 \times 10^{-24} g$
- **Neutron (중성자)**
  - $M_n = 1.67492 \times 10^{-24} g$
- **Photon (광자)**
  - 빛을 이루는 입자
- **Neutrino(중성미자)**

입 자	기 호	전 하	질 량(amu)
양자(protons)	p (or p+)	+1	1.007277
중성자(neutrons)	N	0	1.008665
전자(electrons)	e^-	-1	0.000549
원자(atoms)	Fe, Na 등	0	원자량
이온(ions)	Na^+,SO_4^{-2}	다양, 단 0은 아님	원자량의 합
분자(molecules)	H_2O, O_2 등	0	분자량(원자량의 총합)

2.2 Fundamental Particles

- **Nuclide (핵종)**
  - Nuclide=nucleus characterized by Z and A
    - 그 원자핵 내의 양성자와 중성자의 수에 의해 특징 지어지는 개개의 원자핵

- **Classification of Nuclides**
  - Isotopes (동위원소): same Z : N^{13}, N^{14}, N^{15}
  - Isotones (동중성자원소) : same N : ${}_6C^{14}$, ${}_7N^{15}$, ${}_8O^{16}$
  - Isobars (동중 원소): same A : ${}_6C^{14,}$ ${}_7N^{14}$
  - Isodiapheres : same A-2Z : ${}_6C^{12,}$ ${}_7N^{14}$, ${}_8O^{16}$
  - Isomers : same Z, N : ${}_{35}Br^{80m}$ (4.4 hr), ${}_{35}Br^{80}$ (18min)

- **핵종 표시**
  - Ex) U238, Pu239 $\Leftrightarrow$ $U_{9(2)}^{23(8)}$, $Pu_{9(4)}^{23(9)}$

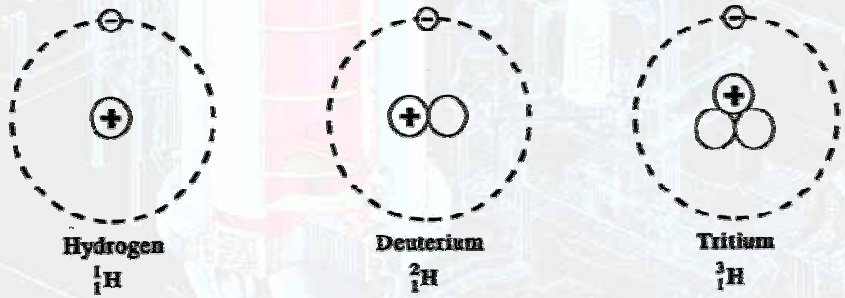


FIG. 2.6 Isotopes of hydrogen.

2.3 Atomic and Molecular Weight

➢ Atomic Mass unit (원자질량단위) : amu

- ❑ Atomic weight of atom = $12 \times \frac{mass\ of\ neutral\ atom}{mass\ of\ neutral\ {}^{12}C}$
- ❑ Physical atomic mass unit = $\frac{1}{12} \times mass\ of\ neutral\ {}^{12}C\ atom$
- ❑ 1amu = $1.660438 \times 10^{-24}\ grams$
- ❑ masses for atomic constituents
  - Proton M_p= 1.007277 amu
  - Neutron M_n=1.008665 amu
  - Electron m_e=0.000548597 amu

2.3 Atomic and Molecular Weight

- 화합물의 원자량 = total of the atomic masses of the elements it contains
  - Ex. Mass of C_2H_5OH
    - $2\times12.01+6\times1.008+1\times16=46.07U$
- A Kilomole(Kmole) of any element or compound
  - quantity of it whose mass is equal to its atomic or molecular mass expressed in kilograms
  - Ex. One Kmole of C_2H_5OH = mass of 46.07Kg C_2H_5OH
- Avogadro number
  - Number of molecules (or atoms) in a gram-atom or a mole
    - $= 6.02252 \times 10^{23}\ molecules\ /\ gm-mole\ \ or\ \ atoms\ /\ gm-atom$
- Density of atoms

$$N = \frac{\rho(density)}{atomic\ \ mass} \times Avogadro\ \ No.\ [atoms/cm^3]$$

- 원자핵의 질량
  - M'=원자핵 질량, m_0=전자 정지 질량

Cf. Tomas-Fermi model
$=B_e(Z)=15.73Z^{7/3}(eV)$

$$M' = M(atomic\ \ mass) - (Zm_0 - Be(Z))$$

$Be(Z) =$ 원자 내 모든 전자들의 결합에너지

2.4 Atomic and Nuclear Radii

- 원자의 크기
  - 전자 궤도는 정확히 원이 아님
    - 전자를 발견할 확률 값에 의해 결정됨
    - 원자간 간격 $2\times10^{-8}cm$
- 핵 반경
  - 원자핵은 반경 R의 구로 가정
    - 원자핵의 부피가 원자핵의 질량수에 비례함
    - $$R = R_0 A^{1/3}$$

$R_0 \sim 10^{-13}$cm

2.5 Mass and Energy

➢ 결합에너지(Binding Energy)

❑ Two facts of life

- 원자핵 내에는 양성자끼리의 반발력(repulsive force)에도 불구하고 반경 r 내에 양성자가 존재하고 있음
  - **즉 핵자(nucleon)간 강한 인력(attractive force)이 존재**
- 핵의 질량은 원자핵의 구성핵자 질량 합보다 작음

❑ Mass defect(질량결손) : Δm

- $\Delta m = ZM_p + NM_n - M'$

M_p= 양성자 질량
M_n= 중성자 질량
M'= 원자핵 질량

❑ 결합에너지

- $\Delta m \cdot c^2$
- The energy required to break the nucleus into its constituent nucleons
- The energy released when a nucleus is produced from A nucleons

cf. 1eV = 1.60219 x 10^{-19} coulomb x 1 volt
= 1.60219 x 10^{-19} joule

2.5 Mass and Energy

➢ Relativistic Velocities

❑ Einstein의 상대론

- 물체의 속도가 증대하면(광속도까지) 질량의 무한대로 증가함

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$$

m_0 = rest mass

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$$

E=total energy

$$KE = E - m_0 c^2 = (m - m_0)c^2 = m_0 c^2 [\frac{1}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} - 1]$$

- When v<<c

$$\frac{1}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} \cong 1 + \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2} + \cdots$$

$$KE \cong m_0 c^2 [1 + \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2} + \cdots - 1] = \frac{1}{2} m_0 v^2$$

Mass–energy equivalence
란 뜻으로도 풀이

2.6 Particle Wavelengths

➢ Wavelength

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

p=momentum
h= Planck's constant

For particles of nonzero rest mass

$$p = mv$$

$$p = \sqrt{2m_0 E}$$

At nonrelativistic energies

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 E}}$$

For neutron wave length

$$\lambda = \frac{2.860 \times 10^{-9}}{\sqrt{E}}$$

❑ Particles of zero rest mass

$$p = \frac{E}{c}$$

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