

목차



원자력이론

제1장 원자와 에너지	5
제2장 방사능과 방사성붕괴	27
제3장 방사선과 물질과의 상호작용	51
제4장 방사선 차폐	95
제5장 방사성핵종과 방사평형	113
제6장 방사선생물학	131
제7장 방사화학과 방사선화학	158

방사선취급기술

제8장 측정기술의 개요	179
제9장 기체전리를 이용한 검출기	198
제10장 고체전리를 이용한 검출기	227
제11장 섬광작용을 이용한 검출기	231
제12장 선량 측정	246
제13장 방사능 측정	263
제14장 에너지 측정	274
제15장 중성자 측정	297

방사선장해방어

제16장 방사선과 관련된 양과 단위	301
제17장 방사선방호체계	326
제18장 방사선방호의 원칙	357
제19장 방사선 모니터링	366
제20장 방사성동위원소 등의 시설 및 취급기준	394
제21장 방사선사고와 대책	402
제22장 방사성폐기물 관리	408



원자력이론

제1장 원자와 에너지

객관식문제(RI)

[문제1] 다음 설명 중 옳바른 것은 몇 개인가?

- 가. 원자핵 내의 n-p, p-p, n-n에 작용하는 힘은 차이가 거의 없다.
 - 나. 모든 γ 방출핵이 내부전환을 일으키는 것은 아니다.
 - 다. 60 %정도가 양성자수와 중성자수가 모두 홀수인 것이 안정하다.
 - 라. 특성X선은 단색광이며 그 에너지는 이를 발산하는 원자의 원자번호에 근사적으로 비례한다.
 - 마. 지구상에 자연적으로 존재하는 안정핵종은 300여 핵종이 있다.
 - 바. 원자핵의 안정성을 결정하는 것은 N/P비이며, 자연계에 존재하는 안정한 핵종은 1~1.5정도이다.
 - 사. 최초의 인공방사성원소는 ^{30}P 으로 β 방출핵종이다.
 - 아. 지구상에 자연적으로 존재하는 안정핵종 중 가장 무거운 것은 $^{206}_{82}\text{Pb}$ 이다.
- ① 3개 ② 4개 ③ 5개 ④ 7개

[문제2] 다음 설명 중 옳바르지 않은 것은?

- ① 원자의 질량은 원자의 궤도전자수에 의해 결정된다.
- ② 원자의 크기는 전자궤도반지름에 의해 결정된다.
- ③ 원자의 속은 원자핵과 궤도전자의 전하로 인한 전장과 동시에 전자로 인해 생긴 자장이 작용하는 빈 공간이다.
- ④ 원자의 궤도반지름은 주양자수(n)에 의해 결정된다.

[문제3] 보어의 원자모형에 관한 설명으로 옳바른 것은?

- ① 원자의 궤도는 연속적인 에너지상태를 가진다.

1) ② 60 %정도가 양성자수와 중성자수가 모두 짝수인 것이 안정하다. 특성X선은 단색광이며 그 에너지(진동수)는 이를 발산하는 원자의 원자번호의 제곱에 근사적으로 비례한다. (모즐리법칙 : $\sqrt{\nu} \propto Z$) 최초의 인공방사성원소는 ^{30}P 으로 β 방출핵종이다. 지구상에 자연적으로 존재하는 안정핵종 중 가장 무거운 것은 $^{206}_{82}\text{Pb}$ 이다.

(옳바른 것 : 가, 나, 마, 바)

2) ① 원자의 질량은 원자핵(핵자수)에 의해 결정된다.

3) ③ 원자의 궤도는 불연속적인 에너지상태를 가진다. 보어는 러더퍼드의 행성모형을 보완하여 현대적 원자모형을 제안하게 되었다. 원자구조에 있어서 각운동량은 $h/2\pi$ 의 정수배에 비례한다는 것은 양자조건을 설명하는 것이다.

- ② 보어의 원자모형을 보완하여 리더퍼드는 원자의 현대적 모형인 행성모형을 제안하였다.
- ③ 진동수조건은 전자의 천이에 따른 에너지상태의 변화를 설명한다.
- ④ 원자구조에 있어서 각운동량은 $h/2\pi$ 의 정수배에 비례한다는 것은 진동수조건을 설명하는 것이다.

