



제1장 원자력이론

1. 원자핵 물리
2. 방사화학 및 방사선화학
3. 방사선 생물학
4. 주관식

제1장 원자력이론

1. 원자핵 물리

1. 다음 중 틀린 것은?

- ① 원자는 원자핵의 양하전과 전자의 음하전으로 완전히 상쇄되므로 전기적으로 중성임
- ② 에너지가 제일 낮은 원자의 상태를 기저상태(ground state)라고 함.
- ③ 여기(excitation)란 원자가 전자나 다른 입자와의 충돌에 의하여, 또는 전자파(빛, X선, 감마선)를 흡수하여 기저상태에서 에너지가 높은 상태로 옮겨가는 것임
- ④ 전리(ionization)란 궤도전자가 충분히 큰 에너지를 흡수하여 그 궤도에서 이탈하는 것으로서 $E = \infty$ 의 준위까지 여기된 상태임

해설 ④

전리(ionization)란 원자가 원자핵의 인력권 밖으로 나온 상태 즉 원자가 전자를 잃게 되는 상태로서 충분히 큰 에너지를 흡수하여 $E = 0$ 의 준위까지 여기된 상태이다.

2. 다음 보기 중 에너지의 단위가 아닌 것은?

- | | | |
|---|---|-------------------------------------|
| 가. $[\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^{-2}]$ | 나. $[\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-2}]$ | 다. $[\text{newton} \cdot \text{m}]$ |
| 라. kW | 마. kWh | 바. coulomb · volt |

- ① 가, 라
- ② 가, 마
- ③ 나, 라
- ④ 다, 바

해설 ①

3. 다음 설명 중 틀린 것은?

- ① A가 같고 Z가 다른 핵종을 동중핵이라 한다.
- ② Z가 같고 A가 다른 핵종을 동위원소라 한다.

- ③ Z가 같은 모든 핵종을 방사성동위원소라 한다.
- ④ N이 같고 Z가 다른 핵종을 동중성자핵이라 한다.

해설 ③

원자번호가 같은 핵종을 동위원소라 하며, 모두 방사성을 띠고 있는 것은 아니다.

4. 동위원소는 ()이 서로 같다. ()안에 알맞은 말은?

- ① 생물학적 성질
- ② 붕괴율
- ③ 화학적 성질
- ④ 물리적 성질

해설 ③

동위원소란 원자번호는 같고 질량수가 다른 원소를 말한다. 따라서 원소주기율표상에서 같은 위치에 있는 것을 의미하므로 화학적 성질이 같다.

5. 다음 중 옳은 것끼리 짝지어진 것은?

- A. 원자번호가 같고 질량수가 다른 핵종을 동위원소라 한다.
- B. ^{99m}Tc의 m은 metastable state(준안정상태)의 머리문자이다.
- C. 원자번호는 다르고 중성자수가 같은 핵종을 동중성자핵이라 한다.
- D. 원자번호, 질량수는 같고 에너지상태가 다른 핵종을 핵이성체라 한다.

- ① A, B, C
- ② A, C
- ③ B, D
- ④ A, B, C, D

해설 ④

동위원소 : Z는 같으나 N은 다른 핵종
 동중원소 : Z와 N은 다르나 A가 서로 같은 핵종
 동중성자원소 : N은 같으나 A가 다른 핵종
 핵이성체 : Z, N, A는 모두 서로 같으나, 에너지 상태가 다른 핵종

6. 다음 중 틀린 것은?

- ① 물방울(liquid drop) 모델은 핵분열을 설명하는 이론이다.
- ② 원자번호 20번 아래에서 안정된 원자핵은 양성자수와 중성자수가 거의 같다.
- ③ 우리눈 핵분열시 발생하는 고속중성자(fast neutron)의 평균에너지는 약 2 MeV정도이다.
- ④ 러더퍼드의 알파선 산란실험은 핵자의 존재를 증명하였다.

해설 ④

리드퍼드의 실험은 원자핵(nucleus)의 존재를 증명하였으며, 양성자(proton)나 중성자(neutron) 같은 핵자(nucleon)을 처음 발견한 사람은 채드윅이다.

7. 다음 원자구조에 대한 설명 중 잘못 기술된 것은?

- ① 원자핵은 원자의 중심에 존재하고 양전하를 가지고 있으며 원자무게의 대부분을 차지하고 있다.
- ② 원자핵은 핵자(nucleon)라고 하는 양성자(proton)와 중성자(neutron)로 구성되어 있다.
- ③ 양성자와 중성자는 질량이 거의 같다.
- ④ 원자핵의 밀도는 가벼운 수소 원자핵에 비해서 무거운 우라늄 원자핵이 훨씬 더 크다.

해설 ④

④는 틀림

근사적으로 핵을 반경 R인 구라고 가정을 한다면, 그 체적은 $\frac{4\pi R^3}{3}$ 이 되고, 이것은 질량수 A

(핵내에 들어 있는 핵자의 수)에 비례 할 것이다. 즉 $\frac{4\pi R^3}{3} \approx A$, $R \approx A^{1/3}$, 여기서 비례상수

를 R_0 라고 하면 핵의 반경 R은 $R = R_0 A^{1/3}$ 으로 나타낼 수가 있다. 핵자(양성자 및 중성자)의 밀도는 단위체적당의 핵자의 수로서 원자핵의 밀도가 된다.

즉, 원자핵의 밀도 = $\frac{A}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{A}{\frac{4}{3}\pi (R_0 A^{1/3})^3} = \frac{3}{4\pi R_0^3} = \text{Constant}$ 따라서 핵자의 밀도는 모든 핵종

에 대해서 일정하다. 여기서 R_0 는 실험적으로 결정되는 비례상수로서 실험방법에 따라 약간의 차이는 있지만 평균적으로 $R_0 = 1.2 \times 10^{-13}$ cm이다.

8. 다음 중 틀린 것은?

- ① 원자(atom)는 모든 물질의 기본적인 구성입자로서 원자핵과 전자로 구성됨
- ② 원자핵의 반경은 원자의 반경이 비교하여 약 10^4 배 정도 작음
- ③ 원자핵을 테니스 공에 비유하면 궤도전자는 약 1 km 떨어진 지점에서 그 궤도를 돌고 있는 셈
- ④ 원자핵의 밀도는 질량수 및 반경이 커지면 비례하여 커짐

해설 ④

원자핵의 밀도 ρ 는 $\rho = \frac{A}{(4/3)\pi (R_0 A^{1/3})^3} = \frac{3}{4\pi R_0^3}$ 로 표현되므로,

질량수 A와 반경 R에 무관하게 거의 일정하다. 핵의 밀도는 약 2억 (톤/cm³)이다.

9. 다음 중 틀린 것은?

- ① 핵력이란 핵자들을 응집시켜 원자핵이라는 하나의 입자를 형성시키고 있는 힘임
- ② 원자핵의 질량은 그것을 구성하고 있는 양성자와 중성자의 질량을 개별적으로 합한 것보다 큼
- ③ 원자핵의 질량과 그것을 구성하고 있는 양성자와 중성자의 질량을 개별적으로 합한 것과의 차이를 질량결손(mass defect)이라 함
- ④ 질량결손에 해당하는 값이 원자핵의 결합에너지임

해설 ②

원자핵의 질량은 그것을 구성하고 있는 양성자와 중성자의 질량을 개별적으로 합한 것보다 작다. 이 차이를 질량결손(mass defect)이라 한다.

10. 다음 설명 중 틀린 것은?

- ① 수소의 동위원소로서 자연에는 ${}^1\text{H}$, ${}^2\text{H}$, ${}^3\text{H}$ 만이 존재하고 있다.
- ② 현재 지구상에서 발견되는 핵종의 수는 무한대로 헤아릴 수가 없다.
- ③ 양성자의 수에 비해 중성자의 수가 많아지면 원자핵은 불안정하게 된다.
- ④ 지구상에는 스스로 붕괴하는 핵종들도 있다.

해설 ②

②는 틀림
 - 양성자와 중성자만 있으면 무한히 많은 수의 핵종들을 만들 수 있을 것 같은데, 현재 지구상에서 발견되는 핵종의 수는 유한하다.
 - 그 이유는 양성자수에 비해 중성자수가 많아지면 원자핵은 안정하게 존재하지 못하고 스스로 붕괴되어 다른 핵종으로 변환되기 때문이다.
 - 예를 들면 양성자 1개에 중성자를 계속 첨가한다면 ${}^1\text{H}$, ${}^2\text{H}$, ${}^3\text{H}$, ${}^4\text{H}$, ${}^5\text{H}$, 등과 같이 동위원소를 무한히 만들 수 있을 같은데, 자연에는 ${}^1\text{H}$, ${}^2\text{H}$, ${}^3\text{H}$ 만이 존재하고 있다.

11. 다음 중 맞는 것은?

- ① 질량수가 20 보다 큰 원자의 핵의 핵자당 결합에너지는 약 8 MeV정도이다.
- ② 원자핵의 질량은 그것을 구성하고 있는 양성자와 중성자의 질량을 개별적으로 합한 것보다 크다.
- ③ 전리(ionization)란 궤도전자가 충분히 큰 에너지를 흡수하여 그 궤도에서 이탈하는 것으로서 $E = \infty$ 의 준위까지 여기된 상태이다.
- ④ 원자핵의 밀도는 질량수 및 반경이 커지면 비례하여 커진다.

해설 ①

질량수 $A \geq 20$ 에서는 $8(\text{MeV}) \leq f_B \leq 8.6(\text{MeV})$ 이며, A 가 56인 Fe에서 f_B 는 최대치를 갖는다.

12. 다음 중 틀린 것은?

- ① 전자평형상태하의 주어진 공기 체적 내에서 감마선의 상호작용에 의해 생성되는 이온쌍의 수는 조사선량에 비례한다.
- ② 선에너지전달이란 어떤 매질 내에서 하전입자가 단위거리당 잃은 에너지를 의미한다.
- ③ 공기중 알파선은 1 MeV당 0.3~2.5 cm 정도 거리를 직선으로 간다.
- ④ 알파선의 전리도는 운동에너지가 점차 적어짐에 따라 증가하다가 비정의 끝부분에서 피크를 이룬 이후 급격히 떨어지는 바, 이는 비정의 끝 부분에서 가장 많은 에너지를 매질에 전달하게 되는 것을 의미한다.

해설 ②

선에너지전달이란 어떤 매질내에서 하전입자의 충돌로 인해 단위거리당 전달된 에너지이다.

13. 다음 원자질량단위(atomic mass unit, u) 및 질량-에너지 사이의 관계식 설명에서 잘못된 것은?

- ① 1u는 중성상태의 ^{12}C 원자 1개 질량의 1/12로 정의한다.
- ② $1\text{u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{kg}$ 이다.
- ③ ^{235}U 의 원자질량은 235 u이다.
- ④ 1u는 약 931.5 MeV의 에너지에 해당한다.

해설 ③

- 탄소원자 1mole의 질량은 12g이고 이때 원자수는 아보가드로수(N_A) 만큼 존재하므로

$$1\text{u} = \frac{^{12}\text{C}}{12} = \frac{12\text{g}/N_A}{12} = \frac{10^{-3}\text{kg}}{6.023 \times 10^{23}} = 1.66 \times 10^{-27} \text{kg}$$

- ^{235}U 의 원자질량은 약 235.044 u이다.

- $1\text{u} = (1.66 \times 10^{-24} \text{g})(3 \times 10^{10} \text{cm/sec})^2 = 1.49 \times 10^{-3} \text{erg}$

- 따라서 $1 \text{MeV} = 1.6 \times 10^6 \text{erg}$ 이므로 계산하면 1 u는 약 931.5 MeV의 에너지에 해당한다.

14. 다음 중 틀린 것은?

- ① 원자핵 중에는 방사선을 방출하면서 안정한 원자핵으로 변하는 것이 있는데 이 현상을 방사성 붕괴라고 함
- ② 알파붕괴란 원자핵이 알파선을 방출하여 원자번호가 2, 질량수가 4만큼 작은 원자핵으로 변하는 현상
- ③ 베타붕괴란 원자핵이 베타선을 방출하여 질량수 하나만 변하는 현상임
- ④ 원자핵이 여기 상태이면 감마선이 방출되어 기저상태로 떨어지는 현상을 감마선 방출이라 하며, 이때 원자번호와 질량수는 변하지 않음

해설 ③

• 베타붕괴란 원자핵이 베타선을 방출하여 원자번호가 하나 변하는 현상이다.

15. 다음 중 틀린 것은?

- ① 알파붕괴는 원자번호가 82보다 큰 무거운 핵종 중에서 즉, 원자핵내에 잉여 양성자가 있는 경우에 잘 일어남
- ② 대표적인 알파붕괴 핵종으로는 ^{239}Pu , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn 등이 있음
- ③ 베타붕괴의 형식에는 β^- , β^+ , 전자포획(EC) 등 세가지가 있음.
- ④ 대표적인 순수 베타붕괴 핵종으로는 ^{60}Co , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{192}Ir 등이 있음

해설 ④

• 대표적인 순수 베타붕괴 핵종으로는 ^3H , ^{14}C , ^{32}P 등이 있다. ^{60}Co , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{192}Ir 등은 대표적인 감마붕괴 핵종들이다.

16. 원자는 전자, 양자, 중성자의 핵자들로 구성되는데 원자를 구성하고 있는 핵자들의 질량의 합이 핵자들이 서로 분리되어 있을 때의 질량의 합보다 작아진다. 그 이유는 무엇인가?

- ① 자유전자의 질량이 원자에 구속되어 있는 전자의 질량보다 작기 때문에
- ② 양자들간의 쿨롱 반발력이 원자핵내의 양자들 질량을 줄여주기 때문에
- ③ 핵자들이 결합했을 때 양자화 된 각 모멘텀 (angular momentum)이 질량감쇠 효과를 일으키기 때문에
- ④ 질량의 일부가 결합에너지로 바뀌었기 때문에

해설 ④

• 질량-에너지 등가원리 ($E = mc^2$)에 의해 질량이 에너지로 변화될 수 있으며 핵자들의 구성 전 후 질량 차이만큼이 원자를 결합시키는데 사용되기 때문이다.

17. 다음 중 파장이 가장 짧은 전자파는 ?

- ① 라디오파
- ② 가시광선
- ③ 자외선
- ④ 적외선

해설 ③

• 파장의 길이는 에너지에 반비례한다. 에너지가 높을수록 파장은 짧다.

18. 전자의 정지질량을 m_e , 속도를 v , 플랑크 상수를 h 라 하면 전자의 드브로이 파장 λ 를 나타내는 식은 다음 중 어느 것인가?

① $\lambda = \frac{h}{m_e v}$

② $\lambda = \frac{h}{2m_e v}$

③ $\lambda = \frac{h}{m_e v^2}$

④ $\lambda = \frac{h}{2m_e v^2}$

해설 ①

1924년 프랑스의 물리학자 루이 드브로이는 이전까지 물질 입자로만 생각했던 전자와 다른 불연속적인 작은 물질들이 파장이나 진동수와 같은 파동의 특성도 가지고 있다는 의견을 제시했다. 1927년 전자의 파동성은 실험적으로 입증되었으며, 1928년 같은 현상의 파동적 측면과 입자적 측면 간의 상보적인 관계에 대한 이해가 발표되었다.

19. 다음 설명 중 옳지 않은 것은?

- ① 드브로이파를 물질파라고도 한다.
- ② 드브로이파장은 플랑크상수를 운동량으로 나눈 것이다.
- ③ 운동량은 질량과 가속도의 곱으로 나타낸다.
- ④ 파장의 단위는 m(미터)이다.

해설 ③

운동량 = 질량 \times 속도 ($p = mv$)

20. 핵력의 특징에 관한 설명으로 맞는 조립은?

- A. 교환력을 가진다.
- B. 전기적 성질과는 상관없다.
- C. 자연계에 존재하는 힘 중 가장 크다.
- D. 10^{-13} cm 정도에서 작용하는 힘이다.

- ① A, B, C
- ② A, C
- ③ A, B, C, D
- ④ D

해설 ③

- 〈핵력의 특징〉
- 1) 쿨롱력보다 강한 인력
 - 2) 단거리력
 - 3) 하전독립성
 - 4) 교환력
 - 5) 포화성

21. 다음 중 옳지 않은 것은?

- ① 핵력이 미칠 수 있는 범위는 10^{-15}m 정도이다.
- ② 중성자를 가지지 않는 원자핵도 있다.
- ③ 광전자와 관계있는 방사선은 β^- 선이다.
- ④ 전자쌍생성이 일어나면 핵자수는 변화가 없다.

해설 ③

•• ${}^1\text{H}$ 핵은 양성자 1개로만 이루어진 원자핵이다.
 광전자와 관계 있는 방사선은 광자(X선, γ 선)이다.
 전자쌍생성은 1.022 MeV 이상의 에너지를 가진 광자가 원자핵의 쿨롱장의 영향을 받아 소멸되면서 양전자와 음전자를 생성하는 현상으로 핵자수의 변화가 없다.

22. 다음 중 틀린 것은?

- ① 원자핵의 질량수가 큰 무거운 원자핵은 쿨롱력 때문에 중성자의 수가 양성자의 수보다 얼마만큼 적은 쪽이 안정함
- ② 원자번호가 20보다 큰 핵종에서는 양성자보다 중성자가 더 많음
- ③ 약간의 여분 중성자들은 원자번호가 큰 핵종들의 안정성 유지를 위해 꼭 필요함
- ④ 질량수가 20인 핵종까지는 양성자수와 중성자수가 같으면 안정함

해설 ①

• 원자핵의 질량수가 큰 무거운 원자핵은 쿨롱력 때문에 중성자의 수가 양성자의 수보다 얼마만큼 많은 쪽이 안정하다.

23. 다음 표는 입자들을 설명하기 위한 표이다. 가, 나에 들어갈 값을 바르게 연결한 것은?

이름		질량(정지질량)	전하	기호
electron(전자)		m_e	$-e$	β^-, e^-
Proton	\rightarrow nucleon	$1836.1 m_e$	$+e$	p
neutron		$1836.1 m_e$	0	n
$m_e = (\text{가}) \text{ kg}, e = (\text{나}) \text{ coulomb} = 4.8022 \times 10^{-10} \text{ esu}$				

- ① 가 : 9.1×10^{-31} 나 : 1.6×10^{-19}
- ② 가 : 1.6×10^{-27} 나 : 1.6×10^{-19}
- ③ 가 : 9.1×10^{-31} 나 : 1.3×10^{-11}
- ④ 가 : 1.6×10^{-27} 나 : 1.3×10^{-11}

해설 ①

전자의 정지질량에너지는 $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ($9.1 \times 10^{-28} \text{ g}$, 0.000548 amu)이고 전하량은 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 이고 양성자의 정지질량은 $1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ($1.6726 \times 10^{-24} \text{ g}$, 1.007276 amu), 중성자의 정지질량은 $1.67492 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ($1.67492 \times 10^{-24} \text{ g}$, 1.008665 amu) 이다.

24. 다음의 핵반응식 중 핵융합 반응은?

- ① $^{35}\text{Cl} + ^2\text{H} \rightarrow ^{36}\text{Cl} + ^1\text{H}$ ② $^3\text{H} + ^2\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + \text{n}$
- ③ $^{235}\text{U} + \text{n} \rightarrow ^{92}\text{Sr} + ^{142}\text{Xe} + 2\text{n}$ ④ $^{197}\text{Au} + \text{n} \rightarrow ^{198}\text{Au} + \gamma$

해설 ②

가벼운 원자핵 두 개가 합하여 무거운 원자핵이 되는 핵반응을 핵융합(nuclear fusion)이라 한다. 대표적인 핵융합 반응은 다음과 같다.

- ① $\text{D} + \text{D} \rightarrow \text{T} + \text{p} + \text{에너지}(4.04 \text{ MeV})$
- ② $\text{D} + \text{D} \rightarrow ^3\text{He} + \text{n} + \text{에너지}(3.27 \text{ MeV})$
- ③ $\text{D} + \text{T} \rightarrow ^4\text{He} + \text{n} + \text{에너지}(17.58 \text{ MeV})$

25. 다음 설명 중 옳바르지 않은 것은?

- ① 수소원자의 발광스펙트럼 중 가장 짧은 파장은 라이만 계열에 속한다.
- ② 원자핵의 반경은 질량수의 1/3승에 비례하여 증가한다.
- ③ 원자번호와 질량수가 같고 반감기가 다른 원자핵을 이성체라 한다.
- ④ 알파입자를 박막에 입사하는 러더퍼드 산란 단면적은 물질의 원자번호에 비례하여 증가한다.

해설 ④

러더퍼드 산란 단면적은 표적물질의 원자번호의 제곱에 비례하여 증가한다.

26. 원자 및 원자핵의 구조, 크기 및 질량에 다음 설명 중 틀린 것은?

- ① 알려진 안정한 핵종은 약 280종이 있으며, 이중 약 160개의 핵종은 (양성자, 중성자)의 조합이 (짝수, 짝수)인 핵종이며, (홀수, 홀수)인 핵종은 4개 밖에 없다.
- ② ^{15}N 과 ^{16}O 는 동중성자핵(isotone)이고, ^{58}Co 와 ^{60}Co 는 동위원소(isotope)이며, ^3H 와 ^3He 는 동중핵(isobar)이다.
- ③ 원자의 크기는 대략 10^{-8} cm 정도이며 원자핵의 반경은 약 10^{-13} cm 정도이고, 원자핵의 밀도는 그 질량수에 무관하게 거의 일정하며 약 $2 \text{ 억 } \text{톤}/\text{cm}^3$ 정도이다.

- ④ 원자나 원자핵의 무게를 나타내는 데에는 원자질량단위(atomic mass unit)를 사용하며, 1 amu는 ^{16}O 의 질량의 1/16이고, 이를 에너지로 나타내면 931.5 MeV 정도에 해당한다.

해설 ④

- ^{16}O 의 질량의 1/16이 아니라, ^{12}C 의 질량의 1/12이다.

27. 다음 중 옳지 않은 것은?

- ① 자연계에 존재하는 원소 중 불활성인 것은 모두 6개이다.
- ② 불활성 원소는 모두 가스상태이다.
- ③ 계열을 이루지 않는 방사성 핵종들은 대체로 비방사능이 매우 높다.
- ④ 원자질량단위의 기준이 되는 원소는 ^{12}C 이다.

해설 ③

불활성기체 : He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn

계열을 이루지 않는 방사성 핵종들은 대체로 비방사능이 낮다. ^{40}K 의 경우 반감기가 약 13억 년 정도로 대단히 길고, K(칼륨)의 동위원소 중 그 존재비율이 0.0118% 이다. ^{40}K 은 인체에 0.1 μCi 정도 포함되어 있다.

28. 핵이 불안정한 원인으로서는 가장 큰 요인은?

- ① 전자수에 대한 양성자수의 비
- ② 전자수에 대한 중성자수의 비
- ③ 양성자수에 대한 중성자수의 비
- ④ 핵의 질량에 대한 전자의 질량비

해설 ③

원자핵의 안정성 : N/P 비

29. 원자핵의 크기를 좌우하는 것은?

- | | |
|--------|--------|
| ① 전자수 | ② 질량수 |
| ③ 중성자수 | ④ 양성자수 |

해설 ②

원자핵의 반경 $R = R_0 A^{1/3}(\text{fm}) = 1.2 \times 10^{-15} A^{1/3}(\text{m})$ (A : 질량수)

30. 다음 중 옳은 것끼리 연결된 것은?

- A. 물질의 질량은 그 속력이 광속에 가까워질수록 증가한다.
- B. 중성자의 정지질량은 전자질량의 약 1,840배 정도이다.
- C. 원자핵의 질량은 원자질량과 거의 같다.
- D. γ 선 및 X선은 전자파로서 γ 선이 X선보다 파장이 길다.

- ① A, B, C
- ② A, C
- ③ B, D
- ④ A, B, C, D

해설 ①

상대론적으로 물체의 질량은 속도에 따라 변한다. 속도가 크면 클수록 그 질량은 증가 한다. 즉, 속도가 v 일 때의 질량을 m , 속도가 0일 때의 질량을 m_0 라 하면, 운동질량 m 과 정지질량 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}} \quad (c : \text{광속 } (3 \times 10^8 \text{ m/s}))$$

X선과 γ 선의 차이

	X선	γ 선
발생원	원자	핵
스펙트럼 분포	연속	선

31. 다음 문장 중 옳바르게 된 것은?

- A. 양성자의 정지질량은 중성자의 정지질량과 거의 같다.
- B. 1원자 질량단위(1u)는 ^{12}C 원자 질량의 1/12이며, 약 931.5 MeV에 상당한다.
- C. 원자번호는 중성원자의 궤도전자의 수와 같다.
- D. 수소원자의 이온화 에너지는 13.6 MeV이다.

- ① A, B, C
- ② A, C
- ③ B, C
- ④ A, B, C, D

해설 ①

**

수소원자의 이온화 에너지 : 13.6 eV

32. 탄소(^{12}C) 10 g에 존재하는 원자의 갯수는 얼마인가? (아보가드로 수는 6×10^{23} 으로 한다.)

- ① 0.5×10^{24}
- ② 1.0×10^{24}
- ③ 0.5×10^{23}
- ④ 1.0×10^{23}

해설 ①

$$10/12 \times 6 \times 10^{23} = 0.5 \times 10^{24}$$

33. 다음 중 맞는 것을 모은 것은?

- A. Avogadro 수는 $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 이다.
- B. 전자의 정지질량은 0.511 MeV에 상당한다.
- C. 광속도는 진공 중에서 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 이다.
- D. 전자의 전하량은 1 C 이다.

① A, B, C

② A, C

③ A, B

④ A, B, C, D

해설 ①

$$1e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

34. 보기는 ()안에 들어갈 말을 기술하였다. 옳지 않은 것은?

아보가드로수란 1mol속에 (①)개의 원자나 분자수가 존재함을 의미한다. 이를테면 ^{235}U 1mol은 (②)g 이며 이 (②)g 속에는 6.02×10^{23} 개의 원자수가 존재함을 의미한다. H_2O 의 경우 분자량이 18이므로 H_2O 의 1mol은 (③)g 이며 이 속에는 6.02×10^{23} 개의 H_2O 분자수가 존재한다. 또한 물에는 수소(H)의 원자수가 (④)개 존재하며, 산소(O)의 원자수가 6.02×10^{23} 개가 존재한다.

① 6.02×10^{23}

② 235

③ 18

④ 6.02×10^{23}

해설 ④

$$2 \times 6.02 \times 10^{23} \text{ 개}$$

35. 다음의 설명 중 올바른 것끼리 짝지은 것은?

- A. 중성원자의 궤도전자수는 원자번호와 같다.
- B. 무거운 원자핵은 중성자수가 양성자수 보다 많다.
- C. 중성원자의 질량은 원자핵의 양성자와 중성자의 질량과 궤도전자의 질량을 합한 것과 같다.
- D. 동중체 관계에 있는 원자핵은 질량이 서로 같다.

- ① A, B
- ② A, C
- ③ A, D
- ④ B, C

해설 ①

중성원자의 질량은 원자핵의 양성자와 중성자의 질량과 궤도전자의 질량을 합한 것보다 가볍다. 동중체란 질량수가 동일한 핵을 말하는데 원자번호가 다르므로 정지질량이 같지 않다.

36. 원자핵의 구성핵자에 관한 다음의 설명 중 올바른 것은?

- A. 핵자당의 결합에너지가 가장 큰 것은 헬륨이다.
- B. 여러 개의 양성자가 원자핵 내에 존재해도 안정한 것은 핵력이 있기 때문이다.
- C. 중성자는 양성자와 달라서 전하를 가지고 있지 않기 때문에 양성자보다 질량이 작다.
- D. 안정한 핵에서 양성자수와 중성자수가 모두 짝수인 비율은 그 어느 한 쪽이 홀수인 비율보다 많다.

- ① A, B
- ② A, C
- ③ B, C
- ④ B, D

해설 ④

핵자당의 결합에너지가 최대인 것은 철(⁵⁶Fe)이다. 중성자는 전하를 가지고 있지 않으며, 양성자보다 질량이 크다. 안정한 핵의 양성자수와 중성자수의 비율

양성자수	중성자수	핵종수	비 고
짝수	짝수	166	
짝수	홀수	54	
홀수	짝수	56	
홀수	홀수	4	² H, ⁶ Li, ¹⁰ B, ¹⁴ C

37. 다음은 원자핵의 구조와 방사성붕괴의 특성에 관한 설명들이다. 이중 틀린 것은?

- ① 원자번호가 20보다 큰 핵종에는 양성자보다 중성자가 더 많다. 이러한 약간의 여분 중성자들은 원자번호가 큰 핵종들의 안정성 유지를 위해 꼭 필요하다.
- ② 어떤 주어진 숫자의 양성자보다 중성자가 너무 많거나 또는 너무 적은 경우에는, 이 핵종은 불안정해지며 방사성붕괴를 하게 된다.
- ③ 중성자의 숫자가 양성자에 비해 상대적으로 적은 핵종들은 궤도전자 포획과정을 거치거나 베타(-) 붕괴를 하게 된다.
- ④ 베타(-) 붕괴의 경우에 전자의 평균에너지는 최대에너지의 약 0.3배이고, 베타(+) 붕괴의 경우에 전자의 평균에너지는 최대에너지의 약 0.4배이다.

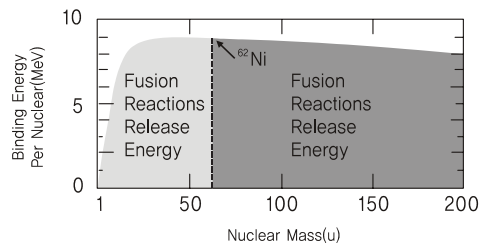
- ② 반감기가 5.26년인 ^{60}Co 의 1g과 같은 크기의 방사능을 갖는 ^{90}Sr 의 질량은 약 8g이다. (^{90}Sr 의 반감기는 28.8년임)
- ③ 핵자당 결합에너지의 크기는 1.0~9.0 MeV 정도이며, 최대값은 원자번호 56인 철(Fe)의 근처에서 나타난다.
- ④ 밀도가 2.17 g/cm^3 인 NaCl 결정체내의 Na와 Cl의 원자밀도(atom density)는 서로 같으며, 이는 $1.12 \times 10^{22}\text{ atoms/cm}^3$ 이다. (NaCl의 분자량은 58.443임)

해설 ④
 ... $1.12 \times 10^{22} \rightarrow 2.24 \times 10^{22}$

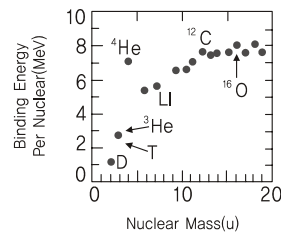
41. 원자핵의 안정도에 대한 설명 중 틀린 것은?

- ① 핵자당 결합에너지가 크면 클수록 안정된 핵이다.
- ② 핵융합으로 생성된 핵은 핵융합이 일어나기 전의 핵들보다 더 안정하다.
- ③ 핵분열로 생성된 핵들은 핵분열이 일어나기 전의 핵보다 더 안정하다.
- ④ 질량수가 큰 원자핵 일수록 안정하다.

해설 ④는 틀림
 ...
 - 임의의 원자핵의 안정도는 결합에너지의 크기에 의해서 결정.
 ※ 결합에너지가 클수록 잘 깨어지지 않으며, 안정된 핵이라 할 수가 있음.
 - 원자핵의 안정성을 비교하는데에는 “단위핵자당 결합에너지”를 이용
 ※ 단위핵자당의 결합에너지 = 원자핵의 결합에너지/핵자수(양성자수 + 중성자수)
 - 핵융합이나 핵분열에서 방출되는 에너지의 경우 반응전의 물질에서보다 반응후 생성물에서 핵자(양성자, 중성자)당의 더 큰 결합에너지를 가지기를 원함, 즉 안정화되려는 방향으로의 반응.
 - 아래 그래프에서 보는 바와 같이 핵융합은 단지 가벼운 원소에서 에너지를 방출하게 되고 핵분열은 무거운 원소에서 에너지를 방출함.



핵자당 결합에너지



가벼운 원소의 결합에너지

42. 다음 중성자선원 중 자발핵분열에 의하여 방출되는 중성자를 이용하는 선원은?

- ① ²⁴¹Am - Be
- ② ²⁵²Cf
- ③ ²²⁶Ra - Be
- ④ ²¹⁰Po - Be

해설 ②

²⁵²Cf 스스로 핵분열을 하는 자발핵분열 현상에 의하여 중성자를 방출하는 핵종이다.

43. 다음 중 천연 방사성 핵종에 대한 설명 중 틀린 것은?

- ① 반감기가 매우 길어서 지구의 연령이 약 10^9 y 정도라고 볼 때에 이들 핵종의 반감기는 10^9 y 이상이 되어야 함을 알 수 있다.
- ② 우라늄, 토륨 및 악티늄 계열과 같이 각각의 방사성 붕괴 계열을 구성하고 있다.
- ③ ⁴⁰K 같이 붕괴 계열을 이루지 않는 방사성 핵종도 있다.
- ④ 원자번호가 93~103인 초우라늄 원소 (Transuranium elements)도 해당된다.

해설 ④

자연계에 존재하는 천연 방사성핵종은 원자번호가 92 이하인 핵종으로서 다음과 같다.

