

◆ 문제 31 (에너지 스펙트럼)

Q) 다음 감마선 에너지스펙트럼에 나타나는 특성 중 1) ^{137}Cs 선원 스펙트럼에서 나타나지 않는 피크와 2) 주변 차폐체 영향으로 나타나는 피크를 모두 서술하시오.

[에너지스펙트럼에서 관찰되는 특성]

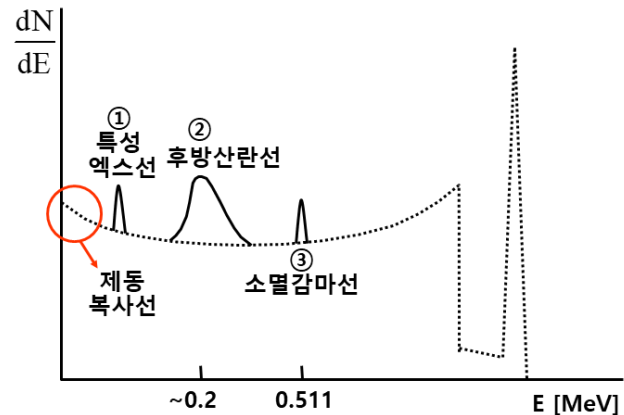
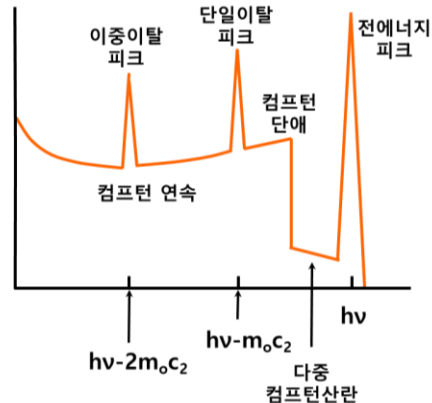
- 가. 전에너지 피크 나. 소멸감마선 피크 다. 특성엑스선 피크
 라. 후방산란 피크 마. 컴프턴 단애 바. 단일이탈 피크 사. 이중이탈 피크

■ 해설

■ $h\nu < 1.022 \text{ MeV}$



■ $h\nu > 1.022 \text{ MeV}$



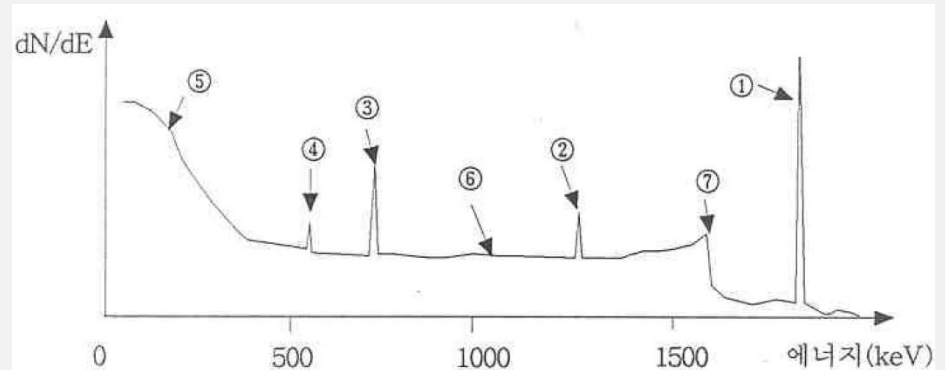
답: 1) 바, 사 2) 나, 다, 라



◆ 문제 32 (에너지 스펙트럼)

Q) HPGe 검출기와 MCA를 이용해 ^{28}Al (베타_{max} = 2.8 MeV, 감마 = 1.778 MeV)의 시료를 감마 분광분석하여 얻은 스펙트럼이다.

- 1) ⑤와 같이 낮은 에너지 감마 계수가 높은 이유는?
- 2) ④가 발생하는 이유는?
- 3) ⑥이 발생하는 이유는?
- 4) ⑦이 형성되는 이론적 에너지는?
- 5) ②와 ③의 에너지 차이는?