[문제4] 원자의 에너지준위에 관한 설명 중 옳바르지 않은 것은?

- ① K각의 에너지 준위가 가장 낮다.
- ② 원자의 여기상태는 불안정하다.
- ③ 원자가 기저상태에서 여기상태로 이동할 때 광자가 방출된다.
- ④ 핵으로부터 멀리 떨어진 전자일수록 핵과의 결합에너지는 작아진다.

[문제5] 다음 설명 중 옳바르지 않은 것은 몇 개인가?

- 가. 원자핵의 반경(R)은 질량수(A)의 함수로서 표시되는데 $R = r_0 A^{1/3}$ (r_0 :상수)이다.
 나. Na는 전자수가 11개이고 최외각전자의 궤도는 L각이다.
 다. 원자는 위치에너지가 높은 궤도에서 전자의 운동에너지가 크다.
 라. 진동수가 f인 n개의 광자가 가지는 총에너지는 nhf이다.
- ① 1개 ② 2개 ③ 3개 ④ 4개

[문제6] 다음 중 옳바른 설명으로 조합된 것은?

- 가. 중성인 어떤 원자의 L각 궤도에 4개의 전자가 존재한다고 할 경우 이 원자는 질소(N)이다.
 나. 원자핵의 체적은 질량수에 비례한다.
 다. 지구상에 존재하는 핵종 중 안정한 핵종은 양성자수와 중성자수가 모두 홀수인 것이 가장 많다.
 라. 자연계에 존재하는 가장 무거운 안정핵종은 ^{208}Pb 이다.
- ① 가, 나, 다 ② 나, 라 ③ 가, 나, 다, 라 ④ 다, 라

[문제7] 다음은 원자핵에 대한 설명이다. 옳바르지 않은 것은?

- ① 물방울모형은 핵분열을 설명하는 데 적합한 핵모형이다.
- ② 핵의 반경은 질량수의 3/2에 비례한다.

- 4) ③ 원자가 여기상태에서 기저상태로 이동할 때 광자가 방출된다.
 5) ② 원자는 위치에너지가 높은 궤도에서 전자의 운동에너지가 작고 위치에너지가 낮은 궤도에서는 전자의 운동에너지가 크다. Na는 최외각전자의 궤도는 M각이고 이 각에는 전자가 1개 있다. (올바른 것 : 가, 라)
 6) ② K각에 전자가 2개 채워지고 L각에 4개 채워지므로 원자번호가 6번인 탄소(C)이다.
 -안정한 핵의 양성자수와 중성자수의 비율

양성자수	중성자수	안정핵종수	비고
짝수	짝수	166	
짝수	홀수	54	
홀수	짝수	56	
홀수	홀수	4	^2H , ^6Li , ^{10}B , ^{14}N

^{209}Bi 는 방사성핵종이고 반감기가 2×10^{19} 년 정도로 매우 길다는 것이 밝혀졌다. 따라서 ^{208}Pb 이 자연계에 존재하는 가장 무거운 안정핵이다.

7) ②

- ③ 각모형에서 마법수만큼 핵자수가 채워졌을 때를 닫힌 각이라고 한다.
- ④ 핵내의 핵자가 가질 수 있는 에너지 값은 불연속적이다.

[문제8] 물방울모형으로 설명 가능한 현상과 관계있는 것끼리 조합된 것은?
 가. 복합핵의 형성과정 나. α입자의 집단운동모형 다. 마법수 라. 핵분열
 ① 나, 다 ② 가, 라 ③ 가, 나 ④ 가, 나

[문제9] 다음 중 올바른 설명으로 조합된 것은?
 가. 각모형에서 마법수만큼 핵자수가 채워졌을 때를 닫힌 각이라고 한다.
 나. 핵내의 핵자가 가질 수 있는 에너지 값은 연속적이다.
 다. 핵모형이란 핵의 성질이나 구조를 설명하기 위한 이론이다.
 라. 원자핵이 안정하다는 것은 핵자당 결합에너지가 작다는 의미이다.
 ① 가, 나, 다 ② 가, 다 ③ 나, 라 ④ 라