1) 1차 방사성 핵종 : ²³⁸U, ²³²Th 및 ²³⁵U

- 우라늄(Uranium)계열 (²³⁸U) : 구성 원소들의 질량수를 4로 나누면 나머지가 모두 2가 되므로 $4n + 2$ 계열 : ²³⁸U → ... → ²²⁶Ra → ²²²Rn → ... → ²⁰⁶Pb

- 토륨(Thorium)계열 (²³²Th) : $4n$ 계열 ; ²³²Th → ... → ²⁰⁸Pb

- 악티늄(Actinium)계열 (²³⁵U) : $4n + 3$ 계열 ; ²³⁵U → ... → ²⁰⁷Pb

2) 2차 방사성핵종 : 상기 1차 방사성핵종의 붕괴에 의해 생성된 핵종

3) 붕괴 계열을 이루지 않는 1차 방사성 핵종 :

- ⁴⁰K(1.27×10^9 년) : 인간의 몸 속에 보통 100 nCi (2.22×10^5 dpm)가 들어 있음.

4) 우주선에 의해 생성되는 핵종 : ¹⁴C(5,730y) : ¹⁴N (n, p) ¹⁴C

³H(12.34y) : ¹⁴N (n, t) ¹²C 등

44. 다음 중 전자의 결합에너지가 관계하지 않는 것은?

- ① 내부 전환전자의 에너지
- ② 오제전자의 에너지
- ③ 특성 X선의 에너지
- ④ Compton edge의 에너지

해설 ④

Compton edge란 Compton 효과에서 발생하는 Compton 전자의 최대운동에너지를 말하며, 최외각전자나 자유전자와 관계 있다.

45. 다음 중 핵융합에 대한 설명 잘못 설명한 것은?

- ① 핵융합의 가장 대표적인 예가 태양이다.
- ② 핵융합은 무거운 원자핵 일수록 잘 일어난다.
- ③ 핵융합에너지는 우리 인간에게는 잠재적으로 무제한의 에너지원이다.
- ④ 지구상에서 핵융합을 일으키기 위해서는 1억도 정도의 고온이 요구된다.

해설 ②

- 핵융합과정은 태양이나 다른 별들의 동력원
- 핵융합반응에서 가벼운 핵은 보다 더 무거운 핵으로 되기 위해서 결합하거나 융합
- 지구상에서 핵융합을 일으키기 위해서는 1억도 정도의 고온이 필요
 - ※ 이 정도의 온도가 되어야 입자들은 높은 운동에너지를 얻게 되고 따라서 자신들이 가지고 있던 전기적인 반발력을 잃게 됨.
- 핵융합이 일어나게 하기 위해서는 1억도 이상의 고온과 반응이 지속적으로 일어날 수 있도록 이들 입자들을 가두어 두어야 함. 이것이 핵융합의 절대조건
- 만약 핵융합발전소가 실용화가 된다면 중수소와 같은 연료가 풍부하기 때문에 사실상 무한의 에너지를 공급할 수 있음

46. 다음 중 틀린 설명은?

- ① 원자핵 반응의 전후에 있어서 질량수의 합 및 원자번호의 합은 일정하게 보존된다.
- ② $^{14}\text{N}(\alpha, p)^{17}\text{O}$ 은 (α, p) 반응이라고 부른다.
- ③ $^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$ 핵반응에서 ^9Be 과 같이 충격을 받는 원자핵을 표적핵, ^{12}C 와 같이 핵반응의 결과로 생성되는 원자핵을 생성핵이라 한다.
- ④ 고속중성자는 (n, γ) 반응은 일으키기 쉽다.

해설 ④

- 포획(capture)반응의 대표적인 예인 (n, γ) 반응은 복합핵의 에너지가 입자를 방출할 만큼 높지 않을 경우에 여기된 복합핵은 과잉 에너지를 감마선으로 방출하기만 하는 것으로서 에너지가 낮은 열중성자에 의해 일어난다.

47. 원자의 에너지준위에 관한 설명 중 올바른 것은?

- ① K각의 에너지 준위가 가장 높다.
- ② 원자의 여기상태는 매우 안전하다.
- ③ 원자가 기저상태에서 여기상태로 이동할 때 광자가 방출된다.
- ④ 원자는 그것에 고유한 여기상태를 갖는다.

해설 ①

- K각의 에너지 준위가 가장 낮아 안정하다.
여기상태란 에너지를 얻어 들뜬 상태를 말한다.
원자가 여기상태에서 기저상태로 이동할 때 광자가 방출된다.

48. 다음 중 올바른 것끼리 짝지어진 것은?

- A. 중성자의 질량은 양성자와 전자의 질량을 합친 것보다 크다.
- B. ${}^2\text{H}$ 의 핵의 질량은 한 개의 양성자와 한 개의 중성자의 질량을 합한 것보다 크다.
- C. 핵 내의 양성자는 전자를 포획하여 중성자가 될 때가 있다.
- D. 핵 내의 중성자는 β^+ 붕괴하여 양성자가 될 때가 있다.

- ① A, B ② A, C
- ③ C, D ④ B, D

해설 ②

- ${}^2\text{H}$ 의 핵의 질량은 한 개의 양성자와 한 개의 중성자의 질량을 합한 것보다 작으며, 핵 내의 중성자는 β^- 붕괴하여 양성자가 될 때가 있다.

49. 다음 중 선스펙트럼 분포를 가지는 방사선으로 묶은 것은?

- A. α 선 B. β 선
- C. γ 선 D. 제동복사선

- ① A, C ② A, B, C
- ③ B, D ④ A, B, C, D

해설 ①

- 연속스펙트럼 : β 선(β^- , β^+) 제동복사선, 중성자, (반)중성미자, Compton전자, 쌍생성전자

50. 파장 λ 인 광자의 에너지는 파장에 ()하고 진동수에 ()한다. ()안에 알맞은 것은?

- ① 비례, 비례 ② 반비례, 비례
- ③ 비례, 반비례 ④ 반비례, 반비례

해설 ②

•
$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

51. 다음 중 옳지 않은 것은?

- ① 광자는 운동량은 있지만 질량은 가지고 있지 않다.
- ② 질량 m , 속도 v 인 입자의 운동에너지는 mv 이다.
- ③ 전자볼트(eV)는 방사선의 에너지로서 많이 사용한다.
- ④ 질량을 m , 속도를 v 라 하는 입자의 운동량은 h/λ 이다.

해설 ②

광자의 운동량 $p = \frac{E}{c}$

입자의 속력이 광속에 가깝지 않을 때 입자의 운동에너지와 운동량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

입자의 운동에너지 $E = \frac{1}{2}mv^2$

입자의 운동량 $p = mv$

52. 전자의 정지질량 에너지(mc^2)는 0.511 MeV이고 플랑크 상수(h)값은 6.63×10^{-34} 이며 운동 에너지는 총에너지와 정지질량 에너지의 차($T = mc^2(\gamma - 1)$)이다. 전자의 속도를 광속에 가깝다고 가정하고 드브로이 물질파($\lambda = h/p$) 제안을 이용하여 10 MeV 전자의 파장을 바르게 구한 것은?

- ① 2.18×10^{-13} m
- ② 1.18×10^{-12} m
- ③ 1.18×10^{-13} m
- ④ 2.18×10^{-12} m

해설 ③

전자의 운동량은 $p = \gamma mv$ 이다. 문제에서 전자의 속도는 광속에 가깝다고 가정하였으므로 전자의 속도는 $v \approx c$ 이다 따라서 전자의 운동량 p 를 γmc 로 표현할 수 있다. $T = mc^2(\gamma - 1)$ 식을 이용하면 $10 = 0.511(\gamma - 1)$ 로 표현할 수 있고 γ 는 20.6이다. 문제에서 주어진 $\lambda = h/p$ 식을 이용하면

$$\lambda = \frac{h}{(\gamma mc)} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{20.6 \times 9.11 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^8} = 1.18 \times 10^{-13} \text{ m}$$

53. 에너지의 단위가 아닌 것은?

- ① erg
- ② J
- ③ W
- ④ MeV

해설 ③

에너지의 단위 : cal, J, erg, eV, W · s

54. 운동에너지가 10 keV인 전자의 속도를 구하라. (단 전자의 질량은 9.1×10^{-31} kg으로 한다.)

- ① 약 4.75×10^6 m/s ② 약 4.75×10^7 m/s
 ③ 약 5.93×10^6 m/s ④ 약 5.93×10^7 m/s

해설 ④

전자의 에너지가 10 KeV일 때는 상대론적 효과를 고려하지 않아도 되므로

$$K = \frac{1}{2}m_e v^2, \quad v = \sqrt{\frac{2K}{m_e}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2K}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \times 10 \text{keV} \times 1.6 \times 10^{-16} \text{J/keV}}{9.1 \times 10^{-31} \text{kg}}} \approx 5.93 \times 10^7 \text{ m/sec}$$

55. 에너지의 단위를 큰 것부터 나열한 것이다. 올바른 것은?

- ① 1 J > 1 cal > 1 eV > 1 erg ② 1 J > 1 cal > 1 erg > 1 eV
 ③ 1 cal > 1 J > 1 erg > 1 eV ④ 1 cal > 1 J > 1 eV > 1 erg

해설 ③

단위의 통일

- ① 1 cal = 4.2 J ② 1 J
 ③ 1 erg = 10^{-7} J ④ 1 eV = 1.6×10^{-19} J

56. 다음 중 eV와 그 물리량이 다른 것은?

- ① $m_0 c^2$ ② N · m
 ③ $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$ ④ $h \frac{c}{\lambda}$

해설 ③

eV는 에너지의 단위. ①은 정지질량에너지, ②는 힘과 변위의 곱으로 J에 해당, ④는 전자기파의 에너지이며 ③처럼 에너지를 디멘전(Dimension)으로 표시하려면 $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-2}$ 가 되어야 한다.

57. 질량수 15 이상인 원자핵의 핵자당 결합에너지의 범위는?

- ① 1~3 MeV ② 3~5 MeV
 ③ 5~6 MeV ④ 7~8 MeV

해설 ④

58. 다음의 보기 중 두 가지 양을 곱한 단위가 무차원이 되지 않는 것은?

- ① 붕괴상수 × 경과시간
- ② 질량에너지흡수계수 × 질량면밀도
- ③ 계수율 × 시정수
- ④ 반응단면적 × 입자플루언스율

해설 ④

①은 $[\text{sec}^{-1}] \times [\text{sec}]$, ②는 $[\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}] \times [\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}]$, ③은 $[\text{sec}^{-1}] \times [\text{sec}]$,
 ④는 $[\text{cm}^2] \times [\text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}]$ 로 된다.
 따라서 디멘전(Dimension)이 무차원인 것은 ④이다.

59. 다음은 방사능에 대한 설명이다. 틀린 것은?

- ① 방사능의 세기는 단위시간당 방출되는 방사선의 수와 같다.
- ② 같은 원자수일 때 반감기가 짧은 원소의 방사능이 더 크다.
- ③ dps, Bq, Ci는 방사능 세기의 단위이다.
- ④ 방사능의 세기는 시간 경과에 따라 원자 수 감소와 같은 비율로 감소한다.

해설 ④

방사능의 세기는 단위시간당 붕괴되는 원자핵의 수이다. 원자핵 한 개가 붕괴할 때 두 개 이상의 방사선이 방출될 수도 있다.

60. 다음 중 올바른 것끼리 짝지어진 것은?

- A. 반감기 T와 붕괴상수 λ 와의 곱은 0.693이다.
- B. 방사능의 강도 A와 반감기 T와의 관계식은 $A = A_0 e^{-0.693t/T}$ 이다.
- C. 평균수명 τ 는 반감기 T보다 1.44배 크다.
- D. 평균수명 τ 와 붕괴상수의 곱은 1.44이다.

- ① A, B, C
- ② A, C
- ③ B, D
- ④ A, B, C, D

해설 ①

$T\lambda = 0.693$
 $A = A_0 e^{-0.693t/T}$
 평균수명 $\tau = 1.44 T$
 $\tau\lambda = 1$

해설 ④

•• 비방사능(Specific Activity) : 단위질량당 방사능

$$SA = \lambda N_{1g} (N_{1g} = 1g \text{ 일 때 원자의 개수}) = \lambda \frac{N_A}{M} = \frac{N_A}{TM}$$

65. ^{14}C 의 비방사능은? (반감기 5730년)

- ① 1.65×10^{11} Bq/g ② 1.65×10^{10} Bq/g,
 ③ 44.6 Bq/g ④ 4.46 Bq/g,

해설 ①

•• - 반감기가 T이고 원자질량(atomic weight)이 M인 물질의 비방사능(specific activity, SA)는

$$SA = N\lambda = \frac{6.02 \times 10^{23} \times \lambda}{M} = \frac{6.02 \times 10^{23} \times 0.693}{M \times T} = \frac{4.17 \times 10^{23}}{MT}$$

여기서 N은 단위 질량당 원자의 수로서 1g일때 $N = 6.02 \times 10^{23}/M$

- 따라서 위의 수식에 따라 계산을 하면

$$SA = \frac{4.17 \times 10^{23}}{14 \times 5730 \times 365 \times 24 \times 3600} = 1.65 \times 10^{11} \text{ Bq/g}$$

66. 어떤 연구원이 연구를 위해 ^{95}Zr (반감기 65일)를 사용하였는데 이 ^{95}Zr 이 ^{60}Co (반감기 5.24년)에 오염된 사실을 알게 되었다. 초기 오염비 (Co/Zr)가 0.012라고 할 때 두 물질의 방사능이 같아지는 것은 얼마가 지난 후가 되겠는가?

- ① 290일 ② 340일
 ③ 360일 ④ 430일

해설 ④

•• $A = A_0 e^{-\lambda t}$ 이고, $A = 0.012$, $A_0 = 1$ 이라고 할 때 두 핵종의 붕괴상수의 차이를 이용하여 문제를 풀 수 있다.

$\lambda = \ln 2 / 65 \text{ days} = -\ln 2 / 1923 \text{ days} = -0.0103 \text{ day}^{-1}$ 이고 시간 t에 대해서 풀면 :

$$\ln(0.012/1) / -0.0103 \text{ day}^{-1} = -4.42 / -0.0103 \text{ day}^{-1} = 429 \text{ days}$$

67. 원자핵 내의 중성자/양성자 비가 클 때 방출되는 방사선은?

- ① α 선 ② 양전자(β^+)
 ③ 음전자(β^-) ④ K전자포획

해설 ③

• β^- 붕괴는 중성자과잉핵종에서 발생한다.

68. 동일한 방사능을 가진 ^{192}Ir , ^{60}Co , ^{137}Cs 중 원자수가 큰 순서대로 나열한 것은?

- ① $^{137}\text{Cs} > ^{60}\text{Co} > ^{192}\text{Ir}$ ② $^{192}\text{Ir} > ^{60}\text{Co} > ^{137}\text{Cs}$
 ③ $^{137}\text{Cs} > ^{192}\text{Ir} > ^{60}\text{Co}$ ④ $^{192}\text{Ir} > ^{137}\text{Cs} > ^{60}\text{Co}$

해설 ②

$$A_{\text{Ir}} = A_{\text{Co}} = A_{\text{Cs}}$$

$$\lambda_{\text{Ir}} N_{\text{Ir}} = \lambda_{\text{Co}} N_{\text{Co}} = \lambda_{\text{Cs}} N_{\text{Cs}} = k$$

$$N_{\text{Ir}} = \frac{k}{\lambda_{\text{Ir}}} \propto \frac{1}{74.3\text{d}}$$

$$N_{\text{Co}} = \frac{k}{\lambda_{\text{Co}}} \propto \frac{1}{5.3\text{y} \times 365\text{d/y}}$$

$$N_{\text{Cs}} = \frac{k}{\lambda_{\text{Cs}}} \propto \frac{1}{30\text{y} \times 365\text{d/y}}$$

69. β^- 붕괴에 관한 설명 중 틀린 것은?

- ① 질량수는 불변이다. ② 중성자수가 증가한다.
 ③ 양성자수가 증가한다. ④ 핵자수는 변화가 없다.

해설 ②

$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$
 원자번호가 1증가한다.
 중성자가 양성자로 바뀌므로 핵자수(질량수)에는 변화가 없다.

70. β^+ 선의 설명에 대하여 맞는 것은?

- A. β^+ 입자를 양전자라고도 한다.
 B. β^+ 선은 그 수명이 β^- 선과 같다.
 C. β^+ 입자는 에너지를 잃은 후 음전자와 결합한다.
 D. β^+ 입자가 음전자와 소멸할 경우 발생하는 광자는 서로 반대의 방향으로 방출된다.

- ① A, B, C ② A, C, D
 ③ A, D ④ A, B, C, D

해설 ②

71. 다음 중 옳은 것끼리 연결된 것은?

- A. α 붕괴시에는 원자번호 2 감소, 질량수 4 감소한다.
- B. β^+ 붕괴시에는 원자번호는 1 증가한다.
- C. γ 붕괴시에는 원자번호나 질량수에는 변화가 없다.
- D. 궤도전자 포획시에는 원자번호 1 증가한다.

- ① A, B, C
- ② A, C
- ③ B, D
- ④ D

해설 ②

β^+ 붕괴나 궤도전자 포획시에는 원자번호는 1 감소한다.

72. 원자번호 하나가 감소하는 반응은?

- ① 중성자 방출
- ② EC
- ③ γ 전이
- ④ β^- 붕괴

해설 ②

원자번호가 1 감소하는 붕괴는 전자포획(EC)과 β^+ 붕괴이다.

73. 다음 설명 중 옳바른 것으로 연결된 것은?

- A. β^+ 붕괴와 EC의 핵자변화는 같다.
- B. EC가 일어나면 원자는 여기상태가 된다.
- C. EC 후에는 반드시 β^+ 붕괴를 한다.
- D. EC 후 Auger effect가 일어날 수 있다.

- ① A, B, D
- ② D
- ③ B, D
- ④ A, C

해설 ①

74. 양성자에 비해 중성자의 수가 상대적으로 매우 많은 방사성핵종에서 가장 일어나기 쉬운 붕괴는?

- ① 베타(+)-붕괴
- ② 베타(-)-붕괴

③ 전자포획

④ 알파붕괴

해설 ②

• 원자핵속의 n가 p로 변하여 음전자를 방출하고 다른 핵종으로 변하면서 원자번호가 1 증가하고, 음전자 방출이 있는 붕괴가 β^- 붕괴이다.

75. 다음의 연결에서 직접 관련이 없는 것은?

① β^- 붕괴 - 내부전환전자

② β^- 선 - 중성미자

③ X선 - 원자준위

④ γ 선 - 원자핵준위

해설 ①

• 내부전환전자는 불안정한 원자핵에서 방출되는 γ 선이 에너지를 궤도전자에 주어 전자를 튀어나가게 하는 현상이다.

76. β^+ 선과 물질과의 상호작용에 관한 설명 중 옳바르지 않은 것은?

① β^+ 선의 차폐는 같은 에너지의 β^- 선의 차폐와 똑같은 방법을 적용할 수 있다.

② β^+ 선은 매질속에서 감속되어 소멸방사선을 방출한다.

③ β^+ 선도 제동복사선을 방출할 수 있다.

④ β^+ 선의 공기에 대한 W 값은 알파선과 거의 같다.

해설 ①

• β^+ 선은 물질내에서 전자와 결합하여 소멸방사선인 감마선을 방출하므로 감마선에 대한 차폐를 고려해야 한다.

77. 다음 중 붕괴도에 나타나는 사항이 아닌 것은?

① 핵종의 종류 및 반감기

② 핵종의 화학적 성질

③ 방출방사선

④ 각 방사선의 방출순서

해설 ②

• 붕괴도에 나타내야 하는 상황

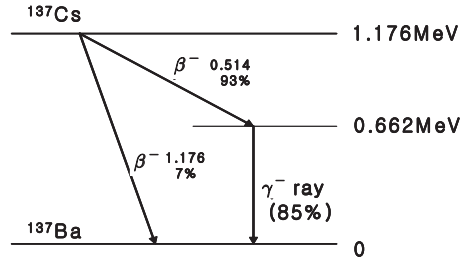
① 핵종의 종류 및 반감기

② 방사성붕괴의 방식 및 방출방사선 (붕괴방식은 α 붕괴, β^+ 붕괴, EC는 좌하방향(\swarrow), β^- 붕괴의 경우 우하방향(\searrow), γ 전이, 핵이성체전이, 내부전환의 경우 직하방향(\downarrow)으로 표시한다.)

③ 각 방사선의 방출순서

④ 각 방사선의 에너지 및 방출강도

78. 다음 붕괴도식도(decay scheme)의 설명 중 틀린 것은?



- ① ^{137}Cs 은 β^- 붕괴를 하면서 662 keV의 감마선을 반드시 1개 방출한다.
- ② 내부전환(internal conversion)은 8% 정도 일어난다.
- ③ ^{137}Cs 은 β^- 붕괴를 하면서 93% 정도는 ^{137}Ba 의 준안정상태(metastable state)로 된 후 다시 안정상태로 된다.
- ④ ^{137}Ba 은 방사성동위원소가 아니라 안정원소이다.

해설 ①이 틀림

- 감마선의 방출률은 85%로서 ^{137}Cs 은 β^- 붕괴를 하면서 모두 662 keV의 감마선을 방출하는 것은 아니다. 다시 말해서 ^{137}Ba 불안정한 원자핵은 662 keV의 감마선을 방출해서 안정상태로 될 수 있지만(85%), 내부전환에 의해서도 안정상태로 되기 때문에 붕괴시마다 1개의 감마선을 방출한다고는 할 수 없다.
- 내부전환(internal conversion)은 $93\% - 85\% = 8\%$ 가 일어난다.
- ^{137}Cs 은 β^- 붕괴를 해서 곧바로 ^{137}Ba 의 안정핵으로 전환되는 확률이 7%이고 나머지 93%는 ^{137}Ba 의 불안정한 상태를 수 msec유지하다가 안정핵으로 전환된다.

79. 다음 중 전자포획 과정을 바르게 표현한 것은?

- ① ${}^A_Z\text{M} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{M} + {}^4_2\text{He}$
- ② ${}^A_Z\text{M} \rightarrow {}^A_{Z+1}\text{M} + {}^0_{-1}\text{e}$
- ③ ${}^A_Z\text{M} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{M} + {}^0_1\text{e}$
- ④ ${}^A_Z\text{M} + {}^0_{-1}\text{e} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{M} + \text{X}$

해설 ④

- ① ${}^A_Z\text{M} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{M} + {}^4_2\text{He}$ 는 알파붕괴이고
- ② ${}^A_Z\text{M} \rightarrow {}^A_{Z+1}\text{M} + {}^0_{-1}\text{e}$ 는 베타(-)붕괴이며
- ③ ${}^A_Z\text{M} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{M} + {}^0_1\text{e}$ 은 베타(+)붕괴이고
- ④ ${}^A_Z\text{M} + {}^0_{-1}\text{e} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{M} + \text{X}$ 는 전자포획이다.

80. 원자핵의 붕괴 및 방사선과 물질과의 상호작용에 대한 다음 설명 중 틀린 것은 ?

- ① 베타붕괴 중 β^+ 붕괴란 원자핵속의 양성자가 중성자로 변하여 양전자를 방출하는 것이고 원자번호가 1 만큼 감소하게 되며, 이 붕괴가 일어나기 위한 조건으로서 원자핵은 두 개의 전자에 해당하는 잉여 질량 이상을 가지고 있어야 한다.
- ② 전자포획이라 함은 원자핵속의 양성자가 궤도전자를 포획하여 중성자로 변하는 현상으로, 이후 연속하여 연속스펙트럼의 중성미자, 특성X선 및 오제전자가 방출될 수 있다.
- ③ 알파선이나 베타선과 같은 하전입자는 주로 궤도전자와의 비탄성충돌로써 그 에너지의 대부분을 상실하게 되는데, 이때 여기 또는 전리 현상이 일어나며, 이때 작용하는 힘은 쿨롱(Coulomb)력이다.
- ④ 알파선의 경로에 따른 전리도의 변화는 알파선의 운동에너지가 점차 적어짐에 따라 증가하다가 비정의 끝부분에서 피크를 이룬 이후 급격히 떨어지는 바, 이는 비정의 끝 부분에서 가장 많은 에너지를 매질에 전달하게 되는 것을 의미한다.

해설 ②

연속스펙트럼의 중성미자가 아니라, 선스펙트럼의 중성미자이다.

81. 다음 붕괴과정 중에서 양전자 방출에 해당하는 예는 어느 것인가?

- ① ${}_{88}^{226}\text{Ra} \rightarrow {}_{86}^{222}\text{Rn} + {}_2^4\text{He}$
- ② ${}_{35}^{80}\text{Br} \rightarrow {}_{36}^{80}\text{Kr}$
- ③ ${}_{35}^{80}\text{Br} \rightarrow {}_{34}^{80}\text{Se}$
- ④ ${}_{35}^{80}\text{Br} + e \rightarrow {}_{34}^{80}\text{Se}$

해설 ③

- 알파붕괴 : 원자핵이 알파선을 방출하여 원자번호 Z가 2, 질량수 A가 4만큼 작은 원자핵으로 변하는 현상
- 알파 입자는 ${}_2^4\text{He}$ 의 원자핵이므로 알파 붕괴의 과정은 ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4\text{He}$
- 베타 붕괴 : 원자핵이 베타선을 방출하여 원자번호 하나만 변하는 현상 즉, 질량수는 변하지 않는다.
- 베타 붕괴의 형식에는 다음의 세 가지가 있다.
 - 1) 음전자 방출 (β^- 붕괴) : 원자핵 속의 n가 p로 변하여 음전자를 방출하고 다른 핵종으로 변하는 것. (원자번호 1 증가) ($n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$)
 ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY$ (예 : ${}_{35}^{80}\text{Br} \rightarrow {}_{36}^{80}\text{Kr}$) (※ $\bar{\nu}$: 반중성미자 (anti-neutrino))
 - 2) 양전자 방출 (β^+ 붕괴) : 원자핵 속의 p가 n로 변하여 양전자를 방출하고 다른 핵종으로 변하는 것. (원자번호 1 감소) ($p \rightarrow n + e^+ + \nu$)
 ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY$ (예 : ${}_{35}^{80}\text{Br} \rightarrow {}_{34}^{80}\text{Se}$) (※ ν : 중성미자 (neutrino))
 - 3) 전자포획 (electron capture, EC) : 원자핵속의 p가 궤도전자를 포획하여 n로 변하고 X 선을 방출하는 것. (원자번호 1 감소) ($p + e^- \rightarrow n + \nu$)
 ${}_Z^AX + e \rightarrow {}_{Z-1}^AY$ (예 : ${}_{35}^{80}\text{Br} + e \rightarrow {}_{34}^{80}\text{Se}$)

82. X가 어떤 붕괴 후 ${}_{Z-3}^{A-8}Y$ 으로 되었다. 다음의 어떤 붕괴 후 생성된다고 예상되는가?

- ① α 붕괴 1, β^- 붕괴 2
- ② α 붕괴 2, γ 전이 1
- ③ α 붕괴 2, β^- 붕괴 1
- ④ α 붕괴 1, γ 전이 2

해설 ③

α 붕괴를 2번 할 경우 ${}_{Z-4}^{A-8}X'$ 가 될 것이고 그 후 β^- 붕괴(원자번호 1 증가)를 하여 ${}_{Z-3}^{A-8}Y$ 가 된 것이다.

83. 다음 중 옳지 않은 것은?

- ① 내부전환과 오제효과와 차이점은 발생원이다.
- ② 핵이성체 전이와 γ 붕괴는 특정한 에너지를 방출한다.
- ③ EC와 β^+ 붕괴는 원자번호가 1 감소하는 붕괴이다.
- ④ β^- 선과 β^+ 선은 원자의 궤도에서 나오는 전자의 흐름이다.

해설 ④

β^- 붕괴와 β^+ 붕괴는 핵에서 발생하는 방사선으로 전자와 동일한 특성을 가진다.

84. 어떤 β 선원을 다음 재료로 제작된 용기에 봉입하였을 때 제동방사선의 발생률이 큰 순서로 나열된 것은?

- ① 플라스틱 - 납 - 알루미늄 - 철
- ② 철 - 납 - 플라스틱 - 알루미늄
- ③ 납 - 철 - 알루미늄 - 플라스틱
- ④ 철 - 납 - 알루미늄 - 플라스틱

해설 ③

원자번호가 클수록 제동복사 비율이 크다.

85. 방사선은 원자핵이나 전자의 궤도로부터 방출된다. 원자핵으로부터 방출되는 방사선이 아닌 것은?

- ① α 입자
- ② X선
- ③ β 입자
- ④ γ 선

해설 ②

86. β 선이 방출하는 에너지 스펙트럼은 연속성을 띤다. 다음 중 그 이유로 타당한 것은?

- ① β 선은 항상 γ 선과 함께 방출되기 때문이다.
- ② β 선은 항상 중성미자(neutrino)와 함께 방출되기 때문이다.
- ③ β 선은 하전입자이기 때문이다.
- ④ β 선은 원자핵으로부터 방출되기 때문이다.

해설 ②

87. X선에 의하여 직접 또는 2차적으로 생성되지 않는 전자는?

- ① 내부전환전자 ② 쌍생성전자
- ③ Compton 전자 ④ 오제전자

해설 ①

내부전환전자는 핵에서 방출되는 γ 선에 의하여 궤도전자가 방출된 것이다.

88. 다음 중 에너지가 선스펙트럼이 아닌 것은?

- ① α 선 ② 내부전환전자
- ③ 오제전자 ④ β 선

해설 ④

베타 붕괴에서는 붕괴에너지가 중성미자와 베타 입자에 임의로 배분되므로 베타선의 에너지는 0에서 최대값에 이르는 다양한 값의 에너지를 가지는 연속스펙트럼이 된다.

89. 다음 중 오제전자를 발생시키는 방사선은?

- ① β 선 ② γ 선
- ③ 특성X선 ④ α 선

해설 ③

90. 다음 중 옳지 않은 것은?

- ① α 선의 본질은 ^4He 핵의 흐름이다.
- ② 원자핵 근방에서 편향될 때 발생하는 X선은 특성 X선이다.
- ③ 1 b은 10^{-24} cm^2 이다.

④ 1u는 원자질량단위로서 931.5 MeV 정도이다.

해설 ②

원자핵 근방에서 편향될 때 발생하는 X선은 제동복사선이다.

91. 다음 중 Auger 전자와 관련 있는 것끼리 바르게 짝지은 것은?

① 양성자과잉 - β^- 붕괴

② γ 선 방출 - 내부 전환

③ 전자포획 - 특성 X선

④ 원자핵불안정 - 핵이성체전이

해설 ③

92. 다음 중 올바른 것은 어느 것인가?

- A. 연속 X선의 최단파장은 관전압의 최대치에 반비례한다.
- B. 관전류가 증가하면 X선의 양이 증가된다.
- C. 관전압은 선질을 결정한다.
- D. 관전압이 증가하면 특성X선의 에너지는 변한다.

① A, B, C

② A, C

③ B, D

④ A, B, C, D

해설 ①

관전압이 증가하더라도 특성X선의 에너지는 변하지 않는다.

93. 필라멘트 전류를 증가시키는데 따라 X선량이 증가하는 이유는?

① 관전압이 낮아지기 때문이다.

② 필라멘트에서 열전자의 운동에너지가 증가하기 때문이다.

③ X선관의 진공도가 좋아지기 때문이다.

④ 필라멘트에서 발생하는 열전자의 수가 증가하기 때문이다.

해설 ④

94. Moseley의 법칙에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 특성X선의 진동수는 물질의 원자번호에 비례한다.

- ② 특성X선의 진동수는 물질의 원자번호에 반비례한다.
- ③ 특성X선의 진동수는 물질의 원자번호의 제곱에 비례한다.
- ④ 특성X선의 진동수는 물질의 원자번호의 5승에 비례한다.

해설 ③

95. 다음 중 특성 X선이 발생되지 않는 현상은?

- ① 콤프턴 효과
- ② 광전효과
- ③ 내부전환
- ④ 궤도전자 포획

해설 ①

콤프턴 효과는 핵 부근에서는 일어나지 않고, 전자기파 방사선이 결합에너지가 약한 물질 원자의 외각 전자나 자유전자와 상호작용하는 것이므로 콤프턴 효과가 일어나더라도 특성 X선이 방출되지 않는다. 반면에 광전효과, 내부전환, 궤도 전자포획은 주로 결합에너지가 큰 K-궤도 전자와 상호작용하는 것이다.

96. X선 흡수에 대한 다음 설명 중 올바른 것은?

- A. X선 에너지가 클수록 발생하는 2차 전자의 에너지도 커진다.
- B. 흡수체의 원자번호가 클수록 흡수는 커진다.
- C. X선의 에너지가 작을수록 흡수는 커진다.
- D. X선 에너지는 선스펙트럼 분포를 나타낸다.

- ① A, B, C
- ② A, C
- ③ B, D
- ④ A, B, C, D

해설 ①

97. 연속 X선의 발생에 대한 설명 중 올바른 것은?

- ① X선과 핵의 쿨롱장과의 상호작용으로 발생된다.
- ② X선과 궤도전자의 충돌로 발생된다.
- ③ 가속전자와 핵의 쿨롱장과의 상호작용으로 발생된다.
- ④ 가속전자와 에너지와는 관계없다.