■ 해설

답 1) ^{28}Al 이 최대에너지 2.86 MeV의 높은 에너지 베타선을 방출하며 베타에너지가 높을수록 제동복사선 방출이 증가하기 때문

답 2) 차폐체 등 주변에서 pair production 후 양전자의 소멸감마선이 검출되기 때문

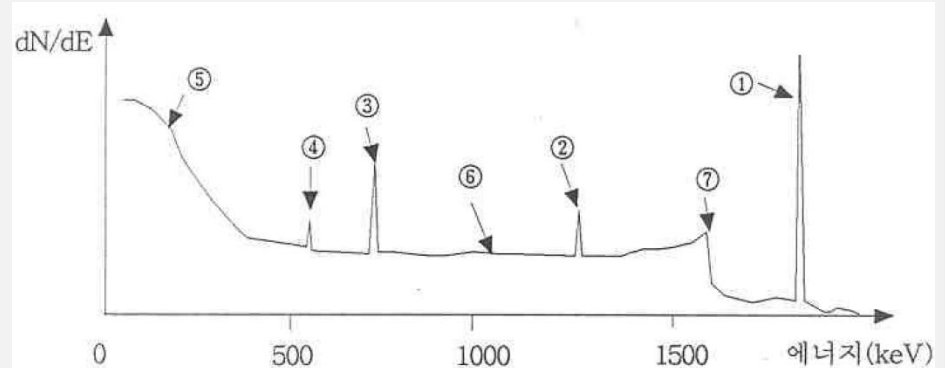
답 3) Compton 산란각은 임의이므로 산란각에 따라 Compton 전자가 연속된 에너지를 갖음



◆ 문제 32 (에너지 스펙트럼)

Q) HPGe 검출기와 MCA를 이용해 ^{28}Al (베타_{max} = 2.8 MeV, 감마 = 1.778 MeV)의 시료를 감마 분광분석하여 얻은 스펙트럼이다.

- 1) ⑤와 같이 낮은 에너지 감마 계수가 높은 이유는?
- 2) ④가 발생하는 이유는?
- 3) ⑥이 발생하는 이유는?
- 4) ⑦이 형성되는 이론적 에너지는?
- 5) ②와 ③의 에너지 차이는?



■ 해설

4) 콤프턴 단애

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad hv' &= \frac{hv}{1 + \frac{hv}{m_e c^2}(1 - \cos(\theta))} \quad \theta = \pi \quad \rightarrow \quad hv' = \frac{hv}{1 + 2\frac{hv}{m_e c^2}} \end{aligned}$$

$$\blacksquare \quad E_e = hv - hv'$$

5) 단일이탈, 이중이탈 피크

답: 4) 1.56 MeV 5) 0.511 MeV



◆ 문제 34(파노인자, FWHM)

Q) 다음 설명 중 옳지 않은 것을 고르시오. (통계적 요인이 주요 요인)

- ① 에너지 분해능(R)이 작으면 에너지 분해능이 우수하다는 것이다
- ② 에너지 E가 높아지면 FWHM은 커진다
- ③ 파노인자 $F < 1$ 이면 정보전달자 생성의 통계적 요동이 푸아송 분포보다 작다는 의미이다
- ④ 에너지 E가 높아지면 FWHM이 커지므로 에너지 분해능이 나빠진다

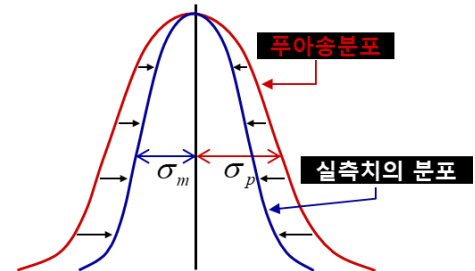
■ 해설

$$\text{에너지분해능}(R) \equiv \frac{FWHM}{E_0} = \frac{2.35K\sqrt{N}}{KN} = \frac{2.35}{\sqrt{N}}$$

$$N = E_0/W$$



$$R \propto \frac{1}{\sqrt{E_0}}$$



$$\text{파노인자}(F) = \frac{\text{실제 관찰되는 정보전달자의 분산}}{\text{푸아송 분포로 예상되는 정보전달자의 분산}}$$