[문제10] 다음 중 옳은 것끼리 연결된 것은?
 가. 원자핵이 갖는 전하는 +Ze이다.
 나. 보어의 원자모형은 정상상태, 진동수조건, 양성자조건이 있다.
 다. 원자의 화학적 성질은 전자수와 전자의 상태와 관계있다.
 라. 전기량의 최소단위를 전기소량이라고 한다.
 ① 나, 다, 라 ② 가, 나, 다, 라 ③ 가, 나 ④ 가, 다, 라

[문제11] 다음 연결 중 올바르게 연결된 것끼리 조합된 것은?
 가. 톱슨-행성모형 나. 보어-특성X선 다. 베크렐-우리늄선 라. 퀴리부인-방사능
 ① 다, 라 ② 가, 라 ③ 가, 나 ④ 가, 나

[문제12] 핵력의 특징에 관한 설명으로 맞는 끼리 조합된 것은?
 가. 교환력을 가진다.
 나. 양성자의 전하에 따라 핵력은 변한다.
 다. 만유인력처럼 핵력은 핵자의 질량에 비례한다.
 라. 10^{-13} cm 정도의 거리에서 작용하는 힘이다.
 ① 나, 다 ② 가, 다 ③ 가, 나, 다, 라 ④ 가, 라

[문제13] 다음 중 핵력에 대한 설명으로 올바른 것끼리 조합된 것은?
 가. 핵력과 전자기력, 중력의 비는 $1 : 10^{-2} : 10^{-40}$ 정도이다.
 나. 핵력은 인력과 척력이 작용하며 강력이라고도 한다.

8) ② 각모형 : 마법수
 9) ②
 10) ④ 보어의 원자모형은 정상상태, 진동수조건, 양자조건이 있다.
 11) ① 모즐리 : 특성X선, 톱슨 : 건포도빵모형
 12) ④ 핵력 : 쿨롱력보다 강한 인력(100배), 단거리력, 하전독립성, 교환력, 포화성, 핵자간의 스핀(각 운동량)과도 관계가 있다.
 13) ③

주관식문제(SRD)

[문제01] 보어의 원자모형을 구성하고 있는 양자조건과 진동수조건을 설명하라.

[sol]

보어의 전자가 특정한 궤도에 있을 때에는 전자기파를 방출하지 않는다는 가설을 도입하여 새로운 원자모형을 제시하였다.

- 1) 양자조건 : 전자는 모든 에너지상태에 존재할 수 있는 것이 아니라 띄엄띄엄한 값(양자화)을 가지는 안정상태에만 존재할 수 있다. 아래의 식을 만족하는 안정 상태에서 원자핵을 돌고 있는 전자는 전자기파를 방출하거나 흡수하지 않는다.

$$2\pi r = \frac{h}{mv} \times n = \lambda \times n$$

- 2) 진동수조건 : 한 정상상태(E_n)에서 다른 정상상태(E_m)로 이동할 때 전자는 에너지를 방출하거나 흡수한다. 이때 전자가 방출하거나 흡수하는 빛의 진동수는 ν 라 하고 플랑크 상수를 h 라고 하면 다음의 식이 성립한다.

$$h\nu = E_m - E_n \quad (E_m > E_n)$$

[문제02] 보어의 원자모형의 문제점을 기술하시오.

[sol]

- 1) 수소 외의 원자에는 잘 맞지 않는다
- 2) 각 궤도에 들어가는 전자수가 $2n^2$ 개인 이유를 설명하지 못했다.
- 3) 전자의 위치를 원자의 궤도로 확정함으로써, 하이젠베르크의 불확정성원리에 맞지 않는다.

[문제03] 원자의 특성에 대해 간단하게 기술하고 원자와 원자핵을 비교하라.