해설 ③

98. X선에 관한 다음의 설명 중 옳은 것은?

- A. 특성X선은 백색X선이라고 한다.
- B. K각 전자가 공위로 되었을 때 발생하는 특성X선을 K특성X선이라 한다.
- C. 특성X선의 에너지는 target 물질에 따라 고유하다.
- D. 연속X선의 최단파장(\AA)과 관전압 파고치(kV)와의 곱은 12.4로 일정하다.

- ① A, B, C
- ② A, C
- ③ B, D
- ④ B, C, D

해설 ④

Bremsstrahlung = 백색X선 = 저지X선 = 제동복사선 = 연속X선

99. 다음 중 올바른 설명의 조립은?

- A. X선은 파동과 입자의 두 가지 성질을 가진다.
- B. X선의 최단파장과 관전압은 서로 반비례한다.
- C. X선의 에너지는 진동수에 비례한다.
- D. X선은 전하를 가지고 있지 않다.

- ① A, B, C
- ② A, C
- ③ B, D
- ④ A, B, C, D

해설 ④

100. 양전자에 관한 다음 설명 중 올바른 것끼리 짝지은 것은?

- A. 양전자의 매질 속에 대한 에너지 손실률은 음전자와 거의 같다.
- B. 양전자는 에너지가 높을수록 소멸하기 쉽다.
- C. 양전자는 음전자와 결합하여 소멸한다.
- D. 양전자의 소멸에서는 에너지보존법칙은 성립하지만 운동량보존법칙은 성립하지 않는다.

- ① A, B
- ② A, C
- ③ B, C
- ④ B, D

해설 ②

양전자는 에너지를 모두 잃은 후 소멸한다.
 양전자의 소멸에서는 에너지보존법칙과 운동량보존법칙이 성립한다.

101. 다음의 설명 중 올바른 것은?

- ① 원자번호는 원자핵 내의 중성자와 같다.
- ② γ 선 보다 파장이 긴 전자파를 X선이라 부른다.
- ③ 특성X선은 원자에서 방출된다.
- ④ K-X선의 파장은 원자번호의 감소와 함께 짧아진다.

해설 ③

원자번호는 원자핵 내의 양성자수와 같다.

원자번호가 감소하면 최내각 궤도전자의 구속에너지가 작아지기 때문에, K-X선의 파장은 길어진다. (모즐리법칙 : $\frac{1}{\sqrt{\gamma}} \propto Z$)

102. 다음의 밀봉선원 중 차폐시의 제동방사선에 가장 주의를 해야 하는 것은?

- ① ^{63}Ni
- ② ^{85}Kr
- ③ ^{90}Sr
- ④ ^{147}Pm

해설 ③

^{90}Sr 은 방사평형상태에 있는 ^{90}Y (β 선에너지 : 2.27 MeV)의 에너지가 크기 때문에 제동복사선의 발생에 유의해야 한다.

103. 다음의 설명 중 올바른 것끼리 짝지은 것은?

- A. 내부전환은 원자번호가 작을수록 일어나기 쉽다.
- B. 내부전환전자의 에너지는 선스펙트럼을 나타낸다.
- C. 오제전자의 에너지는 선스펙트럼을 나타낸다.
- D. 내부전환에 수반하여 오제전자는 방출되지 않는다.

- ① A, B
- ② A, C
- ③ B, C
- ④ C, D

해설 ③

내부전환은 원자번호가 높을수록, γ 선의 에너지가 작을수록 잘 일어난다. 내부전환이 일어나고 난 후 특성X선이 발생되며, 따라서 오제전자가 발생할 수 있다.

104. 다음의 설명 중 틀린 것은?

- ① 1 MeV의 전자선은 전리방사선이다.
- ② 저지능은 하전입자 방사선의 물질과의 상호작용 정도를 나타낸다.
- ③ X선 중에서 제동방사선은 항상 일정한 에너지를 갖는다.
- ④ α 입자는 ^4He 의 원자핵의 흐름이다.

해설 ③

• 일정한 에너지를 갖는 엑스선은 특성엑스선이다.

105. ^{90}Sr 은 전자파를 방출하지 않는데도 경우에 따라서는 전자파 방출체처럼 취급한다. 어떤 종류의 방사선 방출 때문인가?

- ① 오제전자
- ② 내부전환전자
- ③ 전자선
- ④ 제동방사선

해설 ④

• ^{90}Sr 과 ^{90}Y 은 영속방사평형을 이루는 대표적인 핵종이다. ^{90}Sr 에서 방출되는 β 선의 최대에너지는 0.54 MeV, ^{90}Y 은 2.27 MeV이다. 고에너지의 β 선이 원자번호가 큰 원자핵 주위를 지날 때 전장에 의해 β 선의 운동에너지가 약해지면서 제동복사선을 방출하게 된다.

(참고)

^{90}Sr 은 대표적인 항공성핵종이기도 한다. 체내에 섭취될 경우 뼈의 성장을 담당하는 골단부에 침착되어 뼈의 성장을 저해하고 골수장해를 유발하여 백혈병으로 발전될 수 있다.

106. 제동복사선의 발생과 가장 관련 있는 방사선은?

- ① α 선
- ② γ 선
- ③ β 선
- ④ 중성자선

해설 ③

• 제동복사선은 가벼운 하전입자에서 많이 발생하기 때문에 β 선이나 전자와 관계 있다. 제동복사선의 발생비율은 다음 공식에 의해 계산된다.

(Z : 표적물질의 원자번호, E_{max} : 입사입자의 에너지(MeV))

$$f = 3.5 \times 10^{-4} \cdot E_{\text{max}}$$

107. 다음 중 특정에너지의 전자를 방출하는 과정이 아닌 것은?

- ① 내부전환
- ② 광전효과
- ③ 전자포획 후의 오제전자 방출
- ④ 전자쌍생성시 방출되는 양전자

해설 ④

β선, 제동복사선, 중성자선, (반)중성미자, Compton 전자, 전자쌍생성시 방출되는 전자는 연속스펙트럼분포를 가진다.

108. X선에 관한 다음의 설명 중 올바르게 짝지은 것은?

- | |
|--|
| <p>A. 같은 원자에서 방출되는 K특성X선의 에너지는 L특성 X선의 에너지보다 작다.</p> <p>B. 궤도전자가 보다 낮은 에너지 준위의 궤도에 옮겨갈 때 특성X선이 방출된다.</p> <p>C. 전자의 제동복사현상으로 발생하는 X선의 에너지는 전자의 운동에너지 이하이다.</p> <p>D. 특성X선의 파장은 표적물의 원자번호에 비례한다.</p> |
|--|

① A, B

② A, C

③ B, C

④ C, D

해설 ③

K특성X선이란 K각 궤도(n = 1)로 전자가 천이하면서 발생하는 특성X선이고 L특성X선이란 L 각 궤도(n = 2)로 전자가 천이하면서 발생하는 특성X선이므로 동일한 위치에서 천이 되는 전자에 의해 방출되는 특성X선의 에너지는 K특성X선이 크다.

모즐리법칙 : $\sqrt{\nu} \propto Z$

109. γ선과 물질의 상호작용 중 낮은 에너지에서 주로 일어나는 반응은?

① 광전효과

② Compton 효과

③ 쌍전자생성

④ 광핵반응

해설 ①

광전효과는 입사 γ선의 에너지가 낮을수록, 상호작용하는 물질의 원자번호가 높을수록 잘 일어난다.

110. 소멸 γ선의 총 에너지는 몇 keV인가?

① 256 keV

② 511 keV

③ 662 keV

④ 1022 keV

해설 ④

121. 광자와 물질과의 상호작용에 관한 설명 중 올바른 것끼리 짝지은 것은?

- A. 광자의 감쇠비율은 선감쇠계수 또는 질량감쇠계수로서 나타낸다.
- B. 광자의 평균자유행로는 평행선속 내의 광자수가 1/e로 감소할 때까지의 거리에 상당한다.
- C. 감쇠계수는 광전효과와 Compton 효과에 의존하지만, 전자쌍생성에는 의존하지 않는다.
- D. 물질의 질량감쇠계수는 그 물질의 상태에 따라 다르다.

- ① A, B
- ② A, C
- ③ B, C
- ④ B, D

해설 ①

...

감쇠계수는 광전효과, Compton 효과, 전자쌍생성 등을 모두 고려한 양이다.

122. 금박에 1.6 MeV의 γ 선을 쬐었더니 1.52 MeV의 전자가 검출되었다. 이 전자의 방출과정은 다음 중 어느 것인가? (단, K궤도전자의 결합에너지는 80 keV이다.)

- ① 광전효과
- ② Compton 효과
- ③ 전자쌍생성
- ④ 제동방사

해설 ①

..

123. Compton 효과에 의해서 반도체자에 가장 많은 에너지를 전달할 수 있는 산란각은?

- ① 0°
- ② 45°
- ③ 90°
- ④ 180°

해설 ④

124. 1.2 MeV의 γ 선과 납 원자와의 상호관계에 있어서 옳은 것은? (단, 납 원자의 K각 전자의 결합에너지는 26 keV이다.)

- A. K각으로부터 방출된 광전자의 운동에너지는 1.174 MeV이다.
- B. 전자쌍생성으로 방출된 음, 양전자의 전 운동에너지는 0.178 MeV이다.
- C. Compton 전자의 최대에너지는 0.99 MeV이다.
- D. 전자쌍생성이 일어날 수 있다.

- ① A, B, C, D
- ② A, B, C

③ B, D

④ D

해설 ①

...

A. 광전효과에 의해 발생하는 광전자의 운동에너지는 다음과 같다.

$$1.2 - 0.026 = 1.174 \text{ MeV}$$

B. 전자쌍생성에 의해 발생하는 음전자와 양전자의 총 운동에너지의 합은 다음과 같다.

$$1.2 - 1.022 = 0.178 \text{ MeV}$$

C. Compton 전자의 최대에너지(산란각 = 180°일 때)

$$E_{C(\text{MAX})} = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{m_e c^2}{2E_\gamma}} = \frac{1.2}{1 + \frac{0.511}{2 \times 1.2}} = 0.99 \text{ MeV}$$

D. γ 선의 에너지가 1.022 MeV이상이므로 전자쌍생성은 일어날 수 있다.

125. 2 MeV의 γ 선이 전자쌍생성을 일으켰을 때 반응을 일으키는 에너지와 2개의 생성전자가 가지고 나가는 운동에너지의 합으로 옳은 것은?

① 1.022 MeV, 0.978 MeV

② 1.022 MeV, 0.511 MeV

③ 1.5 MeV, 0.5 MeV

④ 0.98 MeV, 0.98 MeV

해설 ①

...

126. 방사성 핵종에서 방출된 γ 선의 평균에너지가 1.322 MeV이다. 전자쌍생성을 일으켰다면, 이때 양전자 또는 음전자가 에너지를 등분배하여 방출되었다고 한다면 1개가 얻을 수 있는 운동에너지는?

① 0.15 MeV

② 0.3 MeV

③ 0.51 MeV

④ 0.66 MeV

해설 ①

...

전자쌍 생성시 방출되는 두 전자의 운동에너지는 반드시 등분배 되지 않으므로 $0 \sim (E_\gamma - 1.02)$ MeV 까지의 연속 스펙트럼분포를 가진다.

음과 양전자의 운동에너지 = $1.322 - 1.022 = 0.3 \text{ MeV}$

등분배 되었다고 가정하였으므로 0.15 MeV이다.

127. 다음 중 옳지 않은 것은?

① 핵 속의 양성자수가 중성자수보다 적어서 불안정할 때 β^- 붕괴가 발생한다.

② 광전효과는 원자번호가 낮을수록 잘 일어난다.

- ③ 전자쌍생성과 소멸복사는 질량과 에너지의 등가성을 나타내는 대표적인 예이다.
- ④ 제동복사는 흡수체의 원자번호가 클수록 잘 일어난다.

해설 ②

128. 가장 큰 공기 중 비전리도를 가지는 것은?

- ① 1 MeV α 선
- ② 1 MeV 중성자선
- ③ 2 MeV β 선
- ④ 2 MeV γ 선

해설 ①

$LET \propto \frac{q^2}{v^2}$ (LET가 클수록 비전리도가 크다.)

129. 다음 여러가지 단위 중 주어진 하전입자가 여러 종류의 매질을 통과 시 최대비정(range)이 거의 변하지 않도록 설정된 단위는?

- ① mm
- ② g/cm^2
- ③ μ
- ④ kg/m^3

해설 ②

$\text{밀도두께}(g/cm^2) = \text{밀도}(g/cm^3) \times \text{두께}(cm)$

130. α 선 및 β 선이 물질과 상호작용하는 과정에서 가장 큰 영향을 미치는 것은?

- ① 탄성산란
- ② 비탄성산란
- ③ 핵반응
- ④ 간접전리현상

해설 ②

비탄성산란 : 여기, 전리

131. 저지능에 대한 설명이다. 틀린 것은?

- ① 하전입자가 단위길이당 잃는 에너지이다.
- ② 하전입자의 속도에 비례한다.
- ③ 하전입자가 가진 전하의 제곱에 비례한다.
- ④ 물질의 원자번호에 비례한다.

해설 ②

저지능이란 하전입자가 물질 중에서 단위길이당 잃는 에너지를 말한다.

$$\text{저지능(stopping power)} \propto \frac{d^2}{v^2} ZN$$

132. α 선에 관한 다음의 설명 중 올바른 것끼리 묶은 것은?

- A. α 선은 주로 매질의 전리나 여기에 의하여 에너지를 잃는다.
- B. 수 MeV의 에너지를 가진 α 선의 공기 중에 대한 비정은 에너지(MeV)의 3승에 비례한다.
- C. α 선이 일정한 두께의 매질을 통과한 후의 에너지는 요동을 나타낸다.
- D. α 선은 러더퍼드 산란으로 큰 각도로 산란되지만 그 확률은 작기 때문에 매질 속을 직진한다.

① A, B, C

② A, B, D

③ A, C, D

④ B, C, D

해설 ③

4~8 MeV 에너지를 가진 α 선의 공기 중 비정(cm) : $R_a = 0.31E^{3/2}$

133. 전자평형상태하의 주어진 공기 체적내에서 감마선의 상호작용에 의해 생성되는 이온쌍의 수는 다음 중 어느 것을 가장 잘 표현하는가?

① 저지능

② 선에너지전달

③ 비전리도

④ 조사선량

해설 ④

- 저지능 (stopping power) : 하전입자가 물질 속을 통과할 때 단위 길이당 잃는 에너지를 저지능이라 부른다.

$$-\frac{dE}{dx} \propto \frac{(ze)^2}{v^2} ZN$$

여기서 ze는 입사입자의 하전, v는 입사입자의 속도, Z는 물질의 원자번호, N는 단위체적당의 원자수이다. 즉, 전하의 크기에 비례하고 속도에 반비례한다.

한편 표준상태의 공기를 표준물질로 하여 타물질의 저지능을 표시하였을 때를 상대 저지능 (relative stopping power)라고 부르며 $S = \frac{(-\frac{dE}{dx})_{\text{물질}}}{(-\frac{dE}{dx})_{\text{공기}}}$ 로 정의된다.

- 비전리도 (比電離度 : specific ionization) : 비전리도란 하전입자의 어떤 매질내에서의 전리나 여기 현상에 의한 단위거리당(선형) 에너지 손실율이다. 즉, 비전리도는 하전입자가 단위 거리를 움직이는 동안 만들어내는 이온쌍의 수이다. 비전리도는 낮은 에너지에서 높고 에너지가 증가할수록 비전리도는 급격히 낮아져서 약 1 MeV에서 최저값을 나타낸다.

134. LET에 관한 설명이다. 올바른 것은?

- ① 흡수선량의 단위에 대한 일종의 기호이다.
- ② 하전입자의 비적에 따라 단위길이당 전달되는 에너지이다.
- ③ 하전입자의 비정을 나타내는 기호이다.
- ④ 등가선량을 산출할 때 흡수선량에 곱해주는 보정계수이다.

해설 ②

LET는 하전입자가 물질 중에서 단위길이당 부여하는 에너지로서 저지능과 그 개념이 유사하다.

135. 선에너지전달을 가장 잘 설명한 것은?

- ① 어떤 매질내에서 하전입자가 단위거리당 잃은 에너지
- ② 어떤 매질내에서 하전입자의 충돌로 인해 단위거리당 전달된 에너지
- ③ 어떤 매질내에서 하전입자가 충돌 및 방사 에너지로 잃은 총 에너지
- ④ 중성자와 감마선에 대해서는 그 값이 같다.

해설 ②

136. 하전입자에 대한 설명이다. 다음 중 옳지 않은 것은?

- ① 하전입자가 물질과 상호작용하지 않고 지나갈 확률은 0이다.
- ② 비정의 단위는 g/cm^2 을 사용한다.
- ③ 비정과 LET는 반비례 관계에 있다.
- ④ LET와 비전리는 반비례 관계에 있다.

해설 ④

비정의 단위는 두께(길이)의 단위인 μm , cm 를 사용하고, 또 밀도두께의 단위인 g/cm^2 을 사용한다. LET가 크다는 말은 단위길이당 부여하는 에너지가 크다는 의미이며, 따라서 단위길이당 생성되는 이온쌍수가 많아진다. 즉, LET와 비전리는 비례관계에 있다.

137. 다음은 Bragg곡선에 대한 설명이다. 옳은 것은?

- ① α 선은 정지하기 직전에 비전리가 최대가 된다.
- ② 비전리가 크다는 말은 에너지손실이 작다는 의미이다.
- ③ 비정과 비전리는 비례관계에 있다.
- ④ 비정은 비전리와 W치와의 곱이다.

해설 ①

비전리가 크다는 말은 에너지손실이 크다는 의미이다.
비정과 비전리는 반비례관계에 있다.
저지능은 비전리와 W치의 곱이다.

138. 공기중 알파선의 비정과 상호작용의 결과를 가장 잘 기술한 것은 ?

- ① 1 MeV당 0.3~2.5 cm 정도 거리를 직선으로 간다.
- ② 1 MeV당 0.3~2.5 cm 정도 거리를 여러번 굴절하면서 간다.
- ③ 1 MeV당 15~20 cm 정도 거리를 여러번 굴절하면서 간다.
- ④ 1 MeV당 30 cm 이상 거리를 직선으로 간다.

해설 ①

알파선은 물질 속을 거의 직진하여 일정한 거리를 달린 후 정지한다.
알파선의 공기중에서의 비정은 그 에너지가 2.5 MeV 이하이면 0.5 cm/MeV 이고, 2.5 MeV 이상이면 0.75 cm/MeV로 근사할 수 있다.
자연상태 또는 인공적인 알파선은 대략 그 에너지가 4~8 MeV 정도이므로, 표준상태 공기에서의 알파선 비정은 약 3~6 cm 정도가 된다.

139. 중성자와 물질과의 상호작용에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 중성자의 탄성산란은 반응 전·후의 운동량과 운동에너지의 합이 보존되는 산란을 말한다.
- ② 탄성산란과 비탄성산란의 차이점은 반응 전·후의 운동량의 합이 보존되느냐, 되지 않느냐의 차이이다.
- ③ 중성자포획반응을 일명 (n, γ)반응이라고 한다.
- ④ 핵분열시에는 중성자가 방출된다.

해설 ②

탄성산란 : 반응 전·후의 운동에너지의 합이 보존된다.
비탄성산란 : 반응 전·후의 운동에너지의 합이 보존되지 않는다.

140. 전자와 물질과의 상호작용 결과와 관계 없는 것은?

- ① 특성X선의 발생
- ② 저지X선의 발생
- ③ 소멸
- ④ 전자쌍생성

해설 ④

141. 다음은 α 선에 대한 설명이다. 옳지 않은 것은?

- ① 외부피폭에 대한 α 선의 차폐는 고려할 필요가 거의 없다.
- ② 체내피폭시 가장 문제시되는 방사선이다.
- ③ α 선은 비전리가 작기 때문에 위험하다.
- ④ α 선이 에너지를 손실하는 과정은 거의 대부분이 비탄성산란이다.

해설 ③

• α 선은 비전리가 크기 때문에 위험하다.

142. 다음 보기 중 속중성자와 충돌하여 가장 효율적으로 에너지를 잃게 하는 것은?

- ① 수소
- ② 헬륨
- ③ 네온
- ④ 알곤

해설 ①

• 속중성자가 에너지를 잃는 과정은 원자번호와 낮은 물질과의 탄성산란에 의해서이다. 수소와 1회 충돌로 약 50%의 에너지를 잃게 된다.

143. β 입자가 플라스틱층을 통과할 때 에너지를 잃는 주된 과정은?

- ① 원자핵과 비탄성산란
- ② 궤도전자와의 탄성산란
- ③ 궤도전자와의 비탄성산란
- ④ 원자핵의 전기장에 의한 제동방사

해설 ③

144. 전자선과 물질과의 상호작용에 대해서 옳은 것은?

- A. 전자선의 운동에너지는 주로 물질 중의 전자와 충돌에 의하여 물질에 부여된다.
- B. 방사손실과 충돌손실이 생기는 비율은 물질의 원자번호와는 무관하다.
- C. 상호작용에 의하여 생긴 2차 전자가 다시 전리할 에너지를 가지고 있을 때, 이 2차 전자를 delta선이라 부른다.
- D. 에너지가 높은 전자선은 상대론적 효과가 있다.

① A, B, C

② A, B

③ A, B, C, D

④ A, C, D

해설 ④

방사손실과 충돌손실이 생기는 비율은 물질의 원자번호와 방사선의 에너지와 관계가 있다.

145. 다음 중 방사선과 물질과의 상호작용을 잘못 설명한 것은?

- ① 물질의 저지능(Stopping Power) : 하전입자가 물질속을 통과할 때 하전입자가 물질에 전달한 총에너지를 말한다.
- ② 비정(range) : 하전입자가 물질속을 그 진행방향으로 움직인 거리이다.
- ③ W값 : 방사선이 기체를 전리할 때 1 이온쌍을 생기게 하는데 필요한 평균에너지로써 공기의 경우에는 약 34 eV이다.
- ④ 선에너지 전달(LET) : 매질 내 하전입자의 선에너지 전달(linear energy transfer : LET) L_{Δ} 은 매질 속에서 거리 dx를 통과하는 하전입자에 의하여 매질에 주어지는 에너지가 특정한 값 Δ 보다 작은 충돌에 기초한 에너지손실 $-dE$ 를 dx로 나눈 값이다.

해설 ①

물질의 저지능(Stopping Power)은 하전입자가 물질속을 통과할 때 단위길이당 잃은 평균에너지이다

146. 간접전리방사선의 커마(KERMA)는 다음의 어느 경우에 흡수선량과 같아지는가?

- ① 제동복사에 의한 에너지 손실을 무시할 수 있을 때
- ② 전자평형에 도달했을 때
- ③ 매질이 균질하며 매우 클 때
- ④ 위의 모든 경우에 다 해당

해설 ④

커마는 매질 내에 분포되는 운동에너지를 의미한다. 커마가 흡수선량과 같아지기 위해서는 에너지가 매질 내에서 모두 흡수되어야 한다. 즉 제동복사에 의한 에너지 손실을 무시할 수 있어야 하고 1차 전자가 생성된 표면 근처의 최대비정 내에서 전자평형이 달성되어야 한다. 1차 전자의 에너지 분포와 비정은 균일해야 하는데 그러기 위해서는 매질이 균일하고 평균 비정보다 훨씬 커야만 한다.

147. 다음 중 저지능과 직접 관계가 있는 것은 어느 것인가?

① Bragg-Gray 원리

② Bethe의 식

169. 자연붕괴계열들의 공통점에 속하는 것은?

- ① U이 최초의 어미핵종이다.
- ② 최종핵종은 Bi이다.
- ③ gas상태를 거친다.
- ④ 최초의 어미핵종의 반감기가 짧다.

해설 ③

- 계열을 이루는 천연방사성핵종들의 공통점
 - 1) 자연계에 존재하며 계열의 첫 핵종이 긴 반감기를 가지고 있다.
 - 2) 계열붕괴 도중 Rn기체가 있다.
 - 3) 최종핵종이 ^{82}Pb 이다.
 - 4) 계열의 분기(branch)붕괴를 일으키다.

170. 자연방사성 계열에 대한 설명 중 옳지 않은 것은?

- ① 원자번호가 모두 92 이상인 초우라늄원소가 대표적이다.
- ② 최종적으로 모두 Pb로 된다.
- ③ 계열 붕괴도중 기체상태를 거친다.
- ④ 붕괴계열에는 Thorium, Uranium, Actinium계열이 있다.

해설 ①

- 원자번호가 모두 92 이상인 초우라늄원소는 인공 방사성원소이다.

171. 다음 중 옳은 것은?

- ① Uranium계열은 $4n + 1$ 계열이라 하며, ^{238}U 이 최초의 핵종이다.
- ② Thorium계열은 $4n + 2$ 계열이라 하며, ^{232}Th 가 최초의 핵종이다.
- ③ Neptunium계열은 인공 방사성계열이다.
- ④ Neptunium계열은 $4n + 3$ 계열이라 하며, ^{237}Np 이 최초의 핵종이다.

해설 ③

172. 다음 중 틀린 설명은?

- ① 지구상의 거의 모든 물질은 매우 작은 양의 천연적으로 존재하는 방사성물질 (NORM : Naturally Occurring Radioactive Materials)을 함유하고 있다.
- ② 바나나에는 ^{40}K 같은 방사성 핵종이 들어있다.

- ③ 항공기 승무원들은 보통 사람들보다 방사선피폭을 연간 100 내지 200 mrem 정도를 더 받는다.
- ④ 천연에는 존재하지 않는 계열은 $(4n + 3)$ 계열이다.

해설 ④

천연에는 존재하지 않는 계열은 넵투늄(Neptunium : Np) 계열로서 $(4n + 1)$ 계열이다.

173. 다음 중 틀린 설명은?

- ① 자연방사선은 우주방사선, 지각방사선, 내부방사선으로 이루어진다.
- ② 위도가 높을수록, 고도가 높을수록 우주선에 의한 피폭선량이 낮고, 이 우주선에 의한 피폭선량은 연간 약 0.4 밀리시버트 정도이다.
- ③ 지각방사선은 지각을 구성하고 있는 토양이나 암석의 종류에 따라 달라지며, 지각방사선에 의한 연간 피폭선량은 약 0.5 밀리시버트 정도이다.
- ④ 내부방사선이란 자연 환경중에 존재하는 ^{40}K , 우라늄 및 토륨 계열의 핵종을 음식물 등으로서 섭취하거나 공기중에 존재하는 라돈(^{222}Rn)을 흡입하는 것을 말한다.

해설 ②

위도가 높을수록, 고도가 높을수록 우주선에 의한 피폭선량이 높고, 이 우주선에 의한 피폭선량은 연간 약 0.4 밀리시버트 정도가 된다.

174. 핵종의 자연변환 중 계열붕괴에 관한 것이 잘못 짝지어진 것은?

가. 토륨계열 - $4n - 232\text{Th}$	나. 악티늄 계열 - $4n + 2 - 238\text{U}$
다. 우라늄 계열 - $4n + 3 - 235\text{U}$	라. 넵투늄 계열 - $4n + 1 - 241\text{Pu}$

- ① 가, 나
- ② 나, 다
- ③ 다, 라
- ④ 가, 라

해설 ②

악티늄 계열은 질량수를 4로 나누었을 때 나머지가 3이 되고 대표적인 핵종이 ^{235}U 이다. 우라늄 계열은 질량수를 4로 나누었을 때 나머지가 2가 되고 대표적인 핵종이 ^{238}U 이다.

175. 우라늄계열의 ^{234}U , ^{230}Th 등 2차 천연방사성핵종의 질량수는 각각 234, 230 등인데 이 때 이 계열은 $4n + x$ 계열에서 x값은 얼마인가?

- ① 0
- ② 1

③ 2

④ 3

해설 ③

③ 2차 천연방사성핵종의 질량수는 $4(58) + 2 = 234$, $4(57) + 2 = 230$ 등에서 x 는 2이다.

176. 다음 중 인공 방사성핵종만을 나열한 것은?

A. ^{40}K	B. ^{63}Ni
C. ^{131}I	D. ^{210}Po

① A, C, D

② A, B

③ B, C

④ A, B, C, D

해설 ③

^{40}K 은 천연 K에 0.0118% 함유되어 있다.

^{210}Po 은 우라늄계열에 속하는 핵종이다.

177. 천연 방사성핵종에 관한 다음 설명 중 맞는 것끼리 연결된 것은?

A. ^{40}K 나 ^{87}Rb 는 방사성 붕괴계열을 만들지 않는다.
B. ^3H 나 ^{14}C 는 우주선 작용으로 생긴다.
C. 질량수가 $4n + 3$ 인 방사성 붕괴계열은 천연에 존재하지 않는다.
D. 안정핵종이 없는 원소에서는 원자량이 주어지지 않는다.

① A, B

② A, C

③ B, C

④ B, D

해설 ①

$4n + 1$ 계열(Neptunium계열)은 자연계에 존재하지 않는다.

안정핵종이 없는 토륨, 우라늄 등에서도 원자량은 있다.

178. 아래의 방사성핵종 중 우주선에 의해 유도된 것이 아닌 것은?

① ^3H

② ^{14}C

③ ^{32}P

④ ^{137}Cs

해설 ④

^{137}Cs 는 주로 인공적으로 실시하는 핵분열에서 생성된다. 참고로 체내에 섭취되었을 때 전신, 근육에 침착 된다.

179. 아래의 네 가지 천연방사성 계열 중 실제로 현재에는 천연에 존재하지 않는 것은?

- ① $4n$ ② $4n + 1$
- ③ $4n + 2$ ④ $4n + 3$

해설 ②

• $4n + 1$ 계열은 Neptunium계열이며 그 어미핵종인 ^{237}Np 의 반감기는 210만년이어서 지구연령 46억년에 비해 짧아 그 동안 모두 붕괴되어 소멸되었다.

180.계열을 이루는 자연 방사성핵종이 가지는 공통점이 아닌 것은?

- ① 계열의 첫 핵종의 반감기가 매우 길다.
- ② 붕괴도중 반드시 라돈기체가 존재한다.
- ③ 최종 핵종은 Pb이다.
- ④ 원자번호가 모두 92를 초과하는 원소들이다.

해설 ④

• 원자번호가 92보다 큰 핵종들은 초우라늄원소이며 인공적으로 만들어진 원소이다.

181. 다음 방사성동위원소핵종들 중 계열을 이루지 않는 천연 방사성 핵종만의 조합은 어느 것인가?

- ① ^{40}K , ^{87}Ru ② ^{224}Ra , ^{220}Rn
- ③ ^{226}Ra , ^{222}Rn ④ ^{211}Po , ^{207}Pb

해설 ①

•• ^{40}K , ^{87}Ru 등은 계열을 이루지 않는 천연 방사성 핵종임.

182. 동물이나 사람의 시체 중에 포함되어 있는 방사성동위원소를 측정함으로써 동물이나 사람의 죽은 년대를 알아낼 수 있다. 이 경우 측정되는 방사성동위원소는?

- ① ^{14}C (반감기 = 5730 y) ② ^{226}Ra (반감기 = 1620 y)
- ③ ^3H (반감기 = 12.3 y) ④ ^{90}Sr (반감기 = 28.8 y)

해설 ①

183. 다음 중 연료친물질인 것은?

- ① ^{232}Th , ^{238}U
- ② ^{233}U , ^{235}U
- ③ ^{235}U , ^{239}Pu
- ④ ^{233}U , ^{239}Pu

해설 ①

... ^{233}U 나 ^{239}Pu 등은 ^{232}Th 나 ^{238}U 의 핵반응에 의해 생성된다. 이처럼 핵분열이 가능한 물질을 만드는 원료가 되는 물질(^{232}Th , ^{238}U)을 연료친물질이라고 한다.

184. 다음 중 틀린 설명은?

- ① 어느 장소의 방사선의 강도는 공기를 전리하는 정도를 나타내는 단위로 렌트겐(R)이 있는데, 이 조사선량은 알파선 또는 베타선이 공기 중에 투과하는 경우에 한하여 사용한다.
- ② 베크렐이라는 단위는 방사능의 세기를 표시하는 단위로서 1초에 1개의 원자가 붕괴할 때 나타나는 방사능의 세기를 1 베크렐이라고 한다.
- ③ 방사선에너지를 어느 정도 흡수하는가를 표시하는 흡수선량 단위를 그레이(Gray)라고 하며, 1 그레이란 1 kg당 1 Joule의 에너지를 흡수할 때의 흡수 방사선량으로 정의한다.
- ④ 방사선에 의한 생물학적 영향을 표시하기 위한 단위를 시버트(Sievert)라고 하며, 1 시버트란 1 그레이의 감마선에 의해 인체조직에 나타나는 생물학적 영향이다.

해설 ①

... 어느 장소의 방사선에 의한 조사(irradiation)의 강도는 공기를 전리하는 정도를 나타내는 단위로 렌트겐이 있는데, 이는 엑스선을 발견한 렌트겐의 이름을 따서, 기호는 R로 표시하며, 조사선량은 감마선 또는 엑스선이 공기 중에 투과하는 경우에 한하여 사용한다.

2. 방사화학 및 방사선화학

185. $A \rightarrow B \rightarrow C$ 핵으로 붕괴하는 붕괴계열의 방사평형에 관한 설명이다. 틀린 것은?

- ① 방사평형이 일어나기 위해서는 어미핵종의 반감기가 딸핵종의 반감기보다 커야 한다.
- ② 딸핵종의 방사능이 어미핵종의 방사능보다 클 수도 있다.
- ③ 영속평형이 이루어지면 어미핵종의 방사능과 딸 핵종의 방사능의 세기는 같다.
- ④ 방사평형이 이루어 졌을 때 딸핵종의 원자수가 어미핵종의 원자수보다 클 수도 있다.