- 실제 측정에서는 방사선이 입사하여 정보전달자를 생성하는 사건이 독립적이지 않음(사건 상호 의존적)
 - $F = 0$: 모든 에너지가 정보전달자 생성을 위해 전달
 - $F = 1$: 생성되는 정보전달자 수가 푸아송 분포를 따름
 - $F < 1$: 정보전달자 수가 푸아송 분포를 따르지 않음

답: ④




◆ 문제 35(효율 교정)

Q) GM계수관으로 ^{32}P 선원을 측정하였다더니 2분 동안 60,120 계수치를 얻었다. 이 선원과 동일 형상의 ^{32}P 표준 선원(300 dps)을 같은 측정조건에서 20분간 측정하였다더니 계수값은 37,000 이었다. 이 ^{32}P 선원의 방사능은 몇 Bq인가?

■ 해설

- 표준선원의 계수율: $\frac{37,000 \text{ Counts}}{20 \times 60 \text{ sec}} = 30.8 \text{ cps}$
- 표준선원에 대한 GM 계수관의 효율: $\frac{30.8 \text{ cps}}{300 \text{ dps}} \times 100 \% = 10.3 \%$
- ^{32}P 선원의 방사능: $\frac{60,120 \text{ Counts}}{2 \times 60 \text{ sec}} \div 10.3 \% = 4,864 \text{ dps} = 4,864 \text{ Bq}$

답: 4,864 Bq 

◆ 문제 36(개인선량계)

Q) 다음 개인선량계에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① LiF는 조직등가 물질이다
- ② TLD는 판독 후 열처리를 통해 선량을 재판독할 수 있다
- ③ 필름뱃지는 에너지 의존성이 크다
- ④ 필름뱃지는 TLD와 비교하여 퇴행(fading)이 크다

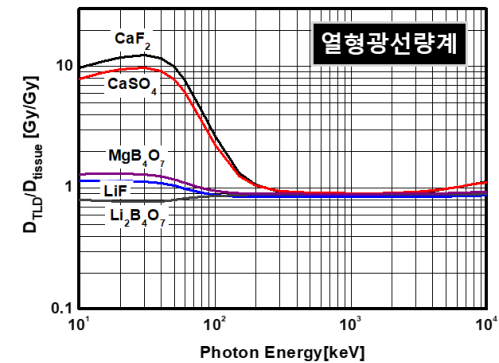
■ 해설

열형광선량계(TLD; Thermo luminescence detector)

■ 주요 특성

- 감도 매우 우수, 저선량($10 \mu\text{Sv}$) 측정 가능
- 반응도의 에너지 의존성이 낮음(조직등가)
- 열처리(annealing)하면 재사용 가능
- 퇴행(fading)이 낮음

- 필름 뱃지는 감광물질(AgBr)의 원자번호가 높아 저에너지 반응도 높음



답: ②



◆ 문제 37(필름벤티지)

Q) 필름벤티지에 필터를 사용하는 이유로 옳지 않은 것은?

- ① 방사선의 종류를 구분하기 위해
- ② 조직등가로 보정하여 원하는 선량 정보를 측정하기 위해
- ③ 고에너지 방사선을 차폐하기 위해
- ④ 에너지 의존성을 보정하기 위해

■ 해설

■ 필터를 사용하는 이유

- 필터 밀도 조절을 통해 심부선량: $H_p(10)$, 수정체선량: $H_p(3)$, 피부선량: $H_p(0.07)$ 얻음
- 방사선 종류를 구별하기 위해 창을 설정: 베타, 감마 구분
- 각 영역별 반응도 차이를 통해 에너지 추정(선질 정보)
- 에너지 의존성을 보정

답: ③



◆ 문제 38(프리케 선량계)

Q) 프리케선량계를 사용하여 60 에서 방출되는 감마선을 측정하였다. 30분 동안 조사한 결과 Fe^{2+} 를 함유한 용액 1 g 당 5.6×10^{-6} g의 Fe^{3+} 이 생성되었다.

선량계로 측정된 흡수선량(Gy)은 얼마인가?

(단, $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ 의 G값은 16, 철의 원자량은 56, 아보가드로 상수는 $6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 이다.)