[sol]

- 1) 원자는 대부분 빈 공간이며 (+)전하를 띤 원자핵을 중심으로 (-)전하를 띤 전자가 빠른 속도로 운동하고 있다.
- 2) 원자핵은 양성자와 중성자로 구성되어 있으며, 크기가 작지만 원자질량의 99.975%를 차지한다.
- 3) 중성원자의 경우 원자내의 전자수와 양성자수는 같다(양성자와 전자의 전하량의 절대값은 같다).
- 4) 질량비 $m_n : m_p : m_e = 1.00866 : 1.00727 : 0.00054$

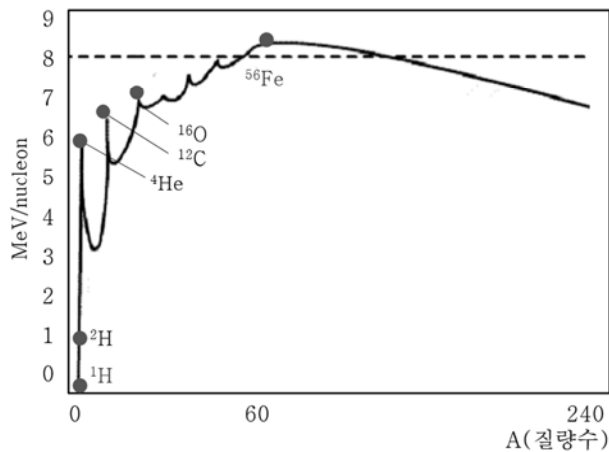
5) 원자와 원자핵을 비교하면 다음 표와 같다.

	원 자	원자핵
크 기	[Å]단위	[fm]단위
질 량 비	100	99.975
구 조	원자핵+전자	중성자, 양성자
중 심	있 음 (원자핵)	없 음
작 용 력	쿨 롱 력	핵 력

[문제04] 핵자당 결합에너지는 ${}^4\text{He}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{16}\text{O}$ 등에서 비교적 큰 값을 나타낸다. 그 이유를 설명하라.

[sol]

α 입자는 핵자당 결합에너지가 비교적 크기 때문에 안정하므로 2개의 양성자와 2개의 중성자가 결합하여 원자핵내에서 안정된 핵자집단을 만든다. 또한 가벼운 원자핵들은 α 입자와 몇 개의 핵자들이 결합한 것이라고 생각하면 질량수가 4의 정수배가 될 때 특히 안정된 구조를 가진다는 것을 설명할 수 있다. 그러나 질량수가 20이상으로 증가하게 되면 질량수 측면에서 4의 주기성은 별로 나타나지 않고 핵자당 결합에너지는 포화된다.



[문제05] 핵력의 특징을 개조식으로 기술하라.

[sol]

핵력이란 핵자(양성자+중성자)를 응집시켜 핵을 구성하게 하는 힘을 말하며, 다음의 특징을 가진다.

- 1) 쿨롱력(전자기력)보다 약 100배 정도 강하다.
- 2) 단거리력(근거리력)
- 3) 하진독립성(핵자의 전하에 무관하다)
- 4) 포화성(핵의 밀도와 비결합에너지가 거의 일정하다)
- 5) 교환력(π 중간자를 매개로 힘을 주고 받는다)
- 6) 핵자간의 스핀(각운동량)과도 관계가 있다.

[문제06] 자연계에 존재하는 원자핵 중에서 안정된 핵종일수록 중성자수가 많다. 그 이유를 설명하라.

[sol]

무거운 안정한 핵종일수록 중성자수가 많은 이유는 원자번호가 증가하게 되면 쿨롱척력이 커져 핵이 분열하게 되므로 자연계에 안정하게 존재하는 무거운 핵종들은 중성자수가 양성자수보다 더 많다.

[문제07] 핵의 shell model에 대해 설명하라.