해설 ④

딸핵종의 원자 수는 어미핵종의 원자수보다 작아도 딸핵종의 반감기가 길어 붕괴상수가 커지므로 영년평형일 때는 방사능이 같아지고, 과도평형에서는 딸핵종의 원자수가 작더라도 딸핵종의 방사능은 어미핵종보다 더 커진다.

186. 방사평형 관련 서술 중 맞는 것은?

- ① 영속평형 때 $A_2 = A_1 + N_2\lambda_1$ 이다.
- ② 영속평형 때 $A_2 > A_1$ 이다.
- ③ 영속평형 때 A_2 는 $\lambda_1 t$ 에 따라 붕괴한다.
- ④ 영속평형 때 $N_1 = N_2$ 이다.

해설 ③

영속평형 때 $A_2 = A_1 = A_1^0 e^{-\lambda_1 t}$

187. 다음 중 방사평형에 대한 설명 중 틀린 것은?

- ① 영속평형에서 일정 시간이 흐르면 자핵종의 방사능은 모핵종과 일정한 비를 유지한다.
- ② 자연계에서 방사성핵종의 붕괴는 영속평형 또는 일시평형 중의 한 형태를 취한다.
- ③ ^{99}Mo 과 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 은 일시평형 상태이며 밀킹(milking)을 통해 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 를 추출한다.
- ④ 일시평형에서는 모핵종(A)과 자핵종(B)의 방사능비는 $\frac{A_B}{A_A} = \frac{\lambda_B}{\lambda_B - \lambda_A}$ 이다.

해설 ②

방사평형은 모핵종과 자핵종의 반감기가 일정한 조건을 만족할 때만 성립되며 기타의 경우는 방사평형이 성립되지 않는다.

①에서 모핵종(A)과 자핵종(B)의 방사능비는 $\frac{A_B}{A_A} = 1$ 이나 이것 역시 수학적으로 일정한 비이다.

188. 일시방사평형과 연속방사평형에 관한 설명으로 맞지 않는 것은?

- ① 일시방사평형에 있는 딸핵종의 방사능은 이론적으로 어미핵종의 방사능보다 클 수 있다.
- ② 연속방사평형에 있는 어미핵종의 방사능과 딸핵종의 방사능은 같다.
- ③ 일시방사평형은 $T_1 < T_2$, 연속방사평형은 $\lambda_1 \gg \lambda_2$ 일 때에 각각 일어난다.
- ④ 연속방사평형에 있는 전체방사능은 어미핵종만의 방사능의 2배가 된다.

해설 ③

· 일시방사평형은 $T_1 > T_2$, $\lambda_1 < \lambda_2$ 일 때, 연속방사평형은 $T_1 \gg T_2$, $\lambda_1 \ll \lambda_2$ 일 때에 각각 일어난다.

189. 어떤 방사성 원소가 붕괴를 시작하였다. 딸핵종(daughter)의 붕괴상수가 어미핵종(parent)의 붕괴상수보다 작은 경우 total activity의 시간에 따른 변화는?

- ① 영속평형 ② 일시평형
- ③ 과도평형 ④ 평형이 성립되지 않는다.

해설 ④

190. 핵종 A (붕괴상수 : λ_A , 반감기 : T_A)와 핵종 B(붕괴상수 : λ_B , 반감기 : T_B)사이에 과도평형이 성립되는 경우 핵종 B의 원자수를 나타내는 식은?

- ① $\frac{\lambda_A N_A}{\lambda_A - \lambda_B}$ ② $\frac{T_B N_A}{T_A - T_B}$
- ③ $\frac{T_A N_A}{T_A - T_B}$ ④ $\frac{\lambda_B N_A}{\lambda_A - \lambda_B}$

해설 ②

· 일시(과도)평형 : $\lambda_A < \lambda_B$, $T_A > T_B$

$$N_B = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} N_A = \frac{T_B}{T_A - T_B} N_A$$

191. 어미핵종의 원자수를 N_1 , 붕괴상수를 λ_1 , 딸핵종의 원자수를 N_2 , 붕괴상수를 λ_2 라 할 때 영속평형이 성립되는 식은?

- ① $N_2/N_1 = \lambda_1/(\lambda_1 - \lambda_2)$ ② $N_1\lambda_1 = N_2\lambda_2$
- ③ $N_1\lambda_2 = N_2\lambda_1$ ④ $N_1/\lambda_1 = N_2/\lambda_2$

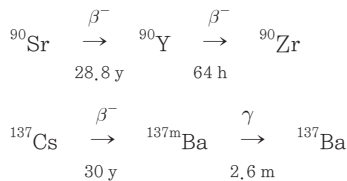
해설 ②

192. 다음 핵종에서 영속평형의 대표적인 핵종은?

- ① ^{60}Co
- ② ^{137}Cs
- ③ ^{32}P
- ④ ^{14}C

해설 ②

영속평형의 대표적인 예



193. 다음 중 옳지 않은 것은?

- ① 방사성 핵종의 붕괴속도는 열, 압력을 이용하여 지연시킬 수 있다.
- ② 방사평형에는 과도평형과 영속평형이 있다.
- ③ 붕괴상수는 방사성핵종에 따라 고유한 상수로 단위시간당 붕괴하는 비율이다.
- ④ 어미핵종의 반감기가 딸핵종의 반감기보다 작을 때에는 평형이 일어나지 않는다.

해설 ①

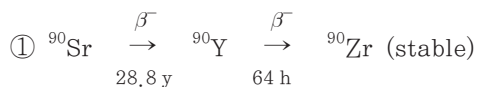
194. ^{99}Mo (반감기 66시간)와 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (반감기 6시간)사이 일시방사평형이 이루어지고 있다. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 을 완전 용리시킨 후 몇 시간이 경과되어야 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 방사능이 최고치에 도달하겠는가?

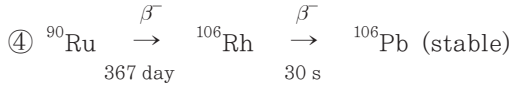
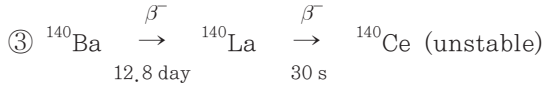
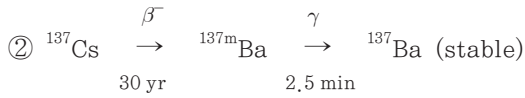
- ① 26
- ② 32
- ③ 22
- ④ 48

해설 ③

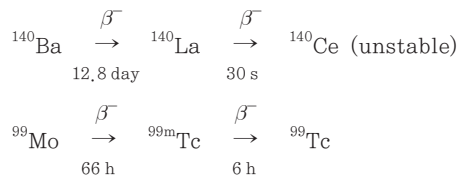
$$t_m = \left[\frac{2.302}{(\lambda_2 - \lambda_1)} \right] \times \ln\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right) = \frac{2.303}{[(0.693/66) - (0.693/6)]} \times \ln\left[\frac{(0.693/66)}{(0.693/6)}\right] = 22.2\text{시간}$$

195. 아래에서 일시방사평형의 예를 지적하여라.





해설 ③



196. 어느 어미핵종과 방사평형을 이루는 딸핵종이 있다. 딸핵종을 쉽게 분리해내는 장치와 그 분리조작이 맞게 조합된 것은?

- ① RI발생기 - 추적(tracing) ② 어미핵종 분리 - 밀킹(milking)
 ③ RI발생기 - 밀킹(milking) ④ 어미핵종 발생기 - 용출(elution)

해설 ③

방사평형을 이루고 있는 어미핵종과 딸핵종은 어미핵종의 반감기가 딸핵종의 반감기보다 길므로 시료 내에서 늘어나는 딸핵종을 화학적으로 분리해낼 수 만 있다면 원자로나 가속기로부터 멀리 떨어져 있어도 짧은 반감기의 핵종을 이용할 수 있다. 또한 어미핵종의 반감기가 길기 때문에 일정시간이 경과하고 난 후 재차 딸핵종을 채취하여 사용할 수 있다. 이와 같이 어미핵종에서 딸핵종을 몇 번이고 반복해서 빼내는 것을 milking이라 하고 그 장치를 cow system 또는 generator라고 한다. milking은 딸핵종의 방사능이 최고가 되었을 때 실시하면 효율이 높아진다.

197. 다음 어미핵종 - 딸핵종 조합 중 밀킹(milking)에 의한 딸핵종의 분리가 안되는 것은?

- ① ${}^{137}\text{Cs} - {}^{137\text{m}}\text{Ba}$ ② ${}^{99}\text{Mo} - {}^{99\text{m}}\text{Tc}$
 ③ ${}^{90}\text{Sr} - {}^{90}\text{Y}$ ④ ${}^{131}\text{Te} - {}^{131}\text{I}$

해설 ④

${}^{131}\text{Te}$ 의 반감기 25분, ${}^{131}\text{I}$ 의 반감기 8일이다. 따라서 이들 사이에는 방사평형이 이루어지지 않으므로 밀킹에 의한 딸핵종 분리는 불가능하다.

해설 ④

• 영속 평형에서 $\lambda_B N_B = \lambda_A N_A$

따라서 방사능의 비 $\frac{A_B}{A_A} = 1$

202. 두 방사성 동위원소 A (λ_A, N_A)와 B (λ_B, N_B)가 영속평형을 나타낸 식은?

① $\lambda_A N_B = \lambda_B N_A$

② $T_A N_A = T_B N_B$

③ $\lambda_A N_A = T_B N_B$

④ $T_A N_B = T_B N_A$

해설 ④

• 영속평형일 때는 $\lambda_A N_A = \lambda_B N_B$ 이고 따라서 $T_A N_B = T_B N_A$

203. 일시평형상태에서는 딸핵종의 방사능이 어미핵종의 방사능보다 ()지며, 이것의 그 정도는 ()이다. ()안에 들어갈 내용으로 적합한 것은?

① 커, $\lambda_1 N_2$

② 작아, $\lambda_1 N_2$

③ 커, $\lambda_2 N_1$

④ 작아, $\lambda_2 N_1$

해설 ①

일시평형식 : $N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1$

$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 - \lambda_1 N_2$

$A_1 = A_2 - \lambda_1 N_2$

$A_2 = A_1 + \lambda_1 N_2$

따라서 일시평형이 일어나면 딸핵종은 어미핵종의 방사능보다 $\lambda_1 N_2$ 만큼 커진다는 것을 알 수 있다.

204. 방사화학에서 반응생성물의 수율(yield)을 나타내기 위해 사용하는 용어는?

① W값

② G값

③ 선량

④ 질량에너지 흡수계수

해설 ②

• G값 : 100 eV 조사당 변화되는 원자나 분자수

212. 어느 대상으로 하는 방사성동위원소와 함께 따라다니면서 공존할 가능성이 있는 핵종을 제거하고 대상으로 하는 방사성동위원소를 용액 속에 남게 할 목적으로 수산화알루미늄 등을 가하는데, 이와 같은 물질을 무엇이라고 하는가?

- ① 홀드백캐리어(hold back carrier) ② 스캐벤저(scavenger)
- ③ 콜렉터(collector) ④ 동위원소체(isotope carrier)

해설 ②

분리 조작할 목적 방사성동위원소를 그대로 있게 하고 귀찮게 따라 다니는 불순물을 청소해 낼 목적으로 가하는 것은 스캐벤저이다. 수산화알루미늄, 수산화철, 이산화망간, 불화탄탄 등을 사용한다.

213. 정제한 후 2주일 이상 방치된 ^{144}Ce ($T = 284 \text{ d}$) 1 mCi가 있다. 284일 후의 딸핵종 ^{144}Pr ($T = 17.3 \text{ min}$)의 방사능과 비방사능에 관한 설명 중 옳은 것은?

- ① 0.5 mCi, 처음의 1/2 ② 1 mCi, 처음과 같다.(불변)
- ③ 5 mCi, 처음의 1/2 ④ 0.5 mCi, 처음과 같다.(불변)

해설 ④

두 핵종 사이에는 분리한 2주 후쯤에는 방사평형 관계가 있게 되고 일단 방사평형에 도달한 후 핵종 ^{144}Ce 에 의하여 방사능은 감소하게 된다. 비방사능은 어느 원소 또는 그 원소를 함유하는 RI의 방사능으로 나타내는데 문제에서는 비방사성 ^{144}Pr 가 없는 무담체 상태이므로 비방사능은 변하지 않는다. 참고로 비방사능이란 단위질량당 방사능(Ci/g, Ci/mol)으로 무담체 RI의 비방사능은 시간변화에 무관하게 일정하다. carrier free일 때 비방사능은 최대가 된다.

214. 다음 중 무담체 (Carrier Free)에 대한 설명으로 맞는 것은?

- ① 방사성핵종이 단독으로 존재하지 않을 때 같은 원소의 비방사성동위원소가 섞여 있지 않은 물질을 말한다.
- ② 방사성핵종이 단독으로 존재하지 않을 때 같은 원소의 방사성동위원소가 섞여 있지 않은 물질을 말한다.
- ③ 방사성핵종이 단독으로 존재할 때 같은 원소의 비방사성동위원소가 섞여 있지 않은 물질을 말한다.
- ④ 방사성핵종이 단독으로 존재할 때 같은 원소의 방사성동위원소가 섞여 있지 않은 물질을 말한다.

해설 ③

무담체란 한 방사성핵종이 단독으로 존재할 때 같은 원소의 비방사성동위원소가 섞여 있지 않은 물질을 말한다.

215. 다음 중 방사화학 분야에서 무담체보다 담체를 사용하는 이유로 적절하지 않은 것은?

- ① 무담체는 담체보다 화학적으로 불안정하기 때문에
- ② 담체는 방사콜로이드를 잘 형성하기 때문에
- ③ 무담체가 화학결합에 영향을 주어 화합물을 파괴할 수 있기 때문에
- ④ 담체가 무담체보다 방사성붕괴에 의한 영향이 적기 때문에

해설 ②

...

무담체는 방사콜로이드를 잘 형성하며 이로 인해 용기벽면에 흡착, 잔류하기 쉬워 사용이나, 유통의 어려움이 있다. 특히 산성에서보다 알칼리성에서 용해도가 감소되어 콜로이드를 더 잘 형성하는 성질이 있으므로 무담체보다는 담체를 사용하는 것이 좋다.

216. 무담체인 ^{32}P (반감기 14.3일)의 비방사능(Ci/g)에 대하여 시간경과와 함께 나타나는 상황에 대한 설명으로 올바른 것은?

- ① 비방사능은 14.3일 후 1/2로 줄어든다.
- ② 비방사능은 시간경과와 무관하게 변하지 않는다.
- ③ 비방사능은 시간경과와 함께 증가한다.
- ④ 비방사능은 시간경과와 함께 감소한다.

해설 ②

...

217. 방사성핵종순도(RNP)와 방사화학적순도(RCP)에 관한 아래 서술 중 맞는 것은? ()는 방사능 %이다.

- ① $^{131}\text{IO}_3(50\%) + ^{131}\text{I}^-(50\%)$ 일 때 ^{131}I 의 RNP = 100%이다.
- ② $^{131}\text{IO}_3(50\%) + ^{131}\text{I}^-(50\%)$ 일 때 $^{131}\text{IO}_3$ 의 RCP = 100%이다.
- ③ $^{131}\text{IO}_3^-(50\%) + ^{99\text{m}}\text{TcO}_4(50\%)$ 일 때 $^{131}\text{IO}_3^-$ 의 RNP = 100%이다.
- ④ $^{131}\text{IO}_3^-(100\%) + ^{127}\text{IO}_3^-(0\%)$ 일 때 $^{131}\text{IO}_3^-$ 의 RNP = 50%이다.

해설 ①

...

$$\text{방사화학적 순도(RCP)} = \frac{\text{특정 방사성화합물 방사능}}{\text{전체 방사성화합물 방사능}} \times 100(\%)$$

$$\text{방사성핵종 순도(RNP)} = \frac{\text{특정 방사성핵종 방사능}}{\text{전체 방사성핵종 방사능}} \times 100(\%)$$

- ② RCP = 50%
- ③ RNP = 50%
- ④ RNP = 100%

224. 방사화학적 분리법에서 서로 반대되는 개념이 아닌 것은?

- ① 컬럼크로마토그래피 - 이온교환법 ② 침전법 - 용액잔류법
- ③ 용출법 - 흡착법 ④ 스캐벤저 - 홀드백 캐리어

해설 ①

① 음이온과 양이온의 혼합물을 음이온교환수지컬럼에 통과시키면 음이온은 흡착(음이온교환법)되고 양이온은 그대로 통과한다.

225. 병원에서 핵의학진단에서 주로 사용되고 있는 ^{99m}Tc 제너레이터는 ^{99}Mo 에서 생성되는 ^{99m}Tc 을 간편하게 분리할 수 있게 만든 것이다. ^{99m}Tc 제너레이터에서의 ^{99}Mo 와 ^{99m}Tc 의 분리법으로 맞는 것은?

- ① 증류법 ② 승화법
- ③ 용출법 ④ 종이크로마토그래피

해설 ③

③ 용매인 생리식염수(0.9% NaCl)에 목적 방사성핵종 ^{99m}Tc 만 녹아서 씻겨 나오고 다른 방사성 핵종 ^{99}Mo 는 녹지 않아서 씻겨 나오지 않는다. 이 방법을 용출법이라 한다.

226. (n, γ)반응의 뜨거운 원자화학(hot atom chemistry)에서 eV 단위의 반도에너지(recoil energy)는 어떻게 표시되는가? (E : γ 에너지(MeV), M : 표적핵질량(u))

- ① $\frac{537M^2}{E}$ ② $\frac{537E^2}{M}$
- ③ $\frac{537M}{E}$ ④ $\frac{537E}{M^2}$

해설 ②

227. 방사선화학에서의 'G값'의 정의로 맞는 것은?

- ① 어떤 계에 100 V의 전류가 흐르는 것
- ② 어떤 계에 100 eV의 방사선 에너지가 흡수될 때 변화되는 원자수 또는 분자수
- ③ 어떤 계에 100 eV의 방사선 에너지가 흡수되어 일어나는 전기적 효과
- ④ 어떤 계에 흡수되는 방사선의 양

해설 ②

단위는 [개/100 eV] 또는 [mol/J]을 사용한다.

231. 다음 중 방사성표지화합물의 일반적인 제법이 아닌 것은?

- ① 자동합성법
- ② 생합성법
- ③ 반도표지법
- ④ 동위원소 교환법

해설 ①

방사성표지화합물의 일반적인 제법은 화학적 합성법, 생합성법, 반도표지법, 동위원소 교환법이다.

232. 방사성표지화합물의 불안정성 요인을 고려한 보관방법으로 적절하지 않은 것은?

- ① 냉암소에 보관한다.
- ② G값이 높은 화합물로 변환시켜 보관한다.
- ③ 비방사능을 가능한 한 낮추어 보관한다.
- ④ 방사선 흡수제나 방사선에너지 분산제를 가해서 보관한다.

해설 ②

G값이 낮은 화합물로 변환시켜 보관한다.

233. 표지유기화합물의 보존을 위한 일반적 방법으로 부적당한 것은? (단, 표지화합물은 수용액 상태라고 가정한다.)

- ① 액체질소온도로 냉각하여 보관한다.
- ② 진공으로 하거나 불활성기체를 충전하여 보관한다.
- ③ 캐리어를 적당히 가한다.
- ④ 방사능 농도를 높여서 보관할 것

해설 ④

방사성표지화합물의 일반적인 보관방법

- 1) 방사능 농도를 낮출 것 : 즉 묽은 용액으로 하거나 불활성물질 표면에 분산시킬 것
- 2) carrier를 가하여 비방사능을 낮출 것
- 3) 방사선피폭에 의한 영향을 최소화하기 위해 조금씩 여러 개로 나누어 보관할 것
- 4) 높은 에너지의 β^- 방출체나 γ 방출체 근방에 놓아두지 말 것
- 5) 희석해 보관할 경우 방사선 분해가 일어나지 않는 용매를 사용할 것
- 6) 가능하면 자유라디칼 포획제를 첨가해 보관할 것
- 7) 진공으로 하거나 순수하게 정제하여 불활성 기체 분위기 내에서 보관할 것
- 8) 일반적으로 유기물은 낮은 온도에서 안정하므로 ^3H 표지화합물의 수용액을 제외하고는 저온으로 보관해야 효과적이다.

237. 후방사화 트레이서 또는 액티버블 트레이서 (Activable Tracer)가 갖추어야 할 조건과 거리가 먼 것은?

- ① 반감기가 짧은 감마선 방출핵종이 좋다.
- ② 원소의 화학적 독성이 없어야 한다.
- ③ 열중성자에 의한 방사화 단면적이 커야 한다.
- ④ 자연계에 풍부하게 존재해야 하며 실험중 외부로부터 오염되지 않아야 한다.

해설 ④

후방사화 트레이서 또는 액티버블 트레이서란 추적자로 비방사성물질을 사용하고 실험이 종료된 직후에 시료를 중성자 등으로 방사화하여 방사성물질이 붕괴할 때 나오는 방사선을 측정, 사용하는 추적자를 말한다. 따라서 액티버블 트레이서로 사용하기 위한 동위원소는 자연계에 잘 존재하지 않는 희토류 원소 (Sm ; samarium, Eu ; europium, Gd ; gadolinium, Dy ; dysprosium)를 주로 사용한다.

238. 방사성동위원소 트레이서 요건이 아닌 것은?

- ① 이용 중 동위원소교환이 되지 않을 것
- ② 표지위치를 알 수 있을 것
- ③ 동위원소효과가 있을 것
- ④ 방사선효과가 없을 것

해설 ③

동위원소효과가 없어야 한다.

239. carrier free에 대해 가장 적절하게 표현하고 있는 것은?

- ① 안정 동위원소만으로 존재하는 상태
- ② 방사성동위원소가 그 안정 동위원소를 포함하지 않는 상태
- ③ 딸핵종이 그 어미핵종을 포함하지 않은 상태
- ④ 방사성동위원소가 그 안정 동위원소를 포함하고 있는 상태

해설 ②

262. 세포가 γ 선에 조사 받았을 때 4단계의 생물학적 변화과정을 유발한다. 이 과정 중 발생시간이 가장 짧은 것은?

- ① 초기 방사선의 물리적 과정 ② 방사선의 물리·화학적 과정
- ③ 방사선의 화학적 과정 ④ 생물학적 과정

해설 ①

- 물리적 과정이 가장 짧은 시간 내에 발생된다.

263. 방사선의 생물학적 작용 발현순서의 일부분으로 맞는 것은?

- ① 피폭 → 전리/여기 → 분자변화 → 손상
- ② 피폭 → 전리/여기 → 손상 → 분자변화
- ③ 피폭 → 세포장해 → 장기장해 → 전리, 여기
- ④ 피폭 → 장기장해 → 세포장해 → 분자변화

해설 ①

264. X선과 비교한 고 LET방사선에 관한 다음 설명 중 틀린 것은?

- ① RBE가 일반적으로 크다.
- ② 산소증감비가 작다.
- ③ 대표적인 고 LET방사선에는 α 선이 있다.
- ④ 간접작용에 의한 기여가 크다.

해설 ④

- 고 LET방사선의 특징
- 1) RBE가 일반적으로 크다.(양성자선은 예외적으로 RBE가 1이다.)
- 2) 산소증감비가 작다.(배양동물세포를 사용한 실험에 의하면 LET가 커짐에 따라 산소증감비가 완만하게 작아지다가 약 60 keV/ μ m에서 급속히 작아지고, LET가 약 100 keV/ μ m에서 1로 된다.)
- 3) 직접작용에 의한 기여가 크다.(저 LET방사선에서는 간접작용이 주체를 이룬다.)

265. 물분자의 방사선분해에 의해 생성되는 1차 유리기 중 생물학적 손상 측면에서 기여도가 가장 큰 것은 다음 중 어느 것인가?

- ① e_{aq}^- ② $H\cdot$
- ③ $OH\cdot$ ④ O_2^-

284. 방사선에 의한 인체의 만성장해의 특징이 아닌 것은?

- ① 피폭에서 증상 발생까지의 시간이 길다.
- ② 방사선 특이성이 없다.
- ③ 저선량 장기간 피폭시 발생되기 쉽다.
- ④ 고선량 단기간 피폭시 발생된다.

해설 ④

285. 방사선의 인체 영향과 가장 관계가 먼 것은?

- ① 산소 및 온도조건
- ② 기초대사율
- ③ 선량 및 선량률
- ④ 유전적 조건

해설 ②

방사선이 인체에 미치는 영향의 수식인자

- 1) 흡수선량
- 2) 흡수선량률
- 3) 선량의 분포
- 4) 피폭범위
- 5) 피폭조직의 방사선 감수성
- 6) 방사선의 선질
- 7) 방사성핵종의 장기 내 침착부위
- 8) 유효반감기
- 9) 핵종의 물리·화학적 성질

286. 다음의 방사선장해에 대해 짝지은 것 중 문턱선량이 있는 것은?

- ① 불임과 탈모
- ② 탈모와 갑상선량
- ③ 갑상선암과 피부궤양
- ④ 피부궤양과 백혈병

해설 ①

287. 만성 장해가 아닌 것은?

- ① 백혈병
- ② 혈액변화
- ③ 악성종양
- ④ 유전적 장해

해설 ②

292. 방사선의 영향 중 확률적 영향만으로 이어진 것은 어느 것인가?

- ① 백내장 - 백혈구 감소 - 염색체 이상
- ② 백내장 - 백혈병 - 염색체 이상
- ③ 유방암 - 염색체 이상 - 백혈병
- ④ 돌연변이 - 염색체 이상 - 백내장

해설 ③

백혈구 감소, 백내장 등은 확률적 영향이 아니고 결정적 영향임

293. 동양사람의 평균 백혈구의 수는 어느 정도인가?

- ① 2,000~4,000 개/mm³
- ② 5,000~8,500 개/mm³
- ③ 9,000~12,000 개/mm³
- ④ 20,000~40,000 개/mm³

해설 ②

294. 단기간에 많은 방사선을 받았을 때 나타날 수 있는 임상적 증상 중 혈액상의 변화와 소화 기관 장애증후를 나타내는 선량범위는?

- ① 0.5~1.5 Gy
- ② 1.5~4 Gy
- ③ 4~5 Gy
- ④ 6~14 Gy

해설 ③

조혈기장해를 일으키는 선량은 LD₅₀₍₃₀₎과 비슷하다.

위장장해를 일으키는 역치선량은 5 Gy 정도이며 위장관사의 선량은 약 10 Gy 정도이다.

295. 급성장해가 발전되는 3단계에 속하지 않는 것은?

- ① 조사기
- ② 전초기
- ③ 잠복기
- ④ 발병기

해설 ①

④ α선은 양전기를 띤다.

해설 ③

314. 다음 목적으로 사용되는 방사성동위원소가 올바르게 순서대로 배열된 것은?

- 가. 연기감지기, 페인트의 해로운 납 성분 함량 측정, 철강 및 종이 제품 생산시 일정한 두께 유지하는가 여부 측정, 유전탐사 시추공 위치 결정 ()
- 나. 주요 연구 도구 : 생물학적 연구, 농학, 오염관리 및 연대측정 등 고고학. 부작용 없는 새로운 신약 개발 연구 ()
- 다. 유전공학 및 분자생물학 연구, 진단 목적 핵의학에서 가장 널리 사용되는 방사성의약품, 뇌, 뼈, 및 신장의 사진 영상 확보 및 혈액 흐름 연구 ()
- 라. 1972년 이후 미국 NASA의 20호기 이상의 우주선에 전원 공급 ()
- 마. 생의학 연구의 주된 핵종, 생명과학 및 의약품 신진대사 연구, 야광 비행기, 비상등, 야광다이얼, 게이지, 손목시계, 야광페인트, 수문학 ()

- ① $^{241}\text{Am} - ^{14}\text{C} - ^{99\text{m}}\text{Tc} - ^{238}\text{Pu} - ^3\text{H}$ ② $^{14}\text{C} - ^{241}\text{Am} - ^3\text{H} - ^{99\text{m}}\text{Tc} - ^{238}\text{Pu}$
 ③ $^3\text{H} - ^{241}\text{Am} - ^{238}\text{Pu} - ^{14}\text{C} - ^{99\text{m}}\text{Tc}$ ④ $^{238}\text{Pu} - ^{241}\text{Am} - ^{14}\text{C} - ^{99\text{m}}\text{Tc} - ^3\text{H}$

해설 ①

315. 다음 방사성동위원소들은 체내에 흡수되었을 경우, 뼈에 친화성이 있어 골조직의 파괴, 골종양 등을 발생시켜 인체에 치명적인 손상을 입힌다. 뼈에 친화성이 없는 것은?

- ① ^{226}Ra ② ^{131}I
 ③ ^{90}Sr ④ ^{239}Pu

해설 ②

• ^{131}I : 갑상선

316. 방사성옥소의 결정장기는 다음 중 어느 것인가?

- ① 폐 ② 간
 ③ 대장 ④ 갑상선

해설 ④

- ③ 인체 내에 섭취된 방사성 핵종의 방사능이 물리적 붕괴와 생물학적 배출로 인하여 그 방사능이 반으로 감소하는데 소요되는 시간
- ④ 인체 내에 들어간 방사성 물질의 방사능이 신진대사 작용에 의하여 그 양이 반으로 감소하는데 소요되는 시간

해설 ③

326. 다음 중 유효반감기를 붕괴상수로 바르게 표시한 것은?

- ① $T_e = \frac{0.693}{\lambda_p + \lambda_b}$
- ② $T_e = \frac{\lambda_p \lambda_b}{\lambda_p + \lambda_b}$
- ③ $T_e = \frac{\lambda_p + \lambda_b}{\lambda_p \times \lambda_b}$
- ④ $T_e = \lambda_p + \lambda_b$

여기서 λ_p 는 물리적 붕괴상수, λ_b 는 생물학적 제거상수이다.

해설 ①

$$T_e = \frac{T_p \times T_b}{T_p + T_b} = \frac{\frac{0.693}{\lambda_p} \times \frac{0.693}{\lambda_b}}{\frac{0.693}{\lambda_p} + \frac{0.693}{\lambda_b}} = \frac{0.693}{\lambda_p + \lambda_b}$$

327. 방사성동위원소의 유효반감기는 어떻게 표시되는가? (단, T_e 는 유효반감기, T_p 는 물리적 반감기, T_b 는 생물학적 반감기이다.)

- ① $1/T_e = T_p T_b / (T_p + T_b)$
- ② $T_e = T_b / T_p$
- ③ $1/T_e = (T_b + T_p) / T_b T_p$
- ④ $T_e = T_p T_b$

해설 ③

$$T_e = \frac{T_b \times T_p}{T_b + T_p}$$

328. 다음 중 성인의 경우 적색골수가 생성되는 부분이 아닌 곳은?

- ① 두개골
- ② 늑골(갈비뼈)
- ③ 경골(정강이뼈)
- ④ 골반뼈

해설 ③

성인의 경우 경골(정강이뼈)에서는 적색골수가 잘 생성되지 않는다. 유아나 소아의 경우에는 모든 뼈에서 적색골수가 생성된다.

4. 주관식

329. 다음 용어를 정의하시오

(1) 핵분열성(Fissile) 물질과 핵원료성(Fertile) 물질

(2) Cerenkov 방사선

해설 (1) 핵물질은 핵분열성(Fissile) 물질과 핵원료성 물질(Fertile)의 두 가지로 구분할 수 있다. 핵분열성(Fissile) 물질은 저속 중성자를 흡수하면 핵분열을 일으키는 핵종(원자핵의 종류)으로, 핵무기 및 원자로의 핵연료로 사용되며 ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu 등이 있다. 핵원료성(Fertile) 물질은 중성자를 흡수하면 핵분열성 물질로 변환될 수 있는 핵종을 말하며 ^{238}U 과 ^{232}Th (토륨)이 있다.

(2) Cerenkov 방사선 : 하전입자가 굴절률 n 인 물질속을 운동할 때 그 속도 v 가 물질속의 광속도(c/n)보다 빠를 경우 진행방향에 대하여 θ 의 경사를 가진 방향으로 방출하는 전자파(물질속에서 푸른 빛으로 나타남)

330. 다음 용어를 설명하시오

(1) 마법수(magic number)

(2) 증식로(breeder reactor)

해설 (1) 양성자 또는 중성자가 짝수인 핵종은 홀수인 핵종보다 안정한 핵종 수가 더 많다. 이중에서도 어떤 특정한 수의 양성자 또는 중성자를 가진 핵종은 매우 안정한 구조를 가진다. 이 특정한 수를 마법수라 하며 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126이 이에 해당된다.

(2) 일반적인 핵분열 과정은 중성자가 입사하여 연쇄반응을 일으키는 것이다. 이때 중성자가 입사하여 핵분열성 핵종이 소비될 때마다 소비된 것 이상의 비율로 새로이 핵분열성 핵종이 증가하는 원자로를 증식로라 부른다.

331. 1원자질량단위의 질량은 1.66×10^{-27} kg이다. 이것을 에너지로 환산하라.