■ 해설

■ 물질의 화학적 변화량 (G값)

- 방사선 에너지 100 eV 흡수 당 생성되는 원자, 분자의 수
- G값이 클수록 방사선에 대한 반응도가 좋음

$$\text{용액 1 g 당 생성된 Fe(III)의 원자수} : \frac{5.6 \times 10^{-6}}{56} \times 6.0 \times 10^{23} = 6.0 \times 10^{16}$$

$$\text{용액 1 g 당 흡수된 에너지} : \frac{6.0 \times 10^{16}}{16} \times 100 \text{ eV} \times \frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} = 0.06 \text{ J}$$

$$\rightarrow \text{그러므로 용액 1 kg에 흡수된 에너지} : 0.06 \text{ J/g} \times 1000 \text{ g/kg} = 60 \text{ J/kg} = 60 \text{ Gy}$$

답: 60 Gy



◆ 문제 39(중성자 선량계, 검출기)

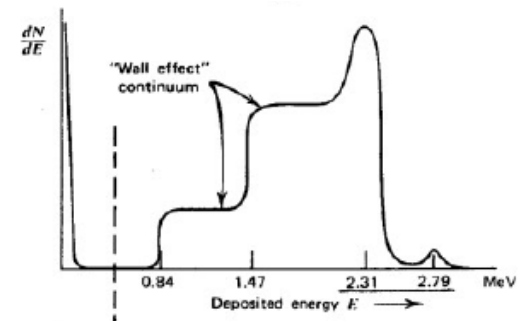
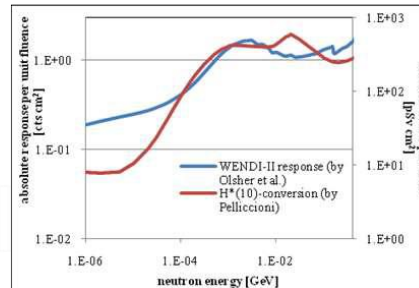
Q) 중성자 선량계, 검출기의 특징으로 옳지 않은 것은?

- ① 알베도 선량계는 열중성자에 의한 선량을 측정하기 위해 반응단면적이 높은 ${}^6\text{Li}$ 사용한다
- ② TLD 열형광소자 내 ${}^6\text{Li}$ 함유량을 높혀 중성자 선량을 측정할 수 있다
- ③ BF_3 비례계수관으로 측정된 중성자는 파고 높이를 이용하여 감마선과 쉽게 분리할 수 있다
- ④ ${}^3\text{He}$ 비례계수관을 감속재로 감싼 형태의 rem 미터는 비교적 넓은 영역의 중성자 선량을 측정할 수 있다

■ 해설

알베도 선량계(Albedo dosimeter)

- 고속중성자 선량 측정용
- 고속중성자가 인체 내 수소원자와 산란하여 감속되어 나오는 것을 ${}^6\text{Li}$ 과 반응시킴
 - ${}^6\text{Li}$ 의 ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ 반응 이용



답: ①



◆ 문제 40(내부피폭선량 평가를 위한 측정)

Q) 내부피폭선량을 평가하기 위한 측정 방법으로 옳지 않은 것은?

- ① 사람을 시료로 간주하여 체내에서 방출되는 방사선을 직접 측정
- ② 액체섬광계수기(LSC)로 소변을 분석하여 ^3H 섭취량 평가
- ③ 열량계(Calorimetr)를 이용하여 체온의 변화를 통해 내부피폭선량 측정
- ④ 작업장의 공기 중 방사능 농도를 측정, 감시하고 작업 시나리오를 고려하여 평가

■ 해설

직접생체검정(in-vivobioassay), 체외계수법

- 종사자 신체를 시료로 간주, 체내의 방사선핵종으로부터 방사선을 직접 측정
 - 방사선 계수치로 체내 존재량을 평가하고 초기 섭취, 흡입량을 추정

작업환경 감시법

- 작업장의 공기중 방사능 농도 감시, 시나리오를 통한 흡입률, 시간 등 고려하여 평가
 - 열량계: 온도상승분에 물질의 비열을 곱하여 흡수된 열량을 얻어 선량 측정

$$D = 4200 \cdot C \cdot \Delta T$$

- D : 흡수선량 (Gy), C : 비열 (cal/g $^{\circ}$ K)
- ΔT : 온도변화 ($^{\circ}$ K)