[sol]

각모형(shell model)은 원자핵의 에너지 준위를 규명하는 모형이다. 이 이론에 의하면 핵은 특별한 양성자수 또는 중성자수를 가질 때 안정하다. 이 특별한 수를 마법수(magic number)라고 하며 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 등이 여기에 속한다. 이는 마치 궤도전자수가 각 궤도마다 $2n^2$ 개일 때 원자가 안정한 것과 유사하고, 궤도전자의 천이시 특성X선을 방출하는 것과 유사하게 γ 선을 방출하는 현상도 설명할 수 있으며, 핵자의 수가 짝수일 때 안정하다는 것도 알 수 있다. 이러한 마법수를 갖는 핵종들이 안정한 이유는 핵 속의 중성자각이나 양성자각을 완전히 채우고 있기 때문으로 생각하고 있다.

[문제08] 핵분열을 설명하는 핵모형에 대해 기술하라.

[sol]

물 방울	→	반 응 물
진동/신장	→	복합핵/신장
아령모양	→	아령모양
분 열	→	분 열

핵분열을 설명하는 모형에는 물방울모형(liquid drop model)이 있다. 물방울모형은 핵 내의 각 핵자가 핵자 주위의 가장 인접한 핵자들과만 상호작용하고, 이러한 상호작용은 핵이 물방울과 같이 표면장력효과를 나타내어 둥근 공모양을 해야 최대의

계산문제(RI · SRD)

[문제01] 수소원자의 첫 번째 궤도 반지름이 0.53 \AA 일 때 이 궤도에서 전자의 드브로이파장 [\AA]을 구하라.

[sol]

$$2\pi r = n\lambda \rightarrow n=1$$

$$\lambda = 2\pi \times (0.53 \text{ \AA}) = 3.3 \text{ \AA}$$

[문제02] 보어이론에 의한 수소원자의 에너지준위 $E = -13.6/n^2 [\text{eV}]$ 라고 할 경우 수소원자에서 궤도전자가 바닥상태에서 $n=3$ 인 들뜬 상태로 옮겨 가기 위해 필요한 에너지를 구하라. 플랑크상수(h)= $6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 이다.

[sol]

두 궤도간의 에너지 차이 $\Delta E = E_3 - E_1 = \left(-\frac{13.6}{3^2}\right) - \left(-\frac{13.6}{1^2}\right) = 12.1 \text{ eV}$

$n=3$ 인 들뜬 상태의 전자가 다시 바닥상태로 전이할 때 방출되는 전자기파의 진동수

$$E = h\nu \rightarrow \nu = \frac{E}{h} = \frac{12.1 \text{ eV} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}}{6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}} = 2.9 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$$

[문제03] ^{235}U 와 ^1H 의 핵반경을 비교하라.

[sol]

$$\frac{R_{\text{U-235}}}{R_{\text{H-1}}} = \frac{1.2 \times 235^{1/3}}{1.2 \times 1^{1/3}} = \frac{7.4 \text{ fm}}{1.2 \text{ fm}} = 6.17 \text{ 배}$$

[문제04] ^4He 원자핵의 밀도를 구하라. 핵내 핵자의 질량을 $1.674 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 이다.

[sol]

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{1.674 \times 10^{-27} \text{ kg} \times A}{\frac{4}{3}\pi(1.2 \times 10^{-15} \text{ m} \times A^{1/3})^3} = \frac{1.674 \times 10^{-27} \text{ kg} \times 4}{\frac{4}{3}\pi(1.2 \times 10^{-15} \text{ m} \times 4^{1/3})^3}$$

$$= 2.31 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

[문제05] 원자의 질량은 원자질량단위 (atomic mass unit : [u]) 를 사용한다. 이 단위는 ^{12}C (탄소)의 질량을 기준으로 하고, ^{12}C (탄소)원자 1개의 질량을 12u로 정하였다. 1u의 질량을 [kg]단위로 구하고 이를 에너지[MeV]로 환산하시오.