해설

$$\begin{aligned} E &= mc^2 \text{ (J)} \\ &= (1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \\ &\approx 1.49 \times 10^{-10} \text{ J} \\ &\approx 1.49 \times 10^{-10} \text{ J} \times \frac{1 \text{ MeV}}{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}} \\ &\approx 935.1 \text{ MeV} \end{aligned}$$

332. 다음 단위들에 대하여 설명하시오.

- ① 원자질량단위(atomic mass unit : amu)
- ② 전자볼트(electron volt : eV)
- ③ 바안(barn ; b)
- ④ 플랑크 상수(Planks constant : h)

해설 ① 원자질량단위 (atomic mass unit : amu)

원자의 질량을 상대적으로 비교하기 위하여 질량수 12인 탄소의 동위체 $^{12}_6\text{C}$ 의 1/12을 원자 질량단위로 정하였다. 즉,

$$1 \text{ amu} = \frac{1}{12} \times {}^{12}_6\text{C} \text{의 질량} = 1.66042 \times 10^{-27} \text{ g 이다.}$$

② 전자볼트 (electron volt : eV)

이온, 원자핵 및 소립자 등이 가진 에너지를 나타내는 단위로서 1 eV 는 전자가 진공속에서 1 V의 전위차로 가속될 때에 얻어지는 에너지로서 $1.602 \times 10^{-12} \text{ ergs}$ 또는 $1.602 \times 10^{-19} \text{ joules}$ 와 같다.

③ 바안 (barn ; b)

입사입자가 원자나 원자핵과 상호작용을 하며 어떤 현상이 일어나는 확률을 가상적으로 면적의 개념으로서 나타낸다. 이것을 미세단면적 (microscopic cross section) 이라 한다.

$$1 \text{ b} = 10^{-24} \text{ cm}^2 \text{이다.}$$

④ 플랑크 상수 (Planks constant : h)

양자역학에서 원자핵이나 원자의 각운동량 (angular momentum) 혹은 스핀(spin) 등을 기술할 때 쓰이는 보편적인 상수이다. h는 에너지에 시간을 곱한 차원을 갖는다.

$$h = 6.62559 \times 10^{-27} \text{ ergs} = 6.62559 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

333. ^2H (원자질량 : 2.014102 u)의 핵자당 결합에너지를 구하라.

(단, p = 1.00727 u, n = 1.00866 u이다.)

해설 문제에서 원자의 질량을 주었기 때문에 핵자수와 관계된 핵자당 결합에너지를 구하기 위해서는 원자의 질량에서 전자의 질량을 빼주어야 한다.

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

$$^2\text{H} \text{의 결합에너지 } E_b = (ZM_p + NM_n - M)c^2$$

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

$$\approx 2.2058 \text{ MeV}$$

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

334. ${}^4\text{He}$ 원자의 질량이 4.0026 u 일 때 핵자당 결합에너지는 얼마인가?

(단 $M_n = 1.008665\text{u}$, $M_H = 1.007825\text{u}$)

해설 결합에너지 $E_b = ([ZM_p + NM_n] - [M_{\text{He}} - ZM_e])c^2$

(여기서 M_{He} 는 헬륨의 원자질량, M_e 는 전자질량 따라서 $[M_{\text{He}} - ZM_e]$ 는 원자핵의 질량)

$$= [ZM_H + NM_n - M]c^2$$

$$= (2 \times 1.007825\text{u} + 2 \times 1.008665\text{u} - 4.0026\text{u}) \times \frac{931.5\text{ MeV}}{1\text{u}}$$

$$= 28.3\text{ MeV}$$

그러므로 핵자당 결합에너지는 $f_b = \frac{E_b}{A} = \frac{28.3}{4} = 7.075\text{ MeV/핵자(nucleon)}$ 이다.

335. 다음 빈칸에 들어갈 단어를 쓰시오.

(가)이란 원자핵속의 양성자가 궤도전자를 포획하여 중성자로 변하고 X선을 방출하는 것이다. 즉, 양전자 방출과 마찬가지로 원자핵 속에 양성자가 과잉인 경우에 흔히 일어나며, 이 때 발생하는 (나)는/은 입자 형태의 방사선이 나오지 않으므로 항상 단일 에너지의(선스펙트럼)(나)가 방출되게 된다. 한편, 이 때 궤도전자의 천이로 발생하는 방사선을 (다)이라고 하며, 이 (다)는/은 외곽 궤도의 전자가 내부 궤도로 천이하면서 그 에너지 차이만큼 방사선으로 발생하는 것이기 때문에 이 방사선의 에너지는 (라)를/을 갖는다. 이 (다)이 나오다가 그 외곽 궤도에 있는 전자와 다시 충돌하여 그 전자를 방출하는 경우 이 전자를 (마)라고 부른다.

해설 가 : 전자포획(electron capture, EC)

나 : 중성미자

다 : 특성 X선

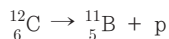
라 : 단일에너지 또는 선스펙트럼

마 : 오제전자

336. ${}^{12}_6\text{C}$ 에서 1개의 양성자 또는 중성자를 떼어내는데 각각 어느 정도의 에너지가 필요한가?

(단, ${}^{11}_5\text{B}$ 핵 = 11.0093 u, ${}^{11}_6\text{C}$ 핵 = 11.0114 u, $p = 1.00727\text{u}$, $n = 1.00866\text{u}$ 이다.)

해설 (1) 양성자를 떼어내는데 필요한 에너지



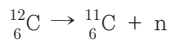
$$Q = [M({}^{12}\text{C}) - M({}^{11}\text{B}) - M(p)]c^2$$

$$= (12 - 11.0093 - 1.00727)\text{u} \times 931.5\text{ MeV/u}$$

$$\approx -15.4\text{ MeV}$$

따라서 15.4 MeV의 에너지가 필요하다.

(2) 중성자를 떼어내는데 필요한 에너지



$$\begin{aligned} Q &= [M({}^{12}\text{C}) - M({}^{11}\text{C}) - M(\text{n})]c^2 \\ &= (12 - 11.0114 - 1.00866) \text{ u} \times 931.5 \text{ MeV/u} \\ &\approx -18.7 \text{ MeV} \end{aligned}$$

따라서 18.7 MeV의 에너지가 필요하다.

337. 1 amu의 정의로부터 1 amu의 에너지를 MeV단위로 유도하시오.

해설 1 amu는 원자질량단위(atomic mass unit)로 원자의 질량이 매우 작기 때문에 사용하며 ${}^{12}\text{C}$ 원자 하나의 질량을 12로 나눈 값이다.

$$1 \text{ u} = {}^{12}\text{C} \text{ 원자 하나의 무게} / 12$$

${}^{12}\text{C}$ 원자 1몰의 질량이 12g이고, 1몰 원자의 개수는 아보가드로 숫자(N_A)인 6.02×10^{23} 개이므

$$\text{로 탄소원자 하나의 질량} = \frac{12\text{g}}{6.02 \times 10^{23}}$$

$$\text{따라서 } 1 \text{ u} = \frac{12\text{g}}{N_A} \div 12 = \frac{1}{N_A} \text{ gram}$$

$$= 1.660531495 \times 10^{-24} \text{ g} = 1.660531495 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

여기서 1 u의 에너지는 상대성이론에 따라 질량과 에너지는 서로 변환되는 식을 이용하여 구할 수 있다.

1 u의 질량을 에너지로 환산하면

$$\begin{aligned} E &= m_0c^2 = 1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg} \times (2.9979 \times 10^8 \text{ m/sec})^2 \\ &= 1.49242 \times 10^{-10} \text{ J} = 931.5 \text{ MeV} \end{aligned}$$

$$\therefore 1 \text{ u} = 931.5 \text{ MeV}$$

338. X선관의 관전압이 100 kV일 때 발생하는 X선의 최단파장을 구하라.

해설 X선관 내에서 관전압 V (V)로 가속된 전자의 운동에너지가 열에너지로 되지 않고 모두 X선의 에너지로 변환되는 경우 다음의 관계식이 성립한다. (λ_{\min} : 한계파장)

$$E = \frac{hc}{\lambda} = eV = 1.6 \times 10^{-19} \text{ V (J)}$$

$$\rightarrow \lambda_{\min} = \frac{hc}{eV} = \frac{1.24 \times 10^{-6}}{V} = (\text{m})$$

$$\lambda_{\min} = \frac{1.24 \times 10^{-6}}{100 \times 10^3} = 0.124 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.124 \text{ \AA}$$

339. 수소의 M각 전자가 K각으로 천이시 방출되는 엑스선의 파장을 구하시오.

해설 수소 전자의 에너지 준위는

$$E_n = -13.6 \frac{1}{n^2} (\text{eV}) \quad [n=1, 2, 3 \dots] \text{ 이다.}$$

따라서 M각($n=3$) 전자의 에너지는 -1.51 eV 이며 K각($n=1$) 전자의 에너지는 -13.6 eV 이다.
따라서 M각에서 K각으로 천이하면서 나타나는 특성 X선의 에너지 $= -1.51 - (-13.6) = 12.1 \text{ eV}$ 이다.

12.1eV의 에너지를 가진 전자파의 파장은

$$\begin{aligned} E &= h\nu = h \frac{c}{\lambda} \\ \lambda &= \frac{hc}{E} \\ &= \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \times 3 \times 10^8 \text{ m/s}}{12.1 \text{ eV}} \times \frac{1 \text{ eV}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}} \\ &= 1027 \times 10^{-10} \text{ m} \end{aligned}$$

\therefore 엑스선의 파장은 약 $1,027 \text{ \AA}$ 이다.

340. 전자의 운동에너지가 그 입자의 정지질량에너지와 같다고 하면, 전자의 속력은 광속의 몇 배가 되는가?

해설 $K = mc^2 - m_0c^2$

$$\begin{aligned} 0.511 &= mc^2 - m_0c^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0c^2 \\ &= \frac{0.511}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 0.511 \end{aligned}$$

$$0.511 = 0.511 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \text{에서 } v \text{를 구하면 } v = 0.866 c \text{가 된다.}$$

341. 운동에너지가 20 keV, 1 MeV인 전자의 속력을 구하라.

해설 전자는 상대성효과가 있으므로 전자의 에너지가 정지에너지의 1/10 이상일 경우(약 50 keV 이상)에는 정지질량을 고려해주어야 한다.

(1) 운동에너지가 20 keV일 때

$$\begin{aligned} K &= mc^2 - m_0c^2 \\ 20 \times 10^{-3} &= mc^2 - m_0c^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0c^2 \\ &= \frac{0.511}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 0.511 \end{aligned}$$

$$20 \times 10^{-3} = 0.511 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \text{에서 } v = 8.156 \times 10^7 \text{ m/s가 된다.}$$

원칙적으로 상대성효과가 고려되어야 하지만 에너지가 전자의 정지에너지의 1/10 (약 50 keV) 이하이므로 다음과 같이 간단하게 계산한다.

$$E = \frac{1}{2} mv^2$$

$$\rightarrow 20 \text{ keV} \times 1.6 \times 10^{-16} \text{ J/keV} = \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \times v^2$$

$$v = 8.4 \times 10^7 \text{ m/s}$$

상기 두 가지 방법에 의한 계산 값이 비슷함을 알 수 있다.

(2) 운동에너지가 1 MeV일 때

$$K = mc^2 - m_0c^2$$

$$1 = 0.511 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

에서 $v = 0.941c$ 가 된다.

즉, 광속의 94.1%의 속력을 가지므로 1 MeV를 가진 전자의 속력은 $2.823 \times 10^8 \text{ m/s}$ 이다.

342. 1개의 전자를 100,000 V로 가속시켰을 때 전자의 드브로이파장(Å)을 구하라.

(단, 플랑크상수는 $6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 이다.)

해설 전자의 에너지 : 0.1 MeV

$$K = mc^2 - m_0c^2$$

$$0.1 = 0.511 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

에서 $\sqrt{0.3} c$ 가 된다.

$$\text{드브로이파장}(\lambda) = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\frac{m_0v}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}} \quad (v \leftarrow \sqrt{0.3} c)$$

$$\lambda = 3.71 \times 10^{-12} \text{ m} = 0.371 \text{ Å}$$

343. 파장이 2,000 Å인 자외선이 Na의 외곽궤도 전자와 충돌하여 광전자가 생성되었다. 이 광전자의 운동에너지는? (단, Na의 이온화포텐셜은 5.41 eV이며, 플랑크상수는 $6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{sec}$ 이다.)

해설 $E = hc/\lambda$

$$= (6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{sec} \times 3 \times 10^8 \text{ m/sec}) / (1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV} \times 2 \times 10^{-7} \text{ m}) = 6.20 \text{ eV}$$

그러므로, 광전자의 운동에너지는 $6.20 - 5.41 = 0.79 \text{ eV}$ 이다.

344. 1개의 전자를 1 MeV로 가속시켰을 때 전자의 드브로이 파장을 구하시오(여기서 플랑크 상수의 값은 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4.136 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ 를 사용한다)

해설 전자의 정지질량에너지 = 0.511 MeV

전자의 상대론적 총에너지 = 운동에너지 + 정지질량에너지 = 1.511 MeV

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = 1.511 \text{ MeV}$$

$$\frac{0.511 \text{ MeV}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = 1.511 \text{ MeV}$$

$$\frac{0.511 \text{ MeV}}{1.511 \text{ MeV}} = \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

∴ 전자의 속도는 0.941 c 이다.

$$\begin{aligned} \text{드브로이 파장} &= \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \times v} \\ &= \frac{h}{\frac{m_0}{\sqrt{1 - (0.94c)^2/c^2}} \times 0.94c} \\ &= \frac{h}{m_0 c^2 \times \frac{0.94}{c \sqrt{1 - (0.94)^2}}} \\ &= \frac{4.136 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \times 3 \times 10^8 \text{ m/s}}{511 \times 10^3 \text{ eV} \times 2.755} = 8.814 \times 10^{-13} \text{ m} \end{aligned}$$

∴ 가속전자의 드브로이 파장은 $8.814 \times 10^{-13} \text{ m} = 8.814 \times 10^{-3} \text{ \AA}$ 이다.

345. 전자의 속력이 0.9 c일 때의 질량은 정지질량의 몇 배인지 계산하라.

해설

$$M = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{(0.9c)^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - 0.81}} = \frac{m_0}{\sqrt{0.19}} = 2.29 m_0$$

전자의 속력이 광속의 0.9배일 때의 질량은 정지질량의 약 2.29배가 됨을 알 수 있다. 즉 약 130% 정도의 질량이 증가함을 알 수 있다.

346. 파장이 2,000 Å인 빛을 어떤 물질(일함수는 2 eV)에 쬐어 나온 광전자의 최대 운동에너지를 계산하시오(플랑크 상수의 값은 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$)

해설 파장이 2,000 Å인 전자파의 에너지는

$$\begin{aligned}
 E &= h\nu = h \frac{c}{\lambda} \\
 &= 6.626 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s} \frac{3 \times 10^8 \text{m/s}}{2000 \times 10^{-10} \text{m}} \times \frac{1 \text{eV}}{1.6 \times 10^{-19} \text{J}} \\
 &= 6.21 \text{eV}
 \end{aligned}$$

여기서 일함수를 제외한 나머지 에너지는 모두 운동에너지로 전환되므로 광전자의 운동에너지는

$$E_k = E - W = 6.21 - 2 = 4.21 \text{eV}$$

$\therefore 4.21 \text{eV}$ 이다.

347. 반감기를 구하는 식 $T = 0.693/\lambda$ 을 유도하고 평균수명과의 관계를 수식으로 써라.

해설 1) 반감기(T) : 최초의 방사능이 1/2로 줄어드는 데 걸리는 시간

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{2} A_0, t = T \\
 A &= A_0 e^{-\lambda t} \rightarrow \frac{1}{2} A_0 e^{-\lambda t} \rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda t} \\
 &\rightarrow \ln \frac{1}{2} = \ln e^{-\lambda t} \\
 &\rightarrow T = \frac{0.693}{\lambda}
 \end{aligned}$$

2) 평균수명 : 최초의 방사능이 1/e로 줄어드는데 걸리는 시간

$$t = \frac{1}{\lambda} = 1.44T$$

348. 평균수명이 20초인 방사성동위원소 1kg이 있다. 1분 후에 남아 있는 양은 얼마인가?

해설 $\tau = 20 \text{s} = \frac{1}{\lambda}$ 에서 $\lambda = 0.05 \text{s}^{-1}$ 이다.

경과시간 $t = 1 \text{분} = 60 \text{s}$

방사능과 방사성동위원소의 질량은 비례관계에 있으므로 방사능 대신 방사성동위원소의 질량을 대입하여 계산해도 무방하다.

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = 1000 e^{-0.05 \times 60}$$

$$A = 49.8 \text{g}$$

349. 어떤 방사성물질의 방사능을 측정하였더니 6300 cps이었는데 10분 후에 다시 측정해보니 5200 cps이었다. 이 방사성물질의 반감기를 계산하라.

해설
 • $A = A_0 e^{-\frac{0.693}{T}t}$ 에서 동일한 측정장치를 사용하여 측정하므로 효율이 같다. 따라서 A의 방사능 대신에 계수율을 대입해도 문제가 없다.
 $5,200 = 6,300 e^{-\frac{0.693}{T} \times 10}$ $T \approx 36.1$ 분

350. 평균 수명이 1시간인 방사성동위원소 1kg이 3시간 후에 남아 있는 양은 약 몇 g인가?

해설
 • 평균수명 $\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$ 이므로 $\lambda = \ln 2 / \tau$
 $N = N_0 \exp(-\lambda \times 3\tau) = N_0 \exp(-\ln 2 \times 3) = 0.125 N_0$
 처음 남아 있던 핵종의 12.5%가 남아 있으므로
 $1\text{kg} \times 12.5(\%) = 125\text{g}$
 $\therefore 125\text{g}$

351. 1g의 ^{226}Ra 이 1000년 동안 붕괴한 수를 구하시오 (반감기 = 1600년)

해설
 • 1g ^{226}Ra 의 입자수 $N_0 = \frac{1}{226} \times N_A = 2.66 \times 10^{21}$ 개 (N_A = 아보가드로수)
 <풀이 1>
 $A = \frac{dN}{dt}$ 에서 시간 t = 0에서 1000년 동안 붕괴한 입자의 수
 $N = \int_0^{1600y} A dt$
 $= A_0 \int_0^{1600y} \exp(-\lambda t) dt = \frac{A_0}{\lambda} [1 - \exp(-\lambda \cdot 1000y)]$
 $= \frac{N_0 \lambda}{\lambda} \left[1 - \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \times 1000y\right) \right]$
 $= N_0 (1 - 0.648) = 0.352 N_0 = 9.35 \times 10^{20}$ 개
 $\therefore 9.35 \times 10^{20}$ 개

<풀이 2>
 1000년이 지난 시점에서 남아 있는
 ^{226}Ra 의 입자수는 $= N_0 \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \times 1000y\right) = 0.648 N_0$
 즉 전체 중 64.8%가 생존해 있으므로 35.2%는 붕괴함
 따라서 붕괴한 ^{226}Ra 의 입자수는 $= 0.352 N_0$
 $\therefore 9.35 \times 10^{20}$ 개

352. ^{226}Ra 이 1000년 동안 붕괴한 양은 최초 양의 몇 %가 되겠는가? (단, 반감기는 1620년이다.)

해설 경과시간 t 동안 붕괴한 양 = $A_0 - A_0 e^{-\lambda t} = A_0(1 - e^{-\lambda t})$

경과시간 t 동안 붕괴한 양 = $A_0 \times (1 - e^{-\frac{0.693}{1620} \times 1000}) = 0.348 A_0$

따라서 최초 양인 A_0 의 34.8%가 1000년 동안 붕괴하였다.

353. 23년 전 서베이미터 교정용 선원으로 ^{226}Ra 을 구입하여 사용해 오고 있다. 현재의 방사능이 1000 MBq이라면 구입 당시의 방사능은 얼마인가? (단, ^{226}Ra 의 반감기는 1620년이다.)

해설 $A = A_0 e^{-\lambda t}$

$A = 1000 \text{ MBq}$

경과시간 $t = 23 \text{년}$

반감기 $T = 1620 \text{년}$

$1000 = A_0 e^{-\frac{0.693}{1620} \times 23}$

$A_0 = 1009.8 \text{ MBq}$

354. 111 GBq의 ^{32}P 의 질량은 얼마인가? (단, ^{32}P 의 반감기는 14.3일이다.)

해설 $A = \lambda N = \frac{0.693}{T} \times \frac{w}{M} \times N_A$

$111 \times 10^9 \text{ dps} = \frac{0.693}{14.3 \text{d} \times 24 \text{h/d} \times 3600 \text{s/h}} \times \frac{w}{32 \text{ g/mol}} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

$w = 1.05 \times 10^{-5} \text{ g}$

355. 현재 2.5 Ci의 ^{60}Co 선원과 500 mCi의 ^{137}Cs 선원이 있다. 두 선원의 방사능이 같아지는 때는 몇 년 후인가?

해설 $A = A_0 e^{-\frac{0.693}{T} t}$

$2.05 e^{-\frac{0.693}{5.3} t} = 0.5 e^{-\frac{0.693}{30} t}$

$\frac{2.5}{0.5} = \frac{e^{-\frac{0.693}{30} t}}{e^{-\frac{0.693}{5.3} t}} = e^{-\frac{0.693}{30} t + \frac{0.693}{5.3} t}$

$\ln 5 = -\frac{0.693}{30} t + \frac{0.693}{5.3} t$

$t \approx 15 \text{년}$

356. 5.5일 후에 1/e로 감소되는 방사성핵종이 있다. 이 핵종의 반감기를 계산하라.

해설 5.5일 후에 1/e로 감소된다는 말은 평균수명이 5.5일 이라는 의미이다.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = 5.5 \text{ 일}$$

$$T = 0.693 \tau = 0.693 \times 5.5 \text{ 일} \approx 3.8 \text{ 일}$$

357. 10^5 개의 ^{99}Tc 원자가 40년간에 방출하는 β 입자의 수는 몇 개 인가? (단, ^{99}Tc 의 반감기는 1.5×10^5 년이다.)

해설 $A = \frac{dN}{dt}$

$$N = \int_0^t A dt = A_0 \int_0^t e^{-\lambda t} dt = \frac{A_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) = 10^5 \times (1 - e^{-\frac{0.693}{1.5 \times 10^5} \times 40}) = 18 \text{ 개}$$

358. 표준상태에 있는 ^{85}Kr (반감기 10.8년) 1 liter의 방사능(Bq)은 얼마인가?

해설

$$A = \lambda N = \frac{0.693}{10.8 \text{ y} \times 365 \text{ d/y} \times 24 \text{ h/d} \times 3600 \text{ s/h}} \times \frac{1 \text{ l}}{22.4 \text{ l/mol}} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$= 5.47 \times 10^{13} \text{ Bq}$$

359. 1 Ci의 ^{222}Rn 의 질량(g)과 표준상태에서 차지하는 부피(cc)는 각각 얼마인가? (단, ^{222}Rn 의 반감기는 3.825일이고 아보가드로수는 $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 이다.)

해설 1 Ci의 ^{222}Rn 의 질량(g)

$$A = \lambda N = \frac{0.693}{T} \times \frac{w}{M} \times N_A$$

$$w = \frac{A \times T \times M}{0.693 \times N_A}$$

$$= \frac{1 \text{ Ci} \times 3.7 \times 10^{10} \text{ dps/Ci} \times 3.825 \text{ d} \times 24 \text{ h/d} \times 3600 \text{ s/h} \times 222 \text{ g/mol}}{0.693 \times 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}}$$

$$= 6.5 \times 10^{-6} \text{ g}$$

표준상태에서 1 Ci의 ^{222}Rn 가 차지하는 부피(L)

$$A = \lambda N = \frac{0.693}{T} \times \frac{L}{22.4} \times N_A \rightarrow L = \frac{A \times T \times 22.4}{0.693 \times N_A}$$

$$= \frac{1 \text{ Ci} \times 3.7 \times 10^{10} \text{ dps/Ci} \times 3.825 \text{ d} \times 24 \text{ h/d} \times 3600 \text{ s/h} \times 22.4 \text{ l/mol}}{0.693 \times 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}}$$

$$= 6.56 \times 10^{-7} \text{ l} = 6.56 \times 10^{-4} \text{ cc}$$

360. K(원자량 = 39)를 정량하기 위해 충분한 양의 $\text{Na}_4\text{Co}^*(\text{NO}_2)_6$ 를 첨가하여 생성된 침전물 $\text{K}_4\text{NaCo}^*(\text{NO}_2)_6$ 의 방사능을 측정한 결과 135 μCi 의 방사능이 나타났다. (Co^* 는 ^{60}Co 방사성 핵종을 의미하며 반감기는 5.3년이다) 이 때 K의 정량은?

해설 135 μCi 의 방사능은 ^{60}Co 에서 온 것이므로

침전물에서 ^{60}Co 의 핵종 수는

$$N = \frac{A}{\lambda} = \frac{135 \times 10^{-6} \times 3.7 \times 10^{10}/\text{s}}{\ln 2 / (5.3\text{y} \times 365 \frac{\text{y}}{\text{d}} \times 24 \frac{\text{d}}{\text{h}} \times 3600 \frac{\text{h}}{\text{s}})} = 1.20 \times 10^{15}$$

침전물이 $\text{K}_4\text{NaCo}^*(\text{NO}_2)_6$ 이므로 ^{60}Co 핵종 하나당 4개의 ^{39}K 가 침전물을 이루고 있음을 알 수 있다.

따라서 ^{39}K 의 핵종 수는 4.80×10^{15} 개이며 이를 아보가드로 수로 나누어 주면

$$\frac{4.80 \times 10^{15}}{6.02 \times 10^{23}} = 8.0 \times 10^{-9} \text{ mole에 해당된다.}$$

따라서 ^{39}K 의 정량은

$$39 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 8.0 \times 10^{-9} \text{ mol} = 0.312 \times 10^{-6} \text{ g} = 0.312 \mu\text{g}$$

$$\therefore 0.312 \mu\text{g}$$

361. ^{60}Co 선원이 매초당 10^8 개의 γ 선을 방출하고 있다. 이 선원의 질량을 구하라.

해설 ^{60}Co : 1 붕괴당 2개의 γ 선을 방출한다.

$$\text{방사능} : \frac{10^8}{2} \text{ dps}$$

$$A = \lambda N = \frac{10^8}{2} \text{ dps}$$

$$= \frac{0.693}{5.3\text{y} \times 365 \text{ d/y} \times 24\text{h/d} \times 3600 \text{ s/h}} \times \frac{w}{60 \text{ g/mol}} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$\therefore w = 1.2 \times 10^{-6} \text{ g}$$

362. 반감기가 각각 12.3일과 56일인 단순 붕괴하는 두 핵종이 처음 방사능이 같았다면, 두 방사능의 비가 0.5가 되는 때는 언제인가?

해설 $A_1^0 = A_2^0, \frac{A_1}{A_2} = 0.5$

$$\frac{A_1^0 e^{-\frac{0.693t}{12.3}}}{A_2^0 e^{-\frac{0.693t}{56}}} = 0.5$$

$$\therefore t = 15.8 \text{ 일}$$

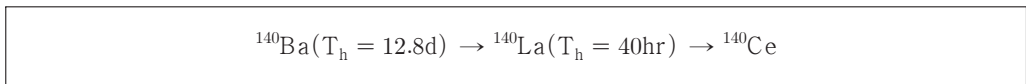
363. 반감기가 1시간인 핵종 A가 반감기가 2시간인 핵종 B의 수 보다 4배 많이 있다. 시간이 경과해서 핵종 A수와 핵종 B수가 같게 되려면 몇 시간이 지나야 하는가?

해설 $N(1/2)^{t/T} = (N/4)(1/2)^{t/2}$
 $N(1/2)^{t/1} = (N/4)(1/2)^{t/2}$
 $(1/2)^{t/1} = (1/4)(1/2)^{t/2}$
 $(1/2)^{t/1} = (1/2)^2(1/2)^{t/2}$
 $t = 4$
 4 시간 후 핵종 A수와 핵종 B수가 같게 된다.

364. 어느 유적지에서 출토된 나무조각 2g을 분석하니 ^{14}C 의 방사능이 10 dpm/g 인 것으로 확인되었다. 현재의 탄소 속의 ^{14}C 의 비방사능이 15 dpm/g이면, 이 나무조각은 얼마나 오래된 것인가? (^{14}C 의 반감기는 5,730년)

해설 $A = A_0 e^{-\lambda t}$, $\lambda = 0.693/5730 = 1.21 \times 10^{-4} \text{ yr}^{-1}$
 $10/15 = \exp(-1.21 \times 10^{-4} \times t)$
 그러므로, $t = 3.35 \times 10^3 \text{ 년}$

365. 아래의 식에서 Ba(모핵종)/La(딸핵종)의 방사능비를 구하시오



해설 이 식은 일시평형 상태로 볼 수 있다.

$$N_B = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} N_A$$

위의 식을 이용하여 모핵종과 딸핵종의 방사능을 구할 수 있다.

$$\frac{A_{Ba}}{A_{La}} = \frac{\lambda_{Ba} N_{Ba}}{\lambda_{La} N_{La}} = \frac{\lambda_{Ba}}{\lambda_{La}} \times \frac{\lambda_{La} - \lambda_{Ba}}{\lambda_{Ba}} = \frac{\lambda_{La} - \lambda_{Ba}}{\lambda_{La}}$$

$$= \frac{\frac{\ln 2}{T_{La}} - \frac{\ln 2}{T_{Ba}}}{\frac{\ln 2}{T_{La}}} = \frac{T_{Ba} - T_{La}}{T_{Ba}} = \frac{12.8 \times 24 - 40}{12.8 \times 24} = 0.87$$

\therefore 모핵종과 딸핵종의 방사능비는 약 0.87이다.

366. ^{60}Co 0.3 mCi에서 매 초당 발생하는 방사선의 종류별 숫자는 얼마인가?

해설 ^{60}Co 은 1붕괴당 β 선 1개, γ 선 2개를 방출한다.

$$\beta\text{선} : 0.3 \times 10^{-3} \text{ Ci} \times 3.7 \times 10^{10} \text{ dps/Ci} \times 1 \text{ 개/d} = 1.11 \times 10^7 \text{ 개}$$

$$\gamma\text{선} : 0.3 \times 10^{-3} \text{ Ci} \times 3.7 \times 10^{10} \text{ dps/Ci} \times 2 \text{ 개/d} = 2.22 \times 10^7 \text{ 개}$$

367. 인체 내에 들어 있는 K의 양을 140 g으로 본다면 이 ^{40}K 의 방사능은 얼마인가? (단, ^{40}K 의 존재비율은 0.012 %, 반감기는 1.26×10^9 년이다.)

해설

$$A = \lambda N = \frac{0.693}{1.26 \times 10^9 \text{ y} \times 365 \text{ d/y} \times 24 \text{ h/d} \times 3600 \text{ s/h}} \times \frac{140 \text{ g} \times 0.012 \times 10^{-2}}{40 \text{ g/mol}} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$\times \frac{1 \text{ uCi}}{3.7 \times 10^4 \text{ dps}} = 0.12 \text{ uCi}$$

368. 사람 소변의 칼륨(K, potassium)의 농도는 약 1.5g/L이다. 이 소변 속의 ^{40}K 의 방사능은 얼마인가? dpm/L로 답하시오. (단, ^{40}K 의 존재비(abundance)는 0.0119%, 반감기는 1.3×10^9 년 ^{226}Ra 의 반감기는 1,600년)

해설 $N = (6.02 \times 10^{23} \text{ atoms/mole}) / (A \text{ g/mole})$

$$\text{비방사능} = \lambda N = (\lambda \times 6.02 \times 10^{23}) / A \text{ Bq/g}$$

$$= (0.693 \times 6.02 \times 10^{23}) / (A \times T_{1/2}) \text{ Bq/g}$$

(여기에서 $T_{1/2}$ 는 sec 단위)

한편, ^{226}Ra 의 1g의 방사능은 3.7×10^{10} 이므로, 어떤 방사성핵종 i와 ^{226}Ra 의 비방사능의 비율 관계에서 (비방사능)_i = $3.7 \times 10^{10} \times (A_{\text{Ra}} \times T_{1/2 \text{ Ra}}) / (A_i \times T_{1/2 \text{ i}})$ 이다.

$$\text{따라서, } ^{40}\text{K의 비방사능} = (3.7 \times 10^{10} \times 1600 \times 226) / (1.3 \times 10^9 \times 40) \text{ Bq/g}^{40}\text{K}$$

$$\times 1.19 \times 10^{-4} \text{ g}^{40}\text{K/gK} \times 1.5 \text{ gK/L} \times 60 \text{ dpm/Bq}$$

$$= 2.75 \times 10^3 \text{ dpm/L}$$

369. 방사성핵종 A가 붕괴상수 λ 로 붕괴하여 안전핵종 B로 될 때, 시간 0에서 t까지의 사이에 생긴 핵종 B의 원자수와, 시간 t에서의 핵종 A의 원자수에 대한 비는 얼마인가?

해설 시간 0~t 사이에 생긴 핵종 B의 원자수 = $N_0 - N = N_0 - N_0 e^{-\lambda t}$

시간 t에서의 핵종 A의 원자수 : $N - N_0 e^{-\lambda t}$

$$\frac{N_0 - N_0 e^{-\lambda t}}{N_0 e^{-\lambda t}} = e^{\lambda t} - 1$$

370. 중성자선원 ^{252}Cf 는 α 붕괴와 자발핵분열로 붕괴한다. 전체반감기는 2.64년이며, α 붕괴의 붕괴상수는 0.25478y^{-1} 이다. ^{252}Cf 1g에 대한 매초당의 자발핵분열수를 구하라.