[sol]

$$^{12}\text{C}(\text{탄소})\text{원자 1개의 질량} = \frac{12\text{g/mol}}{6.02 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}} = 12\text{u}$$

$$1\text{u} = \frac{\frac{12\text{g/mol}}{6.02 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}}}{12} = \frac{1\text{g}}{6.02 \times 10^{23}} = 1.66 \times 10^{-24}\text{g} = 1.66 \times 10^{-27}\text{kg}$$

$$E = (1.66 \times 10^{-27}\text{kg}) \times (3 \times 10^8 \text{m/s})^2 = 1.49 \times 10^{-10}\text{J} = 1.49 \times 10^{-10}\text{J} \times \frac{1\text{MeV}}{1.6 \times 10^{-13}\text{J}}$$

$$= 931.5\text{MeV}$$

[문제06]^{SRI} 전자의 운동에너지가 10keV인 경우와 1MeV인 경우의 전자의 상대론적 속도와 고전역학적 속도를 계산하여 비교하시오.

[sol]

1) 운동에너지가 10keV일 때

$$10 \times 10^{-3} = 0.511 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} - 1 \right) \rightarrow v = 5.85 \times 10^7 \text{m/s}$$

$$10\text{keV} \times 1.6 \times 10^{-16}\text{J/keV} = \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31}\text{kg} \times v^2 \rightarrow v = 5.93 \times 10^7 \text{m/s}$$

상대론적 속도와 고전역학적 속도의 차이가 거의나지 않음을 알 수 있다.

2) 운동에너지가 1MeV일 때

$$1 = 0.511 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} - 1 \right) \rightarrow v = 0.941c = 2.823 \times 10^8 \text{m/s}$$

$$1\text{MeV} \times 1.6 \times 10^{-13}\text{J/MeV} = \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31}\text{kg} \times v^2 \rightarrow v = 5.93 \times 10^9 \text{m/s}$$

고전역학적 속도보다 상대론적 속도가 더 작음을 알 수 있는데 이러한 속도 차이는 질량의 증가로 나타난다.

[문제07] ${}^4\text{He}$ 의 원자질량을 4.00258u라고 할 경우 핵자 1개당 결합에너지를 계산하시오. 중성자의 질량은 1.00866u, 양성자의 질량은 1.00727u, 전자의 질량은 0.00054u이다.

[sol]

$$\Delta m = [(2 \times 1.00727) + (2 \times 1.00866)]u - [4.00258 - (2 \times 0.00054)]u = 0.03036u$$

$$0.03036u \times \frac{931.5\text{MeV}}{1u} = 28.3\text{MeV}$$

$$\text{핵자 1개당 결합에너지} = \frac{28.3\text{MeV}}{4} = 7.07\text{MeV}$$

[문제08] 원자핵의 직경을 3fm라고 할 경우 입자가 광속으로 핵의 직경을 횡단하는데 걸리는 시간은?

[sol]

$$\frac{3 \times 10^{-15}\text{m}}{3 \times 10^8\text{m/s}} = 10^{-23}\text{s}$$

[문제09] ${}^2\text{H}$ (원자질량=2.014102 u)의 핵자 1개당 결합에너지를 구하라. ${}^1\text{H}$ 질량=1.00781u, 중성자질량=1.00866u, 전자질량=0.00054u이다.

[sol]

$${}^2\text{H 핵의 질량} = 2.014102u - 0.00054u = 2.013562u$$

$$\text{양성자의 질량} = 1.00781u - 0.00054u = 1.00727u$$

${}^2\text{H}$ 의 결합에너지

$$E_b = (ZM_p + NM_n - M)c^2$$

$$= [(1 \times 1.00727) + (1 \times 1.00866) - 2.013562]u \times 931.5\text{MeV}/u = 2.2058\text{MeV}$$

$$\text{핵자 1개당 결합에너지} = \frac{E_b}{A} = \frac{2.2058\text{MeV}}{2} = 1.1029\text{MeV}$$

[문제10]^{SRI} ${}^{12}_6\text{C}$ 원자에서 1개의 중성자와 양성자를 떼어내는데 필요한 에너지를 각각 다음의 자료를 이용하여 계산하라. ${}^{11}_5\text{B}$ 원자질량=11.0093u, ${}^{11}_6\text{C}$ 원자질량=11.0114u, ${}^1_1\text{H}$ =1.00781u, n=1.00866u

[sol]

-중성자를 떼어내는데 필요한 에너지 : ${}^{12}_6\text{C} \rightarrow {}^{11}_6\text{C} + n$