해설 α 붕괴 반감기 = $\frac{0.693}{0.25478\text{y}^{-1}} = 2.72\text{y}$

$$2.64\text{y} = \frac{T_s \times 2.72\text{y}}{T_s + 2.72\text{y}}$$

$$T_s = 89.8\text{y} = 2.83 \times 10^9\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{자발핵분열수} &= \frac{0.693}{2.86 \times 10^9\text{s}} \times \frac{1\text{g}}{252\text{g/mol}} \times 6.02 \times 10^{23}\text{mol}^{-1} \\ &= 5.85 \times 10^{11}\text{s}^{-1} \end{aligned}$$

371. ^{137}Cs 의 매붕괴당 방출되는 0.662 MeV의 γ 선 방출 수는 몇 개인가? (단, ^{137}Cs 은 94.6%가 β 붕괴하여 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ 으로 되어 0.662 MeV의 γ 선을 내며 일부는 내부전환계수 0.114로 내부전환한다.)

해설 내부전환계수 $\alpha = \frac{\text{내부전환율}}{\gamma\text{선방출률}} = \frac{i}{\gamma}$, $\gamma + I = 1 \rightarrow \gamma + \alpha = 1$

$$\text{따라서 } \gamma = \frac{1}{1+\alpha} = \frac{1}{1+0.114} = 0.898\text{이다.}$$

최초 β 붕괴하는 비율이 0.946이므로 γ 선의 방출비율은 $0.946 \times 0.898 = 0.85$ 이다.

즉, 1 붕괴당 0.85개의 γ 선이 방출된다.

372. 어떤 화석의 연대 측정실험에서 탄소의 질량은 0.25g이었고 탄소의 방사능은 0.93 pCi로 측정되었다. 살아있는 생명체의 유기질에는 탄소 1g당 7.5 pCi의 방사능을 갖고 있다. 이 화석은 얼마나 오래된 것인가?

해설 $A = \frac{0.93\text{pCi}}{0.25\text{g}} = 3.72\text{pCi/g}$

$$A_0 = 7.5\text{pCi/g}$$

^{14}C 의 반감기 : 5730년

$$3.72 = 7.5 \times e^{-\frac{0.693}{5730}t}$$

$$t = 5796\text{년}$$

373. 이론상 최초 U이 생성되었을 때 $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ 의 존재비는 거의 같다. 현재 자연광물 안에 $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ 의 존재비를 알아보니 7.25×10^{-3} 이다. 최초 우라늄의 생성시기는 언제인가를 계산하여 추정하라. (단, $\lambda_{235} = 9.76 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$, $\lambda_{238} = 1.54 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$)

해설 존재비가 같다 = 최초의 원자수가 같다. ($N_{235}^0 = N_{238}^0$)

현재의 원자수는 N_{235} , N_{238} 이고 그 비는 7.25×10^{-3} 이다.

$$\frac{N_{235}}{N_{238}} = 7.25 \times 10^{-3} = \frac{N_{235}^0 e^{-\lambda_{235}t}}{N_{238}^0 e^{-\lambda_{238}t}} \rightarrow t = 5.99 \times 10^9 \text{ y}$$

374. 채취한 100 g의 시료에서 K의 양이 40mg이고 ^{40}Ar 의 양이 $1\mu\text{g}$ 으로 나타났다. 이 시료의 생성연대는?

조건

1. 천연 K은 ^{39}K , ^{40}K , ^{41}K 로 구성되며 시료에서의 ^{40}K ($T = 1.28 \times 10^9 \text{ y}$)는 0.0119%로 존재한다.
2. ^{40}K 의 붕괴는 $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca} + \beta^-$ + 반중성미자의 β 붕괴(89%)와 $^{40}\text{K} + e \rightarrow ^{40}\text{Ar} + \text{중성미자}$ 의 EC (11%)가 함께 일어난다.
3. 생성된 아르곤은 모두 사라지지 않고 남아 있다.

해설 현재의 ^{40}K 의 양은 40 mg 중 0.0119% 이므로

$$= 40 \times 10^{-3} \times 0.0119 \times 10^{-2} = 4.76 \times 10^{-6} \text{ g} \text{ 이다.}$$

^{40}Ar 은 ^{40}K 에서 EC(11%)를 통해 생성된 양이다.

따라서 초기 ^{40}K 의 양 $X\mu\text{g}$ 에서 현재의 $4.76\mu\text{g}$ 을 뺀 양 중의 11%는 ^{40}Ar 임을 의미한다.

$$\textcircled{1} (X - 4.76) \times 0.11 = 1$$

따라서 초기 ^{40}K 의 양은 $13.85 \mu\text{g}$ 이다.

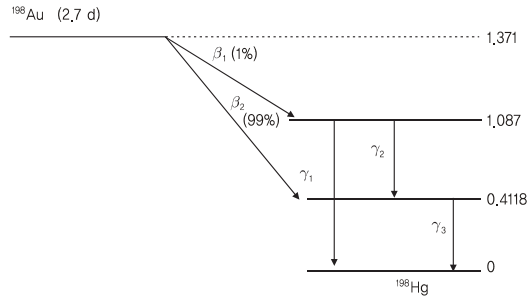
생성되었을 때 ^{40}K 의 양 $X\mu\text{g}$ 에서 현재까지의 시간 t 가 흘러 붕괴하였으므로

$$\textcircled{2} 4.76 = X \times \exp(-\lambda t) \text{ 로 되며}$$

$$\exp\left(-\frac{\ln 2}{1.28 \times 10^9} \times t\right) = \frac{4.76}{13.85} \text{ 를 통해 } t = 1.97 \times 10^9 \text{ y}$$

\therefore 생성 연대 t 는 1.97×10^9 년 전이다.

375. 다음 붕괴도를 이용하여 물음에 답하라.



- (1) ^{198}Au 의 반감기는 얼마인가?
- (2) β 선의 최대에너지는 얼마인가?
- (3) $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ 의 에너지는 얼마인가?

해설 (1) 2.7일

••• (2) $1.371 - 0.4118 = 0.9592 \text{ MeV}$

(3) $\gamma_1 = 1.087$

$\gamma_2 = 1.087 - 0.4118 = 0.6852 \text{ MeV}$

$\gamma_3 = 0.4118 \text{ MeV}$

376. 베타붕괴의 에너지 특성에 대해 설명하시오.

- 해설**
- 베타붕괴의 마지막 상태가 붕괴 후 생성 핵종, e, ν 의 세 가지의 입자이기 때문에 에너지와 운동량의 보존법칙에 의해 e의 운동에너지는 일반적으로 일정한 에너지를 갖지 못하여 연속 스펙트럼을 갖는다. (단, EC는 선스펙트럼을 갖는다.)
 - 여기서, ν 는 중성미자(neutrino)라 하고, 베타선의 연속스펙트럼을 설명하기 위하여 도입된 소립자이다. (질량 = 0 하전 = 0)
 - 일반적으로 베타선의 에너지라하면 그 평균 에너지를 뜻하는 것이 아니고, 최대에너지 E_{β} (max)를 뜻하는 것이 보통이다. 베타(-) 붕괴의 경우에 전자의 평균에너지는 최대에너지의 약 0.3배이고, 베타(+) 붕괴의 경우에 전자의 평균에너지는 최대에너지의 약 0.4배이다. 즉, 평균에너지는 최대에너지의 약 1/3이다.

377. 베타붕괴의 세 가지 형식에 대해 설명하되, 다음 사항들 중 해당되는 것은 그 설명에 포함하시오.

가. 붕괴 전후의 원자번호의 증감	나. 붕괴가 일어날 조건
다. 방출되는 입자의 종류 및 에너지의 특성	라. 2차적으로 생성되는 방사선 등

- 해설**
- 음전자 방출 (β^- 붕괴)
 - 원자핵 속의 n가 p로 변하여 음전자를 방출하고 다른 핵종으로 변하는 것. (원자번호 1 증가) ($n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$) ($\bar{\nu}$: 반중성미자 (anti-neutrino))
 - 양전자 방출 (β^+ 붕괴)
 - 원자핵 속의 p가 n로 변하여 양전자를 방출하고 다른 핵종으로 변하는 것. (원자번호 1 감소) ($p \rightarrow n + e^+ + \nu$) (ν : 중성미자 (neutrino))
 - 즉, 원자핵 속에 양성자가 과잉인 경우에 흔히 일어나는데, 원자핵 속의 양성자가 하나 작아지므로 궤도전자중의 전자 하나도 반드시 방출되어야 하므로 양전자 방출이 일어나기 위해서는 원자핵은 두 개의 전자에 해당하는 잉여 질량 이상을 가지고 있어야 한다.
 - 전자포획 (electron capture, EC)
 - 원자핵속의 p가 궤도전자를 포획하여 n로 변하고 X선을 방출하는 것. (원자번호 1 감소) ($p + e^- \rightarrow n + \nu$)
 - 즉, 양전자 방출과 마찬가지로 원자핵 속에 양성자가 과잉인 경우에 흔히 일어나며, 이 때 발생하는 중성미자는 입자 형태의 방사선이 나오지 않으므로 항상 단일 에너지의(선스펙트럼) 중성미자가 방출되게 된다.
 - 한편, 이 때 궤도전자의 천이로 발생하는 X선을 특성 X선이라고 하며, 이 특성 X선은 외곽 궤도의 전자가 내부 궤도로 천이하면서 그 에너지 차이만큼 X선으로 발생하는 것이기 때문에 이 X선은 선스펙트럼을 갖는다.
 - 이 특성 X선이 나오다가 그 외곽 궤도에 있는 전자와 다시 충돌하여 그 전자를 방출하는 경우 이 전자를 오제전자라고 부른다.

378. ^{235}U 원자핵 1개가 열중성자에 의해 핵분열 할때, 200 MeV의 에너지가 발생한다. 그러면 ^{235}U 1g이 전부 핵분열 할때 발생하는 에너지는 몇 cal인가?

해설

^{235}U 1g에 들어 있는 원자의 수는 $\frac{1}{235} \times N_A$ (N_A = 아보가드로수)

핵분열당 발생되는 에너지 200 MeV

$1\text{MeV} = 1.6 \times 10^{-13}\text{J}, 1\text{cal} = 4.2\text{J}$

1g이 전부 핵분열할 때 발생하는 에너지는

$$= \frac{1}{235} \times N_A \times 200\text{ MeV} \times \frac{1.6 \times 10^{-13}\text{ J}}{\text{MeV}} \times \frac{1\text{ cal}}{4.2\text{ J}}$$

$$= 1.952 \times 10^{10}\text{ cal}$$

$\therefore 1.952 \times 10^{10}\text{ cal}$

379. 정지하고 있던 ^{226}Ra 핵이 α 붕괴하여 ^{222}Rn 핵으로 되었다. α 입자와 딸핵종의 운동에너지의 합이 4.28 MeV라면 α 입자의 속력과 운동에너지, ^{222}Rn 핵의 속력을 구하라.

해설 어미핵종이 정지 상태이므로 운동량 보존 법칙에 의해 붕괴 후에도 운동량의 합은 0이어야 한다. 따라서 α 입자와 딸핵종의 속력의 관계는 다음과 같이 된다.

$$mv - MV = 0$$

여기서 m 과 M 은 각각 α 입자와 딸핵종의 질량으로 근사적으로 4 u와 222 u이고, v 와 V 는 각각 α 입자와 딸핵종의 속력이다.

$$\text{위의 식에서 } V = \frac{m}{M}v \text{ 가 구해진다.}$$

붕괴에너지가 α 입자의 운동에너지와 딸핵종의 운동에너지로 되므로 다음의 식이 성립한다.

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}MV^2 = 4.28 \text{ MeV}$$

여기서 $\frac{1}{2}mv^2$ 은 α 입자의 운동에너지이고, $\frac{1}{2}MV^2$ 은 딸핵종의 운동에너지이다.

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}M\left(\frac{m}{M}v\right)^2 = \frac{1}{2}mv^2\left(1 + \frac{m}{M}\right) = 4.28 \text{ MeV}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = 4.28 \times \frac{M}{M+m} = 4.28 \times \frac{222}{226} = 4.2 \text{ MeV}$$

즉, α 입자의 운동에너지는 4.2 MeV이다. 붕괴에너지 4.28 MeV 중 4.2 MeV는 α 의 운동에너지로, 0.8 MeV는 딸핵종의 운동에너지로 분배되었다는 것을 알 수 있다.

380. A핵종 (반감기 : 4시간)과 B핵종 (반감기 : 1시간)의 방사성 혼합물이 있다. 각각의 딸핵종은 비방사성이다. 이 방사성 혼합물의 전방사능은 $t = 0$ 에서 1000 Bq, $t = 4$ 시간에서 150 Bq 일때 $t = 0$ 에서 핵종 B의 방사능은 얼마인가?

해설 A의 초기방사능을 A_{A0} 라 하고 B의 초기방사능을 A_{B0} 라 하면

$$t = 0 \text{ 일 때의 방사능 } A_{A0} + A_{B0} = 1000 \text{ Bq}$$

$t = 4$ h 일 때의 방사능은

$$\exp\left(-\frac{\ln 2}{4\text{h}} \times 4\text{h}\right) \times A_{A0} + \exp\left(-\frac{\ln 2}{1\text{h}} \times 4\text{h}\right) \times A_{B0} = 150 \text{ Bq}$$

$$A_{A0} + A_{B0} = 1000 \text{ Bq}$$

$$\frac{A_{A0}}{2} + \frac{A_{B0}}{16} = 150 \text{ Bq}$$

$$\text{연립해서 풀면 } A_{A0} = 200 \text{ Bq } A_{B0} = 800 \text{ Bq}$$

\therefore 초기 B 핵종의 방사능은 800 Bq

381. ^{133}Xe 반감기는 5.3일이다. 현재 기체폐기물 저장탱크에 있는 ^{133}Xe 의 방사능을 1/1000로 낮추기 위해서는 최소 얼마나 지연시켜야 하는가?

해설

$$A = A_0 e^{-\frac{0.693}{T}t}$$

$$\frac{1}{1000} = e^{-\frac{0.693}{5.3}t} \quad (t \approx 52.83\text{일})$$

최소한 약 53일이 경과한 후에 방출하여야 한다.

382. 질량수 210의 원자핵이 α 붕괴하여 5.3 MeV의 α 선을 방출할 때 생성핵이 얻은 반도에너지를 계산하라.

해설

$$Q = (5.3 + X) \text{ MeV}$$

반도핵의 질량 : M, α 선의 질량 : m

$$\text{반도핵의 운동에너지} = \frac{m}{M+m} \times |Q| = \frac{4}{210} \times (5.3 + X) = X$$

$$X \approx 0.1 \text{ MeV}$$

(참고)

Q 값을 구하라는 문제로도 출제될 수 있다.

$$Q = 5.3 + 0.1 = 5.4 \text{ MeV}$$

383. $^{63}_{30}\text{Zn}$ 과 $^{63}_{29}\text{Cu}$ 사이에서 β^+ 붕괴가 가능한지 여부와 Q_{β^+} 값을 구하라. (단, ^{63}Zn 의 원자질량 = 62.9330 u, ^{63}Cu 의 원자질량 = 62.9298 u이다.)

해설

$$Q_{\beta^+} = (M_x - M_y - 2m_e) c^2$$

$$= (62.9330 - 62.9298 - (2 \times 0.00054)) \text{ u} \times 931.5 \text{ MeV/u}$$

$$= 1.96 \text{ MeV}$$

$Q_{\beta^+} > 0$ 이므로 β^+ 붕괴는 일어나며, $Q_{\beta^+} \approx 1.96 \text{ MeV}$ 이다.

384. $D + T \rightarrow {}^4\text{He} + n$ 핵융합반응의 Q값을 구하라. (단, D, T 및 ${}^4\text{He}$ 의 원자질량은 각각 2.014102 u, 3.014102 u 및 4.002603 u이다.)

해설

$$Q = ((M_x + M_a) - (M_y + M_b))c^2$$

$$= (2.014102 + 3.016049 - 4.002603 - 1.00866) \text{ u} \times 931.5 \text{ MeV/u}$$

$$\approx 17.59 \text{ MeV}$$

385. ${}^{11}_4\text{Be}$ 은 ${}^{11}_5\text{B}$ 로 β^- 붕괴한다. 다음 (1), (2), (3) 물음에 대해 답하라. (단, ${}^{11}\text{Be}$ 의 원자질량 = 11.0216 u, ${}^{11}\text{Be}$ 의 원자질량 = 11.00931 u이다.)

- (1) β 선의 최대에너지
- (2) β 선의 최소에너지
- (3) β 선의 평균에너지

해설 $Q_{\beta^-} = (11.0216 - 11.00931) \text{ u} \times 931.5 \text{ MeV/u} = 11.448 \text{ MeV}$

β^- 붕괴는 일어나며, Q_{β^-} 는 11.448 MeV이다.

β 선은 0~11.448 MeV의 연속스펙트럼분포를 가지므로 β 선의 최대에너지는 11.448 MeV이며, 최소에너지는 0이다.

$$\beta \text{ 선의 평균에너지} = \frac{E_{\beta \text{ max}}}{3} \approx 3.8 \text{ MeV}$$

386. ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ 반응의 발단값을 구하라. (단, ${}^7\text{Li}$ 핵의 질량 = 7.0160045, ${}^7\text{Be}$ 핵의 질량 = 7.0169297이다.)

해설 $Q = ((M_{\text{Li}} + M_{\text{p}}) - (M_{\text{Be}} + M_{\text{n}}))c^2$
 $= (7.0160045 + 1.00727 - 7.0169297 - 1.00866) \text{ u} \times 931.5 \text{ MeV/u}$
 $= -2.16 \text{ MeV}$

$$E_{\text{th}} = |Q| \times \frac{M_{\text{Li}} + M_{\text{p}}}{M_{\text{Li}}}$$

$$= 3.16 \times \frac{7.0160045 + 1.00727}{7.0160045} = 2.47 \text{ MeV}$$

387. $\text{U}_{92}^{234} \rightarrow \text{Th}_{90}^{230} + \alpha_2^4$ 붕괴는 0.053 MeV의 감마선 방출을 동반하며 반응에너지 Q값은 4.84 MeV이다. 이 때 α 입자와 Th 원자의 운동에너지는 얼마인가?

해설 $\text{U}_{92}^{234} \rightarrow \text{Th}_{90}^{230} + \alpha_2^4 + \gamma$ 붕괴에서
 Q값은 감마에너지와 두 입자의 운동에너지이므로
 $Q_{\text{값}} = \gamma + \text{K.E.} = 4.84 \text{ MeV}$
 $\text{K.E.}(\alpha + \text{Th}) = Q - \gamma = 4.84 - 0.053 = 4.79 \text{ MeV}$
 $\text{K.E.}(\alpha) = \frac{M_{\text{Th}}}{M_{\text{Th}} + M_{\alpha}} = \frac{230}{230+4} \times 4.79 = 4.71 \text{ MeV}$
 $\text{K.E.}(\text{Th}) = \frac{4}{230+4} \times 4.79 = 0.08 \text{ MeV}$

④ 입사 감마선의 에너지와 대상 물질의 원자번호의 크기에 따른 발생확률에 대한 설명

해설 가. 광전효과

감마선이 원자에 충돌하여 그 궤도전자에 전 에너지를 주어 전자를 튀어나오게 하고 자신은 소멸하는 현상이다. 이때 튀어나오는 전자는 감마선의 에너지에서 원자의 결합에너지를 뺀 나머지에 해당하는 운동에너지를 가지게 된다.

$$\text{즉, } E_p = E_r - I_B$$

여기에서 E_p 는 튀어나온 전자의 운동에너지, E_r 는 입사 감마선의 에너지, I_B 는 궤도전자의 결합에너지이다.

광전효과에 의해 어느 궤도내 궤도전자 하나가 이탈한 공간이 발생하므로 이 빈 공간을 메꾸기 위해 연속하여 특성 X선과 오제전자가 발생할 수 있다.

광전효과는 감마선의 에너지가 10 keV에서 100 keV 사이인 경우 가장 잘 일어나며, 이 광전효과가 일어나는 확률 τ 는 K 궤도전자에서 가장 크고, 물질의 원자번호 Z 가 클수록 또한 저에너지의 감마선 일수록 크다. 즉, $\tau \propto Z^5 E_r^{-3.5}$ 이다.

나. 콤프턴 산란

감마선이 원자와 충돌하여 궤도전자를 튕겨내고 (반도전자) 입사 감마선 자신은 에너지가 감소된 산란감마선으로 되어 나가는 현상이다.

$$\text{산란된 감마선의 파장 } \lambda' \text{과 입사 감마선의 파장 } \lambda \text{ 사이에는 } \Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta)$$

의 관계가 있다.

θ 는 산란각, h 는 plank 상수, m_e 는 전자의 정지질량, c 는 빛의 속도이다.

콤프턴 산란은 탄성산란이며, 에너지 및 운동량의 보존법칙이 성립한다. 입사 감마선의 에너지 E_r , 산란된 감마선의 에너지 E_r' , 반도전자의 에너지 E_c 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립한다. ($m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}$)

$$E_r' = r \frac{E_r}{1 + \frac{E_r(1 - \cos\theta)}{m_e c^2}}$$

$$E_c = E_r - E_r' \frac{E_r}{1 + \frac{E_r(1 - \cos\theta)}{m_e c^2}}$$

콤프턴 산란은 감마선의 에너지가 100 keV에서 5 MeV 사이인 경우 가장 잘 일어나며, 콤프턴 산란이 일어나는 확률 σ 는 E_γ 이 클수록 작고, 물질의 Z 가 클수록 커진다. 즉, $\sigma \propto Z E_\gamma^{-1}$ 이다.

다. 전자쌍생성

1.02 MeV 이상의 감마선이 물질을 구성하고 있는 원자핵의 주변장에서 그 자신을 소멸하고 음·양 한쌍의 전자를 만들어 내는 현상이다. 두 개 전자의 정지질량에 소비된 나머지의 감마선 에너지가 전자의 운동에너지로 된다. 즉, $E_{e^+} + e^- = E_\gamma - 2 m_e c^2$ 이다.

전자쌍생성은 감마선의 에너지가 5 MeV 이상인 경우 가장 잘 일어나며, 전자쌍생성이 일어나는 확률 κ 는 E_γ 와 물질의 Z 에 비례한다.

$$\text{즉 } \kappa \propto Z^2 (E_\gamma - 2 m_e c^2) \text{ 이다.}$$

391. 감마선의 흡수계수를 광전효과, 콤프턴 산란 및 전자쌍생성 등의 세 가지 감마선의 상호작용으로 설명하시오.

해설 물질속에서 감마선의 전흡수계수 (또는 선형감쇠계수) μ 는 광전효과, 콤프턴 산란 및 전자쌍생성 등의 세가지 상호작용 결과의 합이다. 이들 각각의 흡수계수를 τ, σ, κ 라 하면 전흡수계수 μ 는 $\mu = \tau + \sigma + \kappa$ 이다.

392. 5 MeV의 광자가 90도 산란각으로 콤프턴 산란을 일으켰을 때, 산란광자와 반도전자의 에너지를 각각 구하시오.

해설 $E_{\gamma'} = E_{\gamma} \text{Rover } 1 + \frac{E_{\gamma}(1 - \cos\theta)}{m_e c^2}$: θ 방향으로 산란된 광자의 에너지

$$E_e = \frac{E_{\gamma}}{1 + \frac{m_e c^2}{R} E_{\gamma}(1 - \cos\theta)}$$
 : 전자의 운동에너지

이 식에 따라 산란광자의 에너지는

$$= \frac{5}{1 + \frac{5 \times (1 - \cos 90^\circ)}{0.511}} = \frac{5}{1 + \frac{5}{0.511}} = 0.463 \text{ MeV}$$

전자의 에너지는 $5 - 0.463 = 4.537 \text{ MeV}$

\therefore 산란광자의 에너지는 0.463 MeV, 반도전자의 에너지는 4.537 MeV

393. 3 MeV의 광자가 물질과의 상호작용에 의해 Compton 효과를 일으켰다. 이때 산란되는 광자가 Compton 파장을 가질 때 산란광자의 에너지를 구하라.

해설 Compton 파장이란 산란각이 90° 일 때를 말한다.

$$E_{\gamma'} = \frac{E_{\gamma}}{1 + \frac{E_{\gamma}(1 - \cos\theta)}{m_e c^2}}$$

$$= \frac{3}{1 + \frac{3(1 - \cos 90^\circ)}{0.511}} = 0.44 \text{ MeV}$$

394. 2.022 MeV의 γ 선이 전자쌍생성을 일으킬 때 방출되는 양전자(e^+)의 에너지는 얼마인가?

해설 $T = E_{\gamma} - 2m_e c^2 = 2.022 - 2 \times 0.511 = 0.998 \text{ (MeV)}$

양전자 (e^+)와 음전자 (e^-)가 0.998 MeV를 임의로 분배하여 운동에너지를 가지므로 양전자 (e^+)는 0~0.998 MeV의 에너지를 가진다.

395. Na에서 광전자를 튀어나오게 하는데 필요한 에너지는 2 eV이다. 파장 5000 Å의 빛을 쬐었을 때 방출되는 전자의 에너지와 최대속력을 구하라.

해설 파장 5000 Å의 에너지

$$6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \times \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{5000 \text{ Å} \times 10^{-10} \text{ m/Å}} \times \frac{1 \text{ eV}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}} = 2.48 \text{ eV}$$

$$\therefore E_\gamma = E_b + \frac{1}{2} mv^2 \text{ 이므로 } \frac{1}{2} mv^2 = 0.48 \text{ eV이다.}$$

광전자의 최대속력

$$v = \sqrt{\frac{0.48 \text{ eV} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV} \times 2}{9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}}} = 4.11 \times 10^5 \text{ m/s}$$

396. 파장 0.09 Å의 γ선을 어떤 산란체에 조사하여 Compton 효과를 관측하였다. 산란 후에 45°방향으로 진행하는 γ선을 관측할 때 다음을 구하라.

- (1) 산란 γ선의 파장
- (2) 입사 γ선 및 산란 γ선의 에너지

해설 (1) 산란 γ선의 파장

$$\lambda' - \lambda = 0.243(1 - \cos \theta) \text{ (Å)}$$

$$\lambda' = \lambda + 0.243(1 - \cos \theta) \text{ (Å)}$$

$$\lambda' = 0.09 + 0.243(1 - \cos 45^\circ) = 0.096 \text{ Å}$$

- (2) ① 입사 γ선의 에너지

$$E = h \frac{c}{\lambda} = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \times \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{0.09 \text{ Å} \times 10^{-10} \text{ m/Å}}$$

$$= 2.2 \times 10^{-14} \text{ J} = 0.14 \text{ MeV}$$

- ② 산란 γ선의 에너지

$$E_\gamma' = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma(1 - \cos \theta)}{m_e c^2}}$$

$$= \frac{0.14}{1 + \frac{0.14(1 - \cos 45^\circ)}{0.511}} = 0.12 \text{ MeV}$$

397. α입자의 에너지가 5 MeV이고 어떤 물질 1 cm당 부여하는 에너지가 1,500 KeV일 때 비정을 구하라.

해설 비정 = $\frac{5000 \text{ KeV}}{1500 \text{ KeV/cm}} = 3.3 \text{ cm}$

398. 공기 중에서 3.8 cm를 비행한 5.25 MeV 에너지의 α 입자의 비전리도를 구하라. (단, 공기의 W 값은 34 eV이다.)

해설 비전리도 : 하전입자가 물질 중에서 단위길이당 생성한 이온쌍수(ip/cm)
 저지능 : 하전입자가 물질 중에서 단위길이당 잃는 에너지(MeV/cm)

$$\text{저지능} = \frac{5.25 \times 10^6 \text{ eV}}{3.8 \text{ cm}} = 1.38 \times 10^6 \text{ eV/cm}$$

$$\text{비전리도} = \frac{1.38 \times 10^6 \text{ eV/cm}}{34 \text{ eV/ip}} = 4.06 \times 10^4 \text{ ip/cm}$$

399. ^{90}Sr 선원이 들어있는 납 용기에서 방사평형인 ^{90}Y 으로부터 납벽에 의한 제동X선이 발생한다. 이 때 제동복사 손실과 충돌손실의 비율을 계산하라.

해설 (1) ^{90}Sr 에 의해 발생하는 제동복사 손실의 계산

$$f = 3.5 \times 10^{-4} Z \cdot E_{\text{max}} = 3.5 \times 10^{-4} \times 82 \times 0.54 = 0.0155$$
 제동복사 손실 비율 = 1.5 %
 충돌 손실 비율 = 98.5 %
 (2) ^{90}Y 에 의해 발생하는 제동복사 손실의 계산

$$f = 3.5 \times 10^{-4} Z \cdot E_{\text{max}} = 3.5 \times 10^{-4} \times 82 \times 2.27 = 0.065$$
 제동복사 손실 비율 = 6.5 %
 충돌 손실 비율 = 93.5 %

400. 제동복사(Bremsstrahlung radiation)에 대해 설명하시오.

해설 전자가 물질속에서 Coulomb 력에 의한 전기장에 의하여 속도의 변화를 받아 감속되면 전자파를 방출한다. 이 전자파를 제동복사선이라고 하고, 이 전자파의 파장 영역은 X 선으로서 연속 스펙트럼을 갖는다.
 제동 복사는 베타선의 에너지가 클수록 그리고 이와 상호작용하는 물질이 원자번호가 클수록 심하게 일어나므로 방사선의 차폐물질을 선정하고자 할 때에 2차방사선으로서 반드시 고려해야 한다.
 제동복사가 발생하는 비율 $f = 3.5 \times 10^{-4} Z E_{\text{max}}$ 로 표현됨.
 이때 Z는 물질의 원자번호이고 E_{max} 는 MeV 단위의 전자나 베타선의 최대에너지임.
 예를 들어, 원자번호가 82인 Pb에 1 MeV의 전자가 입사하였을 때 식에 대입하여 계산해 보면, 제동복사가 발생하는 비율은 약 3%로 계산됨. 즉, 원자번호가 82인 Pb에 1 MeV의 전자가 입사하였을 때 입사에너지의 3%가 제동복사선, 즉 연속X선으로 발생된다는 의미임.

401. 무담체 방사성동위원소 1 uCi의 질량을 나타내는 식을 제시하라.

해설 $A = \lambda N = \frac{0.693}{T} \times \frac{w}{M} \times N_A$

A : 방사능(dps)

T : 반감기 (s)

w : 질량(g)

M : 질량수 또는 원자질량(g/mol)

N_A : 아보가드로수($6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)

$$3.7 \times 10^4 = \frac{0.693}{T} \times \frac{w}{M} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$w \approx 8.854 \times 10^{-20} T \cdot M \text{ (g)} = 8.854 \times 10^{-23} T \cdot M \text{ (kg)}$$

402. 무담체의 정의를 기술하고 단점을 4가지 이상 제시하시오

해설 무담체 : 한 방사성핵종이 단독으로 존재할 때-같은 원소의 비방사성동위원소가 섞여 있지 않은 경우를 무담체라고 함

무담체 (carrier Free)의 단점 (무담체보다 담체를 사용하는 이유)

- 화학적으로 불안정하다.
- 방사성붕괴에 의한 원소변화가 있을 수 있다.
- 화학결합 절단에 의한 화합물을 파괴할 수 있다.
- 방사콜로이드 상태는 흡착을 잘하므로 유통의 어려움이 있다.
 - 용기 벽면에 잔류한다.
- 산성에서보다 알칼리성에서 용해도가 감소되어 콜로이드를 더 잘 형성한다.

403. 자연붕괴 계열중에서 악티늄계열의 최초원소는 ^{235}U 이고 최종원소는 ()이다. 이때 전과정에서 일어나는 α 붕괴는 ()회이며 β^- 붕괴는 () 회이다.

해설 ^{207}Pb , 7회, 4회.

악티늄계열 ^{235}U 은 $4n+3$ 이므로 최종 납의 동위원소는 ^{207}Pb 이고, 질량수가 28 감소하였으므로 α 붕괴는 $28/4$ 의 7회이고, 이 경우 원자번호가 14 감소하여야 하나 10 감소한 것으로 보아 (우라늄-92, 납-82) β^- 붕괴가 4회 발생하였음을 알수 있다.

404. 무담체 방사성동위원소 ^{131}I (반감기 8일)의 1 Ci의 무게는?

해설 $W = 8.854 \times 10^{-14} \times \text{Ci} \times M \times T$
 $= 8.854 \times 10^{-14} \times 1 \times 131 \times (8 \times 60 \times 60)$
 $= 8 \times 10^{-6} \text{ g}$

405. ^{24}Na ($T = 15 \text{ h}$)와 ^{72}Zn ($T = 46.5 \text{ h}$)가 각각 1 uCi씩 무담체로 존재하는 경우 그 질량비 ($^{24}\text{Na}/^{72}\text{Zn}$)는 얼마인가?

해설

$$A = \lambda N = \frac{0.693}{T} \times \frac{w}{M} \times N_A$$

$$w = 8.854 \times 10^{-20} T \cdot M \text{ (g)}$$

$$w \propto T \cdot M$$

$$\frac{W_{\text{Na}}}{W_{\text{Zn}}} = \frac{24 \times 15}{72 \times 46.5} = 0.10753$$

406. 혼합시료 중의 화합물 A를 직접 희석법으로 정량하였다. 시료에 A의 표지화합물(비방사능 900 Bq/mg)을 10 mg 첨가해 잘 섞은 후 A를 순수하게 분리했는데 그 비방사능은 300 Bq/mg 이었다. 시료 중의 A의 양은 얼마인가?

해설

$$W = W_1 \times \left(\frac{S_1}{S_2} - 1 \right) = 10 \times \left(\frac{900}{300} - 1 \right) = 20 \text{ mg}$$

(별해)

$$\frac{9000 \text{ Bq}}{(A + 10) \text{ mg}} = 300 \text{ Bq/mg} \rightarrow A = 20 \text{ mg}$$

407. 12.7 mg의 ^{63}Cu 을 열중성자속밀도 $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 12.7시간 조사해서 12.7시간 냉각한 후, 방사능을 측정하였다. 이때 (n, γ)반응으로 생성된 ^{63}Cu 의 방사능(Bq)은 얼마인가? (단, ^{63}Cu 의 존재비는 69%, $^{63}\text{Cu}(n, \gamma)^{63}\text{Cu}$ 반응의 방사화단면적은 4.5b, ^{63}Cu 의 반감기는 12.7시간이다.)

해설 ^{63}Cu 의 반감기 : 12.7시간

$$A = n \sigma \phi (1 - e^{-\lambda t}) \cdot e^{-\lambda d}$$

$$= \frac{12.7 \times 10^{-3} \text{ g} \times 0.69}{63 \text{ g/mol}} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \times 4.5 \times 10^{-24} \text{ cm}^2 \times 1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \times (1 - e^{-\frac{0.693}{12.7} \times 12.7})$$

$$\times e^{-\frac{0.693}{12.7} \times 12.7} = 9.42 \times 10^6 \text{ Bq}$$

408. 원자량이 100인 단원소 타겟 1 ug (중성자 포획단면적 : 0.2 b)에 중성자플루언스를 $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 생성핵의 반감기 시간만큼 조사할 때 생성방사능(Bq)을 구하라.

해설

$$A = n \sigma \phi (1 - e^{-\lambda t}) = \frac{W}{M} \times N_A \times \sigma \times \phi (1 - e^{-\lambda t})$$

$$= \frac{1 \times 10^{-6} \text{ g}}{100 \text{ g/mol}} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \times 0.2 \times 10^{-24} \text{ cm}^2 \times 1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} (1 - e^{-\frac{0.693}{T} T})$$

$$= 6 \times 10^2 \text{ Bq}$$

409. 100 %로 농축된 A, B의 원소를 동일한 몰수로 하여, 원자로 내에서 60분간 동시에 조사해서 방사성동위원소인 A', B'를 각각 a mCi, b mCi를 얻었다. A, B의 방사화 단면적은 각각 1 b, 1.5 b 이며 A', B'의 반감기는 각각 30분, 60분이다. 생성 방사능비 a/b를 구하라.

해설 생성방사능 $A = \sigma \phi N(1 - e^{-\lambda t})$ 에서 A, B는 같은 몰수이고 동일한 중성자속밀도, 동일한 시간으로 조사했으므로 σ 와 반감기만 고려하면 된다.

$$\frac{a}{b} = \frac{1 \times (1 - e^{-\frac{0.693 \times 60}{30}})}{1.5 \times (1 - e^{-\frac{0.693 \times 60}{60}})} = \frac{0.75}{0.75} = 1$$

410. Na_2CO_3 (분자량 106)를 원자로에 넣어 중성자를 조사하여 ^{24}Na (반감기 : 15h)를 생산하려고 한다. $^{23}\text{Na}(n, \gamma)^{24}\text{Na}$ 의 반응단면적은 0.53b, 표적질량은 5 g, 중성자밀도는 $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 조사시간이 60 h이라면 생성방사능은 얼마인가?

해설

$$A = n \sigma \phi (1 - e^{-\lambda t})$$

$$= \frac{5 \text{ g} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ 분자/mol} \times 2/\text{분자}}{106 \text{ g/mol}} \times 0.53 \times 10^{-24} \text{ cm}^2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \times (1 - e^{-0.693 \times 60/15})$$

$$= 2.82 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

411. $^{23}\text{Na}(n, \gamma)^{24}\text{Na}$ 의 핵반응단면적은 0.5b이다. Na_2CO_3 10.6g을 중성자속밀도 $10^{10} \text{ 개/cm}^2 \cdot \text{s}$ 로 900시간 조사하였을 때 생성방사능은 몇 Bq인가? (단, ^{24}Na 의 반감기는 15시간, Na_2CO_3 의 분자량은 106이고 ^{23}Na 의 존재비는 100 %이다.)

해설

$$A = n \sigma \phi (1 - e^{-\lambda t}) = A_{\infty} (1 - e^{-\lambda t})$$

조사시간이 생성핵종 반감기의 5배 이상이면 $1 - e^{-\lambda t} \approx 1$ 이 된다.
따라서 $A_{\infty} = \sigma \phi N$ 에 대입하여 (풀이) 한다.

$$A_{\infty} = 0.5 \times 10^{-24} \text{ cm}^2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \times \frac{10.6 \text{ g} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ 분자/mol} \times 2/\text{분자}}{106 \text{ g/mol}}$$

$$= 6.02 \times 10^8 \text{ dps}$$

412. 방사평형 상태에 있는 ^{90}Y 의 방사능이 $3.7 \times 10^8 \text{ Bq}$ 이라면 64시간 후의 ^{90}Y 의 방사능은 얼마인가?

해설 방사평형상태에 있으므로 딸핵종인 ^{90}Y 은 어미핵종의 붕괴형식(반감기)을 따르게 된다. 따라서 ^{90}Y 의 $3.7 \times 10^8 \text{ Bq}$ 은 어미핵종인 ^{90}Sr 의 반감기 28.8년에 따라 붕괴하므로 64시간 동안 붕괴된 양은 극히 미미하여 변화가 없다고 하여도 무방하다. 따라서 $3.7 \times 10^8 \text{ Bq}$ 이다.

413. 방사성핵종은 일반적으로 원자로를 이용하거나 또는 가속기 내에서 생산된다. ^{198}Au (반감기 : 64.8시간)도 원자로 내에서 안정된 동위원소인 ^{197}Au 과 중성자가 반응하여 생성된다. 얇은 박판형태의 ^{197}Au 0.1 g을 원자로 내에 12시간 놓아두고 꺼내었을 때 방사능의 세기는 0.9 Ci 였다면 박판 내의 생성될 수 있는 ^{198}Au 의 이론적 최대방사능의 세기를 구하라. 또 이 최대 방사능의 80 %에 이르기까지의 걸리는 시간은 얼마인가?

해설 원자로에서의 Ri 생산식 $A = \sigma \psi N(1 - e^{-\lambda t}) = A_{\infty}(1 - e^{-\lambda t})$ 에서

$$0.9 = A_{\infty} (1 - e^{-\frac{0.693}{64.8} \times 12}) \text{ 이므로 } A_{\infty} = 7.47 \text{ Ci이다. (이론적 최대방사능)}$$

따라서 이론적 최대방사능의 80 %에 도달하는 시간은

$$0.8 A_{\infty} = A_{\infty} (1 - e^{-\frac{0.693}{64.8} t}) \text{에서 } 150 \text{시간임을 알 수 있다.}$$

414. 표적원자에 생성되는 방사성동위원소의 반감기의 3배의 시간으로 중성자를 조사하였을 때 생성되는 방사능은 무한대 조사했을 때의 몇 %인지 계산하라.

해설 $A = \sigma \psi N(1 - e^{-\lambda t})$

① 무한대시간 조사할 경우에는 포화방사능에 도달하게 된다.

$$(A_{\infty} = \sigma \psi N)$$

② 생성 RI의 3배 시간을 조사할 경우

$$A = \sigma \psi N(1 - e^{-\frac{0.693}{T} \times 3T}) = 0.875 \sigma \psi N = 0.875 A_{\infty}$$

따라서 반감기의 3배 시간을 조사했을 때의 방사능은 무한대 조사했을 때 얻어지는 포화방사능의 87.5 %가 된다.

415. $^{140}\text{Ba}(T: 12.8 \text{일}) \rightarrow ^{140}\text{La}(T: 40.2 \text{시간}) \rightarrow ^{140}\text{Ce}(\text{안정})$ 로 β 붕괴하여 일시방사평형을 이룰 때 ^{140}Ba 의 질량은 ^{140}La 의 질량의 몇 배인가?

해설 일시방사평형이므로 $\lambda_{\text{Ba}} N_{\text{Ba}} = (\lambda_{\text{La}} - \lambda_{\text{Ba}}) N_{\text{La}}$ 를 적용한다.

$$\frac{N_{\text{Ba}}}{N_{\text{La}}} = \frac{\lambda_{\text{La}} - \lambda_{\text{Ba}}}{\lambda_{\text{Ba}}} = \frac{(12.8 \times 24) - 40.2}{40.2} = 6.642 \text{배}$$

(참고)

일시방사평형일 때 딸핵종의 방사능이 어미핵종의 방사능보다 커진다.

$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 - \lambda_1 N_2$ 이므로 $\lambda_1 N_2$ 만큼 커진다.

416. 처음에 딸핵종 ^{90}Y (반감기 64시간)을 포함하지 않은 20 Bq의 ^{90}Sr (반감기 28.8년)에서 생성하는 ^{90}Y 는 32시간 후 몇 Bq이겠는가?

해설 $A_2(t) = A_1^0 e^{-\lambda_1 t} (1 - e^{-\lambda_2 t})$
 $A_2 = 20 \times e^{-\frac{0.693}{28.8 \times 365 \times 24} \times 32} (1 - e^{-\frac{0.693}{64} \times 32})$ IME 5.86 Bq
 (참고)
 이 문제에서 보면 ^{90}Sr 의 반감기(28.8년)는 경과시간 32시간에 비해 대단히 길므로
 $A_1^0 e^{-\lambda_1 t} = 20$ Bq로 두고 풀어도 무방하다.

417. ^{90}Sr (반감기 : 28.8년)은 β 붕괴하여 ^{90}Y (반감기 : 64.2일)이 된다. 현재 ^{90}Sr 만이 10 MBq가 있다. 다음 물음에 답하라.

- (1) 1년 후 ^{90}Y 의 방사능은 얼마인가?
- (2) ^{90}Sr 과 ^{90}Y 의 방사능이 같아지는 시기는 몇 일 후가 되겠는가?
- (3) 10일 후의 총 방사능을 구하면 얼마이겠는가?

해설 (1) $A_1^0 = 10$ MBq, $\lambda_1 = \frac{0.693}{28.8 \text{ y}} = 2.4 \times 10^{-2} \text{ y}^{-1} = 6.6 \times 10^{-5} \text{ d}^{-1}$
 $A_2^0 = 0$ MBq, $\lambda_2 = \frac{0.693}{64.2 \text{ h}} = 1.08 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1} = 94.6 \text{ y}^{-1} = 0.26 \text{ d}^{-1}$
 $A_2(t) = A_1^0 e^{-\lambda_1 t} (1 - e^{-\lambda_2 t}) = 10e^{-2.4 \times 10^{-2} \times 1} (1 - e^{-96.4 \times 1}) = 9.76$ MBq
 (2) $N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t}$, $N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$ 에서 양 변에 붕괴상수를 곱하여 방사능으로 변환시킨다.
 $A_1 = A_1^0 e^{-\lambda_1 t}$, $A_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} A_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$ 에서 $A_1 = A_2$ 이므로 다음과 같이 쓸 수 있다.
 $A_1^0 e^{-\lambda_1 t} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} A_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$
 양변을 정리하여 풀이하면 약 32일이 된다. 즉 $A_1 = A_2$ 가 되는 시간은 32일 후가 된다.
 (3) 10일 후의 총방사능 = $A_1(10\text{d}) + A_2(10\text{d})$
 $A_1(10\text{d}) = A_1^0 e^{-\lambda_1 t} = 10 \times (e^{-6.6 \times 10^{-5} \times 10}) = 9.99$ MBq
 $A_2(10\text{d}) = A_1(10)(1 - e^{-\lambda_2 t}) = 9.9 \times (1 - e^{-0.26 \times 10}) = 9.25$ MBq
 총방사능 $A(t) = A_1(t) + A_2(t) = 9.99 + 9.25$ MBq = 19.24 MBq

418. 5,000 Bq의 ^{90}Sr ($T = 28.8 \text{ y}$)에서 딸핵종 ^{90}Y ($T = 64 \text{ h}$)을 완전히 분리한 다음 32시간 후 ^{90}Sr 과 공존하는 ^{90}Y 은 몇 Bq이겠는가?

해설 ^{90}Sr 의 반감기 28.8년은 32시간에 비해 매우 길어서 이 시간동안에 ^{90}Sr 의 감쇠는 없는 것으로 보고 (풀이)한다. $A_1 e^{-\lambda_1 t} = 5000 \text{ Ci}$
 $A_2(t) = A_1 e^{-\lambda_1 t} (1 - e^{-\lambda_2 t}) = 5000(1 - e^{0.693 \times 32/64}) = 1464 \text{ Bq}$

419. 10^8 g 의 봉산수가 들어 있는 탱크의 농도가 0.5 ppm이라면 실제 봉소의 양을 계산하라.

해설 일반적으로 용액의 농도를 나타낼 때 ppm을 단위로 사용하는데 1 ppm이란 상대적인 질량을 고려하여 100만개의 용액(solution)속에 1개의 용질(solute)이 녹아 있는 용액의 농도를 말한다.

$$10^8 \text{ g} \times \frac{0.5}{1000000} = 50 \text{ g}$$

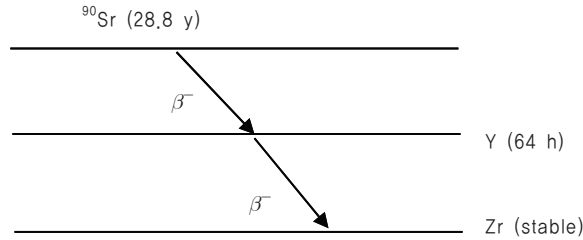
420. 열중성자를 조사하여 인공적으로 방사성 핵종을 생산할 때, 생산될 방사성핵종의 반감기(T)의 3배의 시간만큼 열중성자를 조사하면, 생산되는 방사성핵종의 양은 최대 생산량의 얼마가 되는가?

해설 생성방사능 $A = N\phi\sigma(1 - \exp^{-\lambda t})$ 에서 $N\phi\sigma(1 - \exp^{-\frac{\ln 2}{T}t})$ 에서
 $t \rightarrow 3t$ 일때, 포화계수 $(1 - \exp^{-\frac{\ln 2}{T}t}) = (1 - \exp^{-\frac{\ln 2 \cdot 3T}{T}}) = 7/8$

421. ^{235}U 과 ^{238}U 의 존재비는 현재 1 : 139이다. 지구의 나이가 45억년이고 그동안 외계에서 ^{235}U 과 ^{238}U 이 지구로 유입되지 않았다고 가정할 때 지구가 생성될 당시의 ^{235}U 과 ^{238}U 의 존재비는 얼마였겠는가? (단, ^{235}U 과 ^{238}U 의 반감기는 각각 7.5×10^8 년과 4.5×10^9 년이다.)

해설 4.5×10^9 년 전의 ^{235}U 과 ^{238}U 의 양을 각각 N_0^{235} , N_0^{238} 라고 하고 현재의 양을 N^{235} , N^{238} 라고 하면
 $N^{235} = N_0^{235} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{4.5 \times 10^9}{7.5 \times 10^8}} = N_0^{235} \left(\frac{1}{2}\right)^6$, 따라서 $N_0^{235} = 64 N^{235}$ 이다.
 $N^{238} = N_0^{238} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{4.5 \times 10^9}{4.5 \times 10^9}} = N_0^{238} \left(\frac{1}{2}\right)$, 따라서 $N_0^{238} = 2 N^{238}$ 이다.
 $\frac{N_0^{238}}{N_0^{235}} = \frac{2N^{238}}{64N^{235}} = \frac{1}{32} \cdot \frac{139}{1} = \frac{139}{32}$ 이므로 $N_0^{235} : N_0^{238} = 32 : 139$ 이다.

422. 아래의 방사성붕괴 그림에서 Y의 질량수는 (①)이다. Y를 ^{90}Sr 로부터 분리하지 않고 오랫동안 방치했을 때 ^{90}Sr 만의 방사능이 50 mCi였다면 Y의 방사능은 (②) mCi이다. 그렇다면 115.2년 후의 Y의 방사능은 (③) mCi일 것이며, 같은 시간 경과 후 이 계의 전체 방사능은 (④) mCi일 것이다. ()의 적당한 내용을 적고 설명하라.



- 해설**
- ① β^- 붕괴 : 원자번호만 1증가하고 질량수는 변화가 없으므로 질량수는 90이다.
 - ② “분리하지 않고 오랫동안 방치했을 때”라는 말은 방사평형을 이루고 있다는 의미이다. 따라서 딸핵종은 어미핵종의 반감기와 붕괴를 따르게 된다. 영속방사평형이므로 $A_1 = A_2$ 이다. 따라서 어미핵종이 50 mCi 이므로 딸핵종도 50 mCi이다.
 - ③ 방사평형상태이므로 딸핵종은 어미핵종의 반감기로 붕괴한다.

$$A = A_0 e^{-\lambda t} = 50 \times e^{-\frac{0.693}{28.8} \times 115.2} = 3.1 \text{ mCi}$$
 - ④ 6.2 mCi (방사평형상태이므로 $A_1 = A_2$ 이다. 따라서 이 계 전체의 방사능은 $3.1 + 3.1 = 6.2 \text{ mCi}$

423. 후방화트레이서법을 사용하는 이유와 사용되는 원소의 특성을 3가지 이상 기술하시오

- 해설** 산업현장에서 원료나 중간체의 추적, 도시환경 중의 이동경로조사 등에서 제품이나 공정, 자연환경 등을 방사성물질에 오염시키지 않게 하기 위해서 법적규제가 적용된다. 따라서 추적자로 비방사성물질을 사용하고 난 후 그 실험종료 직후 시료를 방사화하는 방법을 사용하게 되는데 이를 액티브블 트레이서 (Activable tracer)라 하며, 후방사화 트레이서라고도 한다.
- 액티브블 트레이서 (Activable tracer)의 요건
- ① 열중성자 방사화단면적이 커야 한다.
 - ② 반감기가 짧은 γ 선 방출 핵종이 좋다.
 - ③ 원소자체는 비싸지 않고 무독성이어야 한다.
 - ④ 자연에 존재하지 않아야 하며 실험중 외부로부터 오염되지 않아야 한다. 이를 위하여 Sm, Eu, Gd, Dy의 희토류원소를 사용한다.

424. ^{218}Po (반감기 : 3.05 qns)은 α 붕괴하여 ^{214}Pb (반감기 : 26.8분)으로 변한다. 최초의 순수한 ^{218}Po 이 존재한 때로부터 얼마의 시간이 경과하게 되면 방사성핵종의 양이 같아지게 되는가? 또한 이 시점에서의 ^{218}Po 및 ^{214}Pb 과의 분율을 계산하라.

해설 어떤 어미핵종(1)이 붕괴하여 생성되는 딸핵종(2)도 방사성핵종이라면 이 딸핵종도 붕괴하여 안정한 핵종(3)이 될 때, 이 때의 관계식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

어미핵종(1)은 붕괴해서 감소하므로 $N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t}$ 이다.

딸핵종(2)는 어미핵종(1)에서 $\lambda_1 N_1$ 의 속도로 생성됨과 동시에 자신은 $\frac{dN_2}{dt} = -\lambda_2 N_2$ 의 속도로 줄어든다.

즉, 딸핵종2의 생성속도는 $\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$ 이다. 이 식을 정리하여 풀면 다음 식이 구해진다. 아래 식은 처음부터 존재했던 딸핵종의 붕괴를 나타낸다.

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_2^0 e^{-\lambda_2 t}$$

이 때 $N_2^0 e^{-\lambda_2 t}$ 은 최초($t = 0$)에는 딸핵종이 존재하지 않기 때문에 $N_2^0 e^{-\lambda_2 t} = 0$ 이다.

따라서 $N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$ 이 된다.

따라서 아래의 두 식에서 $N_1 = N_2$ 가 되는 시간은 $t = 3.16$ 분이 된다.

$$N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

또한 이 시점에서의 ^{218}Po 및 ^{214}Pb 의 양과 최초의 ^{218}Po 과의 분율은 $N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t}$ 에서

$$\frac{N_1}{N_1^0} = e^{-\lambda_1 t} \text{ 이므로 } t = 3.16 \text{분을 대입하면 } 48.8\% \text{이다.}$$

425. 연어의 회귀 연구에 후방사화추적자(Activable tracer)를 이용하려고 한다. 올바른 후방사화추적자를 선택하기 위한 조건을 3가지 이상 적어시오.

- 해설**
- 1) 열중성자 방사화단면적이 커야 한다.
 - 2) 방사화되었을 때 반감기가 짧은 γ 선 방출 핵종이 좋다.
 - 3) 원소자체는 비싸지 않고 무독성이어야 한다.
 - 4) 자연에 존재하지 않아야 하며 실험 중 외부로부터 오염되지 않아야 한다. (따라서 Sm, Eu, Gd 등의 희토류원소를 주로 사용)

426. 상대적 생물학적 효과비(RBE)에 대하여 간략히 기술하시오.

해설 방사선의 종류가 다르면 물리학적으로는 같은 에너지양이라 해도 그 생물학적효과는 다르다. 이러한 개념에서 일정량의 감마선을 기준으로 해서 각 방사선에 의하여 생물학적효과를 비교한 것이다.

427. ^{131}Ba (반감기 12.0일)은 붕괴하여 ^{131}Cs (반감기 9.7일)로 된다. 시간 $t = 0$ 일 때 ^{131}Ba 만 1 MBq인 시료가 있었다. 4개월 후 ^{131}Ba 의 방사능과 ^{131}Cs 방사능의 비는 얼마인가?

해설 $\lambda_1 = \frac{0.693}{T_1} = 6.68 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$

$\lambda_2 = \frac{0.693}{T_2} = 8.27 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$

(1) 4개월 후의 ^{131}Ba 방사능량 계산

$$A_1 = A_1^0 e^{-\lambda_1 t} = 10^6 \times e^{-\left(\frac{0.693}{12} \times 120\right)} = 978 \text{ Bq}$$

(2) 4개월 후의 ^{131}Cs 방사능량 계산

$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} A_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \\ &= \frac{8.27 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}}{(8.27 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}) - (6.68 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1})} \times 10^6 \times (e^{-\frac{0.693}{12} \times 120} - e^{-\frac{0.693}{9.7} \times 120}) \\ &= 4103 \text{ Bq} \end{aligned}$$

$$\therefore ^{131}\text{Ba} \text{ 방사능과 } ^{131}\text{Cs} \text{의 방사능비는 } \frac{A_A}{A_B} = \frac{978}{4103}$$

≈ 0.238 이다.

[문제 428 ~ 429 지문] 평균중성자속 (Flux) 10^{16} neutrons/cm² · sec의 원자로에 20 mg의 ^{59}Co 시료를 장전하였다. ^{59}Co 의 흡수단면적은 36 barns, ^{60}Co 의 반감기는 5.6년이라고 할 때 다음 질문에 답하여라.

428. 3년 후 이 시료의 방사능은 얼마가 되겠는가?

해설 방사화 된 물질의 방사능 A 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$A = N\phi\sigma(1 - e^{-\lambda t})$, 여기서 N 은 표적물질의 원자수, ϕ 는 중성자속 밀도, σ 는 반응단면적, λ 는 ^{60}Co 의 붕괴상수, t 는 경과시간이다.

$N = \frac{wN_A}{M}$ 이고, 여기서 w 는 시료의 질량, N_A 는 아보가드로 수 ($= 6.02 \times 10^{23}$ 개), M 은 원자량 또는 분자량을 의미한다.

따라서 시료내 ^{59}Co 원자의 개수 N 은 $\frac{20 \times 10^{-3} \cdot 6.02 \times 10^{23}}{59} = 2.04 \times 10^{20}$ 개이다.

3년 뒤 방사화 된 ^{60}Co 방사능은 다음과 같다.

$$A (3 \text{ year}) = N\phi\sigma(1 - e^{-\lambda t}) = N\phi\sigma\left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}\right)$$

$$= (2.04 \times 10^{20}) \cdot (10^{16}) \cdot (36 \times 10^{-24}) \cdot \left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{5.6}}\right) = 2.278 \times 10^{13} \text{ Bq} \text{ 이다.}$$

따라서 3년 후 방사화된 시료의 방사능은 2.278×10^{13} Bq 이다.

429. 이 시료를 계속 장전한다면 최대방사능은 얼마까지 될 수 있을 것인가? 또한 이 시료를 최대 방사능의 70%까지로 만들려면 원자로에서 얼마동안 조사하여야 하는가?

해설 방사화된 시료의 최대방사능은 다음과 같이 구할 수 있다.
 원자로 내에서의 조사시간 $t \rightarrow \infty$ 일 때 이므로

$$A_{\max} = N\phi\sigma(1 - e^{-\lambda \cdot \infty}) = N\phi\sigma = (2.04 \times 10^{20}) \cdot (10^{16}) \cdot (36 \times 10^{-24}) = 7.344 \times 10^{13} \text{ Bq}$$

최대방사능의 70%가 될 때까지 필요한 조사시간은 다음의 식으로부터 구할 수 있다.

$$0.7A_{\max} = N\phi\sigma(1 - e^{-\lambda t}) \text{ 이므로 } 0.7 = 1 - e^{-\frac{0.693}{5.6}x} \text{ 이 된다.}$$

$$e^{-\frac{0.693}{5.6}x} = 0.3 \text{ 이므로 } -\frac{0.693}{5.6}x = \ln 3 = -1.204$$

따라서 $x = 9.73$ 년이 소요된다.

430. 원자로에서 중성자의 누설이 없다고 가정했을 때 증배계수에 대해 설명하시오.

해설 증배계수

- 중성자의 누설이 없는 무한 원자로를 가정할 때 이 때의 증배계수를 무한증배계수(Infinite Multiplication Factor, k_{∞})라고 하며 4인자(재생계수, 속핵분열 계수, 공명이탈 확률, 열중성자 이용률)의 곱으로 정의되기 때문에 4인자공식이라고도 한다.

$$k_{\infty} = \eta \epsilon p f$$

인 자	정 의
η : 재생계수(Reproduction factor)	$\frac{\text{열핵분열 결과 생성되는 속중성자 수}}{\text{연료에 흡수되는 열중성자 수}}$
ϵ : 속핵분열 계수(Fast Fission factor)	$\frac{\text{모든 핵분열 결과 생성된 속중성자 수}}{\text{열핵분열로 생성된 속중성자 수}}$
p : 공명이탈 확률(Resonance Escape Probability)	$\frac{\text{공명포획을 피하여 나오는 열외중성자 수}}{\text{공명영역에 들어가는 열외중성자 수}}$
f : 열중성자 이용률(Thermal Utilization factor)	$\frac{\text{연료에 흡수된 열중성자 수}}{\text{원자로내에 흡수된 열중성자 수}}$

- 실제 원자로에서는 감속과정에서 중성자 누설이 일어나므로 열중성자 및 속중성자가 누설되지 않을 확률을 곱하여 6인자 공식으로 사용되며 이를 유효증배계수(Effective Multiplication Factor, k_{eff})라 한다.

$$k_{eff} = k_{\infty} (= \eta \epsilon p f) P_f P_{th}$$

인 자	정 의
P_f : 속중성자 비누설확률 (Fast Neutron Non-leakage Probability)	$\frac{\text{감속과정에서 누설되지 않은 속중성자의 수}}{\text{속중성자의 수}}$
P_{th} : 열중성자 비누설확률 (Fast Neutron Non-leakage Probability)	$\frac{\text{감속과정에서 누설되지 않은 열중성자의 수}}{\text{열중성자의 수}}$

431. 핵반응 단면적(미시적 단면적)의 정의와 종류에 대해 설명하시오.

해설 핵반응 단면적 : 입사하는 입자플루언스(주로 중성자)에 대해 표적원자핵 하나가 반응할 확률의 비를 핵반응단면적이라 한다.

$$\sigma = \frac{P}{\phi}$$

이 때 나타나는 단위가 핵의 유효표적 면적으로 나타난다. 이 유효면적은 핵의 실제 면적이 아니라 반응이 일어나는 정도를 나타낸다.

핵반응 단면적의 크기는 매우 작아 1 b [barn] = 10^{-24} cm²를 사용한다.

- 핵반응 미시적 단면적의 종류
 - ; 산란단면적(탄성산란 + 비탄성산란)
 - ; 흡수단면적(포획 + 분열)

432. 원자로 출력의 제어는 중성자속을 조정함으로써 이루어진다. 이 중성자속을 제어하기 위해 속중성자를 열중성자 영역으로 감속시켜 핵분열률을 조절한다. 중성자 반응의 대부분이 탄성산란반응이므로 중성자는 커다란 핵과 충돌하는 것보다 수소핵과 정면충돌하는 것이 에너지를 많이 전달하게 된다. 2 MeV의 중성자가 물분자와의 충돌로 한번에 반씩의 에너지를 잃는다면 그 에너지가 1 eV가 되기까지 약 몇 번의 충돌이 이루어지는가?

해설 충돌 할 때 마다 에너지는 반으로 줄어든다.

따라서 n번 충돌 후 중성자의 에너지는 $E = \left(\frac{1}{2}\right)^n E_0$ 가 된다.

처음의 에너지가 2 MeV이고 이 에너지가 1 eV이하로 되기 위해서는 $\left(\frac{1}{2}\right)^n \times 2 \times 10^6 \leq 1$ 을 만족해야 한다.

$$\left(\frac{1}{2}\right)^n \leq \frac{1}{2 \times 10^6}$$

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right)^n \leq \ln\left(\frac{1}{2 \times 10^6}\right)$$

$$n \ln 2 \geq \ln(2 \times 10^6)$$

$$n \geq \frac{\ln(2 \times 10^6)}{\ln 2}$$

$$n \geq 20.93$$

∴ 약 21회의 충돌이 일어나야 한다.

433. 5 mg의 Na_2CO_3 (분자량 106)를 원자로에 넣어 60시간동안 중성자조사하여 ^{24}Na 를 생성하였다. 생성방사능은 몇 MBq인가? (반응단면적 : 0.53 barn, 중성자다발밀도 : 1×10^{12} 개 / $\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ 이다.)

해설

$$N = \text{mol} \times N_a$$

$$N_a(\text{아보가드로수}) = 6.023 \times 10^{23} \text{개}$$

$$1 \text{ barn} = 1 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$$

$$S(\text{포화계수}) = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = 0.693/T$$

$$A = N\phi\sigma S = n\phi\sigma(1 - e^{-\lambda t})$$

$$= [(2 \times 0.005)/106] \times 6.023 \times 10^{23} \times 10^{12} \times 0.53 \times 10^{-24} \times [1 - (1/2)^{60/15}]$$

$$= 2.8 \times 10^7 \text{ Bq} = 280 \text{ MBq}$$

434. 방사성동위원소를 중성자 조사를 이용하여 생성시킬 때 방사능을 높이기 위해서 크게 해야 할 것 4가지를 기술하시오

해설 - 중성자조사시 시간에 따른 생성방사능

$$\text{미소시간 } dt \text{ 동안에 일어나는 반응수 } dN, \frac{dN}{dt} = N_0\phi\sigma - \lambda N$$

(N_0 : 표적원자수, N : 생성원자수, $\phi(\text{n/cm}^2 \cdot \text{s})$: 열중성자속밀도, σ : 반응단면적(cm^{-2}), $\lambda(\text{s}^{-1})$: 생성핵종 붕괴상수, $t(\text{s})$: 조사시간)

따라서 생성되는 핵종의 수는

$$N = \int_0^t N_0\phi\sigma e^{-\lambda t} dt = N_0\phi\sigma \frac{(1 - e^{-\lambda t})}{\lambda} \text{로 나타난다.}$$

붕괴상수를 반감기로 나타내고, 표적핵의 존재비를 고려하면

$$A = \lambda N = N_0\phi\sigma(1 - e^{-\lambda t})$$

$$= N_0\phi\sigma(1 - e^{-0.693t/T})$$

$$A = N_0\phi\sigma(1 - e^{-\lambda t})$$

따라서 핵종의 수(방사능)을 늘리기 위해서는

- ① 표적원자수(N_0)를 늘린다.
- ② 중성자속밀도($\phi(\text{n/cm}^2 \cdot \text{s})$)를 늘린다
- ③ 반응단면적(σ)이 큰 표적을 사용한다.
- ④ 조사시간(t)을 늘린다.

435. 빗물 속에 방사능을 가진 염화물이 들어 있다. 빗물 속에 염화물의 양을 정량하기 위하여 비방사성 염화물 50 μg 을 첨가하고 충분한 은이온을 넣어 침전시켜 침전물의 비방사능은 220Bq/ μg 로 나타났고 150 μg 을 첨가한 결과 180 Bq/ μg 으로 나타났다. 빗물 속의 염화물의 양은 얼마인가?

해설 빗물 속의 방사성염화물의 양을 X라 하고 방사능을 S Bq이라 할 때

$$\text{첫번째 침전물의 비방사능} = \frac{S}{X+50} = 220\text{Bq}/\mu\text{g}$$

$$\text{두번째 침전물의 비방사능} = \frac{S}{X+150} = 180\text{Bq}/\mu\text{g}$$

위의 두 방정식을 연립해서 풀면

$$220(X+50) = 180(X+150)$$

$$40X = (180 \times 150) - (220 \times 50)$$

$$X = 400$$

\therefore 빗물 속의 화물의 양은 400 μg

436. Milking의 원리에 대해 설명하고 장점을 3가지 이상 기술하시오

해설 방사평형에 있는 딸핵종을 분리하는 간단한 조작으로써 딸핵종을 어미핵종에서 분리 후 일정한 시간이 경과되면 다시 방사평형에 도달하므로, 딸핵종을 다시 분리하는 것을 밀킹이라 하며 그 장치를 Cow System 또는 RI Generator 라고 한다. 밀킹의 장점은

- 무담체 RI를 원자로나 가속기로부터 멀리 있는 곳에서 사용
- 딸핵종의 반감기를 어미핵종의 반감기로 늘려쓰는 효과
- 어미핵종의 긴 반감기를 이용 재차 딸핵종 채취가능
- 희망하는 시간에 RI 획득
- 만족스러운 화학적, 방사화학적 순도

437. 선에너지전달(LET)이 커지면 상대 생물학적효과비(RBE)는 어떻게 되겠는가?

해설 방사선에 의한 생물학적 효과의 정도는 흡수된 에너지에 의한다. 그러나 LET가 다르면 동일한 흡수선량이라 하더라도 생물학적 효과가 달라진다.

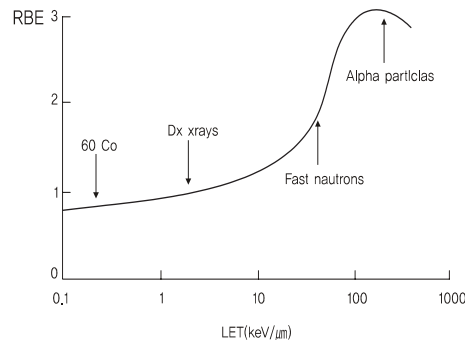
따라서 RBE는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$RBE = \frac{\text{어떤 효과를 얻는데 필요한 기준방사선의 흡수선량}}{\text{같은 효과를 얻는데 필요한 시험방사선의 흡수선량}}$$

기준 방사선으로는 X, γ 선을 주로 사용하며 RBE는 환경조건에 따라 크게 달라질 수 있다. 일반적으로 LET가 커지면 상대 생물학적 효과비(RBE)는 커지는데, 약 100~150 keV/ μm 까지 증가하다가 감소하기 시작한다.

438. 선에너지전달(LET)과 생물학적효과비(RBE)와의 관계를 기술하시오.

해설 LET는 전리 방사선이 물질 속을 통과할 때 비정의 단위 길이 당 평균으로 잃어버리는 에너지를 의미한다. 방사선에 피폭한 경우에 같은 흡수선량이라도 방사선의 종류, 에너지의 차이에 의하여 생물에 미치는 효과는 양적으로 차이가 있다. 그 차이를 비율로 나타낸 것이 생물학적 효과비(RBE)이다.
일반적으로 LET가 증가하면 RBE값도 증가한다. 그러나 100 keV/μm 이상의 고LET에서는 overkilling 효과로 인해 RBE가 줄어들게 된다.



439. 인체조직 및 장기의 방사선 감수성에 대하여 설명하시오.

- 해설**
- ① 높은 조직 : 생식선, 골수, 임파조직, 비장, 흉선
 - ② 중간 조직 : 표피, 장상피, 눈
 - ③ 낮은 조직 : 간장, 근육, 결합조직, 혈관, 지방조직, 신경조직

440. 방사선의 직접작용과 간접작용에 대해 설명하라.

- 해설**
- 1) 직접작용 - 수용액에 방사선을 조사할 경우 용질분자가 직접 방사선을 흡수하여 분해하는 현상.(용액이 진할 경우)
 - 2) 간접작용 - 수용액에 방사선을 조사할 경우 용매에 방사선이 흡수되어 생성된 활성종에 의해 용질분자가 분해하는 현상.(용액이 묽은 경우)

<참고>

방사선의 간접작용에 영향을 미치는 4가지 효과

- (1) 희석효과 : 용질의 불활성화가 간접작용에 의한 것이라면 농도가 증가해도 변화되는 분자수는 변하지 않는다. 한편, 직접작용에 의한 것이라면 농도가 증가하면 변화되는 분자수는 증가한다.
- (2) 화학적 보호효과 : 수용액에 목표로 하는 용질 이외에 화학물질을 넣으면 조사에 의한 용질의 변화가 작아진다.
- (3) 동결효과(온도효과) : 조사된 수용액에 생긴 유리기가 확산되어 장애가 생긴다고 한다면, 온도를 낮추어서 확산속도를 작게 하여 장애를 줄일 수 있다.
- (4) 산소효과 : 방사선 조사시 조사부위의 산소분압이 높아지면 방사선감수성이 증가한다.

445. 확률적 영향과 결정적 영향을 설명하라.

해설 1) 결정적 영향

- ① 단기간에 고선량 피폭으로 인한 세포사 또는 급성반응에서 기인하는 영향이다.
- ② 일정선량 이하에서는 영향의 정도가 임상적으로 중요하지 않는 발단선량이 존재한다.
- ③ 피폭과 영향발현의 인과관계가 필연적이다.
- ④ 급성이며 증상의 특이성이 있다.
- ⑤ 선량을 발단치 이하로 유지하면 방지가 가능하다.
- ⑥ 사고피폭이나 방사선 치료시 주의해야 한다.

2) 확률적 영향(만성)

- ① 세포의 돌연변이나 세포유전의 결과로 발생 가능한 영향이다.
- ② 발단선량에 무관하게 선량에 비례하는 위험이 있다.
- ③ 영향의 발현은 우연적(확률적)이다.
- ④ 지발성이며 다른 원인에 의한 발병과 구분이 불가능하다.
- ⑤ 합리적으로 달성할 수 있는 한 낮게 유지하여 최소화한다.
- ⑥ 저선량, 장기간 피폭으로 인하여 발병 할 수 있다.
(예) 암, 백혈병, 유전결함

446. 방사선 조사로 인해 DNA 분자에 일어나는 변화 또는 손상을 열거하라.

해설 1) 염기의 구조변화

- 3) 사슬사이의 수소결합의 절단
- 5) 두가닥의 동시절단
- 7) 다른 DNA 분자와의 가교 형성

2) 염기의 탈락 또는 삽입

- 4) 한가닥의 절단
- 6) 나선내의 가교 형성
- 8) 단백질과의 사이의 가교 형성

447. 지방산(fatty acid)에 방사선을 조사하였을 때 일어나는 현상을 간단하게 설명하라.

해설 중성지방에서 방사선에 민감한 부위는 지방산으로 특히, 불포화지방산이 포화지방산보다 산화가 쉽게 일어난다. 즉, 방사선의 조사로 지방산이 공명구조를 이루게 되며, 산소 존재 하에 유기과산화물이 생성되어 유리기는 계속 연쇄반응을 일으키게 된다. 이러한 유리기 및 과산화물은 체내에서 단백질 및 기타 유기물과 반응하여 유기물을 변성시키거나 대사장해를 유발하게 된다.

(참고)

중성지방 또는 지방산에 방사선을 조사하면 지방산이 탄소골격(carbon backbone)간의 결합포화도가 바뀌어 포화와 불포화를 반복적으로 교행하는데 이와 같은 변화를 지방산의 공명구조(resonance structure)라 한다.

448. 방사선의 생물학적 효과에 영향을 미치는 물리적, 생물학적, 화학적 요인을 기술하라.

해설 방사선에 의한 생물학적 수식인자(방사선장해에 영향을 미치는 인자)를 기술하라는 문제와 같은 맥락의 문제이다.

방사선에 의한 인체장해는 투과성 방사선에 의한 체외피폭과 방사성물질의 인체침투로 인한 체내피폭이 있으며 이러한 방사선피폭에 의해 장해가 발생된다. 그럼 방사선장해에 영향을 미치는 인자를 알아보자.

1) 물리적 요인

- (1) 흡수선량 : 방사선장해의 지배인자로 인체의 장해는 흡수선량에 직접적으로 비례한다.
- (2) 흡수선량률 : 세포는 회복 또는 재생능력이 있어서 단시간에 받아서 치명적일 수 있는 선량준위도 장기간 나누어 피폭되면 중대한 장해를 받지 않을 수 있다.
- (3) 선량분포 : 동일한 선량이 어떤 장기나 조직에 균등하게 피폭되었을 때보다는 그 장기의 일부에 집중하여 피폭되면 방사선장해발생 가능성이 더 커진다.
- (4) 피폭범위 : 피폭되는 부위가 전신인지 또는 일부 장기/조직인지에 따라 장해의 영향은 다르다.
- (5) 선질 : 방사선의 종류와 에너지에 따라 흡수선량에 따른 등가선량이 달라지므로 장해발생의 위험도 다르다.

2) 생물학적 요인

- (1) 방사선 감수성 : 신체의 방사선 감수성은 세포나 장기/조직의 종류에 따라 다르다. 또한 세포분열 중에 방사선피폭을 받았을 경우 감수성이 높으므로 세포분열빈도가 높을수록 방사선 감수성은 커진다.
 - ① Bergonie-Triboneau의 법칙 : 세포의 방사선에 대한 감수성은 증식활동 정도에 비례하며 분화 정도에 반비례한다.
 - ② 세포분열주기에 있어서 방사선이 조사된 시기에 따라 방사선 감수성이 다르다.
(M기 : 고감수성, S기 : 저감수성)
- (2) 연령 : 연령이 어릴수록 방사선감수성이 좋다.
- (3) 생물종 및 유전적 계통 : 동물의 종류에 따라 방사선감수성이 다르며 보통 하등동물일수록 방사선감수성이 낮다. 또한 동종의 동물일지라도 유전적인 계통에 따라 다르다.
- (4) 기타 성별이나 건강상태에도 영향을 받는다.

3) 화학적 요인 (환경적 요인)

- (1) 방사성방호물질
- (2) 방사선조사 중에 생체에 산소가 많이 존재할수록 감수성이 높으며 온도가 낮을수록 방사선 감수성이 낮다.

(참고)

체내피폭의 경우에는 위의 인자 외에 다음의 영향을 받는다.

- (1) 방사성핵종의 침착부위 : 방사성핵종은 친화도에 따라 장기나 조직에 침착하는 정도가 달라지므로 핵종에 따라 방사선장해도 다르게 나타난다.
- (2) 유효반감기 : 인체에 들어온 방사성물질은 인체대사(생물학적 반감기)나 물리적인 붕괴(물리적 반감기)에 의해 그 양이 줄어들게 되는데 이에 따라 장해의 정도도 변한다.
- (3) 방사성핵종의 물리·화학적 특성 : 체내에 들어오는 방사성핵종들은 입자크기, 수용성이나 화학형에 따라 체내친화 또는 침투부위가 달라질 수 있어 장해에 영향을 미친다.

449. 세포에 대한 방사선의 생물학적 작용을 3단계로 분류하여 설명하라.

- 해설**
- ① 물리적 과정 : 방사선이 세포 중의 원자와 작용하여 여기, 전리를 일으켜, 원자나 분자를 불안정한 상태로 변화시킨다.
 - ② 생화학적 과정 : 전리 또는 여기된 원자는 불안정하고 활성이 크므로 다른 원자와 반응하고, 유리기를 생성하여 분자level에 장애를 발생시킨다. 이들 화학반응 중에서 세포의 기능에 있어서 중요한 부분에 생긴 장애를 초기장애라 하고, DNA 장애가 가장 중요한 초기장애이다.
 - ③ 생물학적 과정 : 분자level의 변화는 생물학적 과정에 의해 다시 확대되어 가시적인 장애가 된다(확대과정). 최종적으로 세포사에서 개체사를 유발하게 되고 장애의 과정에서 회복도 생긴다.(최종과정)

450. 대선량 피폭에 의한 전형적인 급성장해의 증후가 진전되는 3단계를 쓰고 그 임상적 증상을 설명하시오.

- 해설**
- ① 전기 : 일시적인 오심 및 구토(수 일)
 - ② 잠복기 : 별다른 증상이 없음(수 일~수 주일)
 - ③ 발병기 : 각종 증상이 현저히 나타난다.
 - ④ 사망 또는 회복기

451. 방사선에 의해 일어나는 염색체 돌연변이의 종류를 써라.

- 해설** 염색체 수준에서 일어나는 변화를 염색체 돌연변이(chromosomal mutation 또는 chromosomal aberration)라 하며 다음의 네 종류가 있다.
- 1) 결실(deletion) : 염색체의 일부분이 절단되어 소실된다.
 - 2) 역위(inversion) : 절실된 염색체조각이 염색체의 위치가 뒤바뀌어 재결합된다.
 - 3) 중복(duplication) : 절단된 염색체 부분이 상동염색체의 온전한 짝에 결합되어 동일한 유전자를 이중으로 가지게 된다.
 - 4) 전좌(translocation) : 절단된 염색체 부분이 상동염색체의 짝이 아닌 다른 염색체에 결합된다.

452. 눈의 수정체에 방사선이 조사되었을 때 발생될 수 있는 장애는 무엇인가?

해설 눈의 수정체는 방사선 감수성이 높은 조직의 하나로 수정체혼탁이나 백내장이 발생할 수 있다.

장애의 종류	급성피폭	만성피폭
수정체혼탁	2 Gy	5 Gy
백 내 장	5 Gy	8 Gy

453. 방사선피폭에 의한 급성방사선 증후군 4가지를 설명하시오.

해설 ① 분자손상

1,000 Gy 이상 피폭시 생물의 생명을 유지하는데 필수적인 산소나 호르몬 등과 같은 물질이 파괴 또는 활성도가 상실되어 피폭도중 또는 직후에 사망한다.

② 중추신경 증후군

포유동물이 100 Gy 정도의 전신 피폭시 1일~2일 후에 죽는다.(중추신경 손상)

③ 위장 증후군

포유동물이 9~100 Gy 정도 피폭시 대부분 2일~5일 만에 죽는다.

(소화기관의 장애 : 소장용모노출, 설사, 백혈구 감소, 세균감염 등)

④ 조혈 증후군

사람이 5 Gy 정도의 전신 피폭시 직후에 메스꺼움, 구토, 2주~3주 후 조혈 기관(골수)의 장애발생이 일어난다.(빈혈, 충혈, 세균감염으로 사망한다.)

454. 임신 중 피폭효과에 대하여 기술하시오.

해설 ① 태아사망

② 기형/불구 발생

③ 기능장애

④ 유전형질 변화

455. 방사선피폭에 의한 급성장해에 대해 설명하시오.

해설 방사선량에 따른 인체의 급성장해 효과

선량범위 (Gy)	임상학적 증상	비 고
0~0.25	별다른 증상 없음.	
0.25~1.0	대체로 증상이 없으나 일부 오심, 구토와 같은 가벼운 증상이 있을 수 있음	골수손상, 적혈구, 백혈구 및 혈소판량 감소
1.0~3.0	심한 구토증, 빈혈, 무력감 및 감염예상	심각한 혈액학적 장애 회복가능 (확실치 않음)
3.0~6.0	위의 증세 이외에 출혈, 설사 및 영구 불임	4.5~5 Gy에서 피폭자 50% 정도가 사망 : LD ₅₀₍₃₀₎
> 6.0	위의 증세 이외에 중추신경계 손상 및 장해 10 Gy 이상 피폭자는 혼수상태	거의 100% 사망

456. 생식선에 방사선이 조사되었을 때 불임의 발단선량을 써라.

해설 생식선에 대한 결정론적 영향은 불임과 호르몬 분비 이상이 발생할 수 있다. 방사선에 대한 감수성은 세포의 성숙단계에 따라 다르며 남성의 경우 후기정원세포, 여성의 경우 2차 난모세포가 가장 방사선 감수성이 높다.

* 불임발단선량

남 성	일시불임	0.15 Gy
	영구불임	3~5 Gy
여 성	일시불임	0.65~1.5 Gy
	영구불임	7~8 Gy(20~30세)
		3~5 Gy(40세)

457. 피부에 대한 방사선의 급성장해를 설명하라.

해설 피부 표피의 기저세포층은 항상 세포분열을 반복하고 있고 방사선 감수성이 높다. 기저세포층은 피부표면으로부터 평균 70 μm 깊이에 존재한다.

다음은 1회 조사시 방사선량에 따른 피부의 급성장해를 나타내었다.

	선 량 (Gy)	급 성 영 향
1 도	3	탈모 및 지문소실
2 도	5.5	홍반 및 색소침착
3 도	8.5	수포형성
4 도	10	괴양형성

458. 방사선의 발암 단계를 쓰고 각 단계별 특징을 간단히 설명하라.

- 해설**
- 1) 초기유발단계 : 정상세포가 방사선에 의해 피폭되는 단계
 - 2) 촉진단계 I : 복구되지 않은 세포의 손상이 고정되는 단계
 - 3) 촉진단계 II : 촉진물질 접촉을 통해 종양이 발생하는 단계
 - 4) 진행단계 : 양성 또는 악성의 종양세포가 암세포로 전환되는 단계
 - 5) 질병발생단계 : 각종 암이 발생하는 단계

459. 방사선피폭의 생물학적영향의 발생시기에 대하여 구분하시오.

- 해설**
- ① 급성영향 : 피폭 후 수주일 이내 전초기, 잠복기, 발병기, 사망
 - ② 만성영향 : 수주에서 수년까지에 걸쳐 영향 나타남. (예 : 암)

460. 포유동물의 배에 미치는 방사선의 영향에 대하여 설명하라.

해설 포유동물의 배의 발생단계는 크게 착상전기, 기관형성기, 태아기로 구분할 수 있으며 각 시기마다 방사선에 대한 영향을 분류하면 다음과 같다.

- 1) 착상전기 : 이 시기에 방사선을 조사 받으면 사망할 확률이 높다.
- 2) 기관형성기 : 방사선에 의한 사망률은 착상전기보다 낮으나 기형이 발생할 확률이 매우 높다.
- 3) 태아기 : 신체 및 정신 발달지체 현상이 나타나며, 백혈병 발생률이 가장 높은 시기이다.

461. 방사선피폭이 오랜시간 후에 유발되는 만성효과를 기술하시오.

해설 ① 유전전 영향

유전인자변이로 후손의 신체적·정신적 영향을 미친다.

② 암유발

백혈병, 피부암, 폐암, 갑상선암, 유방암 등을 유발시킨다.

③ 태아에 미치는 효과

임신 중 피폭으로 정신박약아, 진진아 등이 출생된다.

④ 방사선에 의한 노화

조직이나 세포의 기능이 저하되고 적응력이 감소한다.

⑤ 수명단축

피폭에 의한 장애가 회복되지 않고 누적되므로 노화촉진에 의한 수명이 단축된다.

462. 방사선피폭에 의해 지능저하가 발생하는 정도와 결정론적 영향인지 확률적 영향인지 구분하여 기술하시오.

해설 태아기의 방사선피폭에 의해 발생하는 가능성이 있는 태아 특유의 영향중 주요한 것은 다음 세 가지이다.

- ① 유산 (태아사망)
- ② 기형
- ③ 지능지체

각각의 경우 영향의 감수성이 높은 시기는 다르며, 상기 세 가지 영향은 결정론적 영향으로 분류된다. 문턱선량이 존재하며 감수성이 높은 기간에 이 문턱선량을 초과한 피폭이 아닌 경우 영향이 발생하지 않는다.

감수성이 높은 시기	문턱선량	영향
수정~15일	0.1 Gy	유산
수정 후 2~8주	0.1 Gy	기형
수정 후 8~15주	0.12 Gy	지능저하

463. 가임여성에 대한 방사선방호방법에 대하여 논하시오.

- 해설** ① 일반공중 구성원에 대해 제공되는 광의의 표준과 대등한 태아에 대한 방호표준을 제공해야 한다.
② 직업상 피폭에 대한 권고 선량한도를 포함

464. 방사선피폭의 생물학적영향을 개체를 기준으로 하여 구분하시오.

- 해설** ① 신체적 영향 : 피폭한 개체에 영향이 나타남
② 유전적 영향 : 피폭한 개체의 후손에게서 나타남

465. 방사선피폭에 영향을 미치는 생물학적요인 5가지를 기술하시오.

- 해설** ① 연령
② 유전적 인자
③ 생물의 종류
④ 산소효과
⑤ 온도

466. 유전성질환의 종류에 대하여 기술하시오.

- 해설** 유전성질환은 유전학적인 특징 및 다른 요인과의 상호관계 유무에 따라 다음과 같이 3가지로 구분한다.
① 멘델성 질환
② 염색체성 질환
③ 다인자성 질환

467. 방사선장해 가운데 현재 만성장해로 간주되고 있는 것을 기술하시오.

- 해설** ① 방사선에 의한 노화
② 수명단축
③ 발암
④ 백혈병
⑤ 악성종양
⑥ 재생불량성 빈혈
⑦ 백내장 등

468. OER(Oxygen Enhancement Ratio)을 정의하고 산소효과를 설명하시오.

- 해설** OER 이란 산소효과비(Oxygen Enhancement Ratio)를 말하며 다음과 같이 정의된다.

$$OER = \frac{\text{산소가 존재하는 조건하에서의 방사선영향}}{\text{산소가 없는 조건하에서의 방사선영향}}$$

산소효과란 산소농도가 높은 조건하에서 세포나 생물체를 방사선에 조사하면 반치사선량 LD₅₀이 낮아진다는 것을 말한다.

469. 세포질에서 방사선 방어물질(protective agent)이 존재한다고 할 때 피폭에 대한 방어기작을 기술하라.

해설 1) 방어물질의 방어기작

- ① 유리기의 제거 : SH화합물은 방사선조사로 생성된 유리기를 불활성화 시킨다. 즉, 방어물질 자신이 유리기의 작용을 쉽게 받기 때문에 유리기 포착자로 작용하여 다른 물질을 보호한다는 것이다. 따라서 유리기는 반응력이 없는 안정된 유리기로 전환되어 간접작용에 의한 장애를 감소시킨다.
- ② 수소공여에 의한 회복 : 분자가 방사선에 의하여 유리기(R)로 전환되면 방호제인 SH화합물이 유리기에 수소원자를 전달하여 다시 원상태로 회복하게 된다.
- ③ 세포성분과의 상호작용 : 방호물질이 세포 구성성분과 결합함으로써 방호효과를 나타낸다.
 - thiol 화합물은 세포내에서 DNA합성을 저해하는 작용을 하며, 세포의 효소계로 하여금 DNA 수복에 필요한 시간적 여유를 확보할 수 있게 한다.
 - 방호물질은 세포내에서 존재하는 단백질의 -SH기와 결합하여 mixed disulfide를 형성하여 유리기의 공격으로부터 특정 단백질을 보호하는 역할을 한다.

2) 방사선 방호물질의 작용 방법

- ① 방사선 방호제는 생체 내에 투입되었을 때 방사선에 의해 생성된 유리기를 제거하거나 불활성화 시킴으로서 방호효과를 나타낸다.
- ② 유리기의 제거, 수소공여에 의한 손상회복, 세포물질과의 작용 그리고 조직 내 저산소 상태 유발 등의 과정으로 구분할 수 있으나, 각 과정간의 구분은 무의미하며 실제 방사선 방호효과는 각 과정의 복합적 작용에 의해 나타난다고 볼 수 있다.

470. 방사선 방호제의 메카니즘을 설명하시오.

해설 (1) 유리기의 제거

방사선에 의하여 생성된 세포내의 유리기(OH)가 시스테인과 반응하여 시스테인은 산화되며 유리기는 반응력이 없는 안정된 유리기로 전환되어 간접작용 장애를 감소시킨다.
 $R - SH + OH \rightarrow RS + H_2C$

(2) 수소공여에 의한 손상회복

단일분자(RH)가 방사선에 의하여(간접 또는 직접작용) 유리기(R)로 전환되면 $R \rightarrow R+H$ 이 유리기(R)는 서로 반응하여 $R + R \rightarrow R - R$, $R + O_2 \rightarrow RO_2$, 등의 과산화물이 된다. 이 때 방호물질(R)은 수소를 공여함으로써 다시 원상태로 회복된다.

(3) 세포성분과의 상호작용

방호물질 세포내에 존재하는 단백질의 -SH기와 결합하여 mixeddisulfide를 형성하여 유리기의 공격으로부터 특정 단백질을 보호하는 역할을 한다.

(4) 조직내 저산소 상태 유발

thino기는 쉽게 산화된다. 생체내에 투입된 thino기는 조직내 산소와 결합하여 산화되면서 저산소 상태를 유발함으로써 방사선으로부터 세포물질을 보호하는 효과를 나타내게 된다.

- 방사선 방호제는 생체내에 투입되었을 때 근본적으로 방사선에 의해 생성된 유리기를 제거 또는 불활성화시킴으로써 방호효과를 나타낸다. 그 메카니즘은 위에 예를 든 여러 가지가 있을 수 있으나 각 과정간의 엄격히 구분하는 것은 무의미하며 실제 방사선 방호효과는 여러 메카니즘의 복합적 작용에 의해 나타난다고 볼 수 있다.



제2장 방사선취급기술

1. 기체충전형 검출기
2. 섬광검출기
3. 반도체검출기
4. 감마선 핵종분석
5. 종합 문제
6. 주관식

제2장 방사선취급기술

1. 기체충전형 검출기

1. 조사선량률이 일정할 때 자유공기 전리함의 전리전류에 대하여 틀린 것은?

- ① 전리전류는 전리함의 유효체적에 비례한다.
- ② 전리전류는 기압에 비례한다.
- ③ 전리전류는 절대온도에 반비례한다.
- ④ 인가전압이 증가하면 전리전류는 증가한다.

해설 ④

- 인가전압이 어느 전압 이상이면 전리전류는 포화된다.

2. 다음의 전리함에 대한 설명 중 틀린 것은?

- ① 펄스형 전리함은 민감도가 우수한 장점을 지닌다.
- ② 전리함은 방사선감시 목적으로 사용된다.
- ③ 전압이 높아짐에 따라 생성되는 이온쌍의 수도 증가한다.
- ④ 개인선량 감시의 목적으로 소형 전리함인 포켓선량계가 사용된다.

해설 ③

- 전리함 영역에서는 전압이 높아짐에 따라 생성되는 이온쌍의 수가 일정하며 생성되는 전류도 일정하다.

3. 전리함 영역이 평탄한 이유는?

- ① 입사 방사선량이 일정하기 때문이다.
- ② 전리능이 일정하기 때문이다.
- ③ 인가전압의 증가에 따라 수집되는 이온쌍 수는 변하지 않기 때문이다.
- ④ 전리함 내의 생성전자의 증배계수가 전압변동 만큼 보상되기 때문이다.

해설 ③

전리함 영역에서는 인가전압이 증가해도 전류측정치는 거의 변하지 않는데, 이때의 인가전압을 포화전압이라 하고 이때 흐르는 전류를 포화전류라 한다.

4. 다음 중 전리함의 특성으로 틀린 것은?

- ① 전리함은 환경감시의 목적으로는 사용할 수 없다.
- ② 전리함은 입사 방사선의 선질 구분이 가능하다.
- ③ 전리함은 3 MeV이하의 광자에 대해 조사선량 측정이 가능하다.
- ④ 전자평형이 성립하기 위해 벽물질의 두께가 2차전자의 최대 비정보다 조금 두꺼워야 한다.

해설 ①

가압형 전리함은 민감도가 높아 환경감시의 목적으로 사용할 수 있다.

5. 조직등가 전리함을 선량평가에 사용하기 위해서 성립해야 하는 관계식은?

(단, D_m 은 조직등가벽의 흡수선량, D_{air} 은 공동내 공기의 흡수선량, S_m 은 조직등가벽의 질량저지능, S_{air} 은 공동내 공기의 질량저지능이다.)

- ① $\frac{D_m}{D_{air}} = \sqrt{\frac{S_m}{S_{air}}}$
- ② $\frac{D_m}{D_{air}} = \frac{S_m}{S_{air}}$
- ③ $\frac{D_m}{D_{air}} = \sqrt{\frac{S_{air}}{S_m}}$
- ④ $\frac{D_m}{D_{air}} = \frac{S_{air}}{S_m}$

해설 ②

Bragg - Gray 원리 성립

6. 1.5MeV의 하전입자가 펄스형 전리함에서 모든 에너지를 잃었다면, 생성되는 펄스의 크기는 얼마인가? (단, $W_{air} = 34eV$, 정전용량 = $10^{-10} F$)

- ① $3 \times 10^{-5} V$
- ② $4.8 \times 10^{-5} V$
- ③ $3 \times 10^{-6} V$
- ④ $4.8 \times 10^{-6} V$

해설 ②

$$n = \frac{E}{W} = \frac{1.02 \times 10^6 eV}{34eV/ion\ pair} = 3 \times 10^4$$

$$V = \frac{3 \times 10^4 \times 1.6 \times 10^{-19}}{10^{-10}} = 4.8 \times 10^{-5} V$$

7. 다음 중 혼합방사선장에서 조사선량률을 측정하기에 가장 적합한 검출기는 어느 것인가?

- ① 자유공기 전리함
- ② GM 계수관
- ③ ZnS(Ag) 섬광계수기
- ④ NaI(Tl) 섬광계수기

해설 ①

• 혼합방사선장에서 조사선량률을 측정하기에 가장 적합한 검출기는 공기전리함이다.

8. 외삽전리함과 일반전리함의 주된 차이는?

- ① 보호전극을 사용한다.
- ② 양극간 간격을 조정할 수 있다.
- ③ 전극을 외부에서 삽입한다.
- ④ 입사창이 얇다.

해설 ②

• 외삽형전리함은 방사선측정을 위한 유효체적의 조절이 가능한 특징을 갖고 있음

9. 전리함의 가스증배 인자는?

- ① 1
- ② 1이상
- ③ 1이하
- ④ 전압에 의하여 결정된다.

해설 ①

• 전자의 증배가 없음

10. 동일한 방사선원에 대하여 전리함의 포화전류에 영향을 미치지 않는 것은?

- ① 전리함의 치수
- ② 인가전압
- ③ 가스의 종류
- ④ 가스의 압력

해설 ②

• 전리함영역에서는 인가전압이 증가하여도 전리함 영역의 특성곡선이 평탄하다. 즉, 전리함영역에서의 계수율(포화전류)은 인가전압의 영향을 받지 않는다.

11. 기체 충전형 검출기는 전리함 영역에서의 출력 펄스의 특성은?

- ① 검출기에 입사한 방사선의 에너지에 반비례한다.
- ② 검출기에 입사한 방사선의 에너지와 같다.
- ③ 상당한 전압 영역에 걸쳐서 거의 일정하다.

④ 충전 기체의 종류에 상관없다.

해설 ③

이온화된 전자들은 그대로 수집되어 출력 펄스가 되므로 거의 일정하다.

12. 방사선관리구역내에서 20 cm^3 의 자유공기 전리함으로 조사선량을 측정하였더니 150 V 를 나타내었다. 원래 190 V 의 전장이 걸려 있었고, 전리함의 정전용량이 6 pF 이었다. 그 현장의 조사선량, 흡수선량은 얼마인가?

공기의 밀도 : 1.293 kg/m^3

연조직의 질량에너지 흡수계수, $\left(\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho}\right)_t = 3.0 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$,

공기의 질량에너지 흡수계수, $\left(\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho}\right)_{\text{air}} = 2.2 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{g}$ 이다.

① 0.36 R , 4.3 mGy

② $9.28 \times 10^{-5} \text{ C/kg}$, 6.81 mGy

③ 0.36 R , $6.81 \times 10^{-3} \text{ J/kg}$

④ $9.28 \times 10^{-5} \text{ C/kg}$, $6.81 \times 10^{-3} \text{ J/kg}$

해설 ①

$X = \frac{Q}{m} = \frac{C \Delta V}{\rho V_{\text{air}}} = \frac{6 \times 10^{-12} \times 40}{1.293 \times 20 \times 10^{-6}} = 9.28 \times 10^{-5} \text{ C/kg}$, $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$ 이므로
조사선량은 0.36 R 이다.

$$\frac{D_m}{D_{\text{air}}} = \left(\frac{S_m}{S_{\text{air}}}\right) = \frac{\left(\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho}\right)_m}{\left(\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho}\right)_{\text{air}}}, \quad D_m = D_{\text{air}} \left(\frac{\left(\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho}\right)_m}{\left(\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho}\right)_{\text{air}}}\right)$$

$$= 9.28 \times 10^{-5} [\text{C/kg}] \times \left(\frac{3.0 \times 10^{-2}}{2.2 \times 10^{-2}}\right) = 12.65 \times 10^{-5} [\text{C/kg}]$$

$$\frac{12.65 \times 10^{-5} \text{ C}}{\text{kg}} \times \frac{1 \text{ ip}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} \times \frac{34 \text{ eV}}{1 \text{ ip}} \times \frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} = 4.3 \times 10^{-3} \text{ J/kg} = 4.3 \text{ mGy} (\text{흡수선량})$$

13. 공기가 충전된 알루미늄벽 전리함에서 벽물질의 흡수선량을 결정하는 주요인자는?

① 양극과 음극 사이의 거리

② 공기에 흡수된 선량

③ 검출기의 기하학적 모양

④ 인가전압

해설 ②

Bragg-Gray 원리에 의하면 벽물질에서의 흡수선량은 기체의 흡수선량에 비례한다.