간접생체검정(in-vitrobioassay)

- 종사자의 생체 시료(소변, 대변 등)를 분석하여 평가
 - 매우 미량 포함되므로 화학처리하여 농축하거나 분리하는 등 절차가 복잡함.
 - 삼중수소의 경우 소변 채취 후 액체섬광계수기(LSC)로 측정하면 섭취량 평가 용이



◆ 문제 41(감쇠계수, 반가층)

Q) 1 MeV 광자에 대한 철의 HVL이 1.47 cm이고 선원으로부터 조사선량률이 800mR/h일 때, 다음을 계산하시오.

- 1) 철의 선형감쇠계수
- 2) 조사선량률이 150 mR/h로 감소하는데 필요한 철의 두께
- 3) 철의 TVL

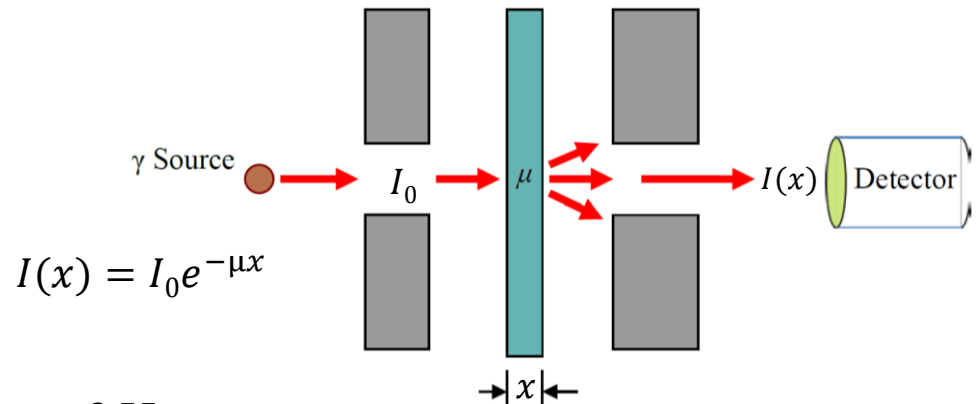
■ 해설

$$1) \quad x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0.693}{\mu}$$

$$\mu = \frac{0.693}{1.47 \text{ cm}} = 0.47 \text{ cm}^{-1}$$

$$2) \quad 150 = 800e^{-0.47x} \rightarrow \ln\left(\frac{150}{800}\right) = -0.47x \rightarrow x = 3.55 \text{ cm}$$

$$3) \quad \text{TVL} = \frac{\ln 10}{\mu} = \frac{\ln 10}{0.47} \text{ cm} = 4.89 \text{ cm}$$



답: 1) 0.47 cm^{-1} 2) 3.55 cm 3) 4.89 cm

◆ 문제 42(감쇠계수, 반가층)

Q) 1 MeV 감마선에 대한 철, 납, 콘크리트의 질량감쇠계수(μ/ρ)와 밀도(ρ)가 아래와 같을 때,
가. 철 8 cm, 나. 납 4 cm, 다. 콘크리트 15 cm 중 차폐효과가 큰 순으로 나열한 것은?
(철: $\mu/\rho = 0.060 \text{ cm}^2/\text{g}$, $\rho = 7.87 \text{ g/cm}^3$, 납: $\mu/\rho = 0.066 \text{ cm}^2/\text{g}$, $\rho = 11.3 \text{ g/cm}^3$
콘크리트: $\mu/\rho = 0.063 \text{ cm}^2/\text{g}$, $\rho = 2.3 \text{ g/cm}^3$)

- ① 가-나-다 ② 가-다-나 ③ 나-다-가 ④ 나-가-다

■ 해설

철) $e^{-(\mu/\rho)\rho x} = e^{-(0.060)7.87 \times 8} = 0.0228775$

납) $e^{-(\mu/\rho)\rho x} = e^{-(0.066)11.3 \times 4} = 0.0506306$

콘크리트) $e^{-(\mu/\rho)\rho x} = e^{-(0.063)2.3 \times 15} = 0.1137787$

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

투과율: $\frac{I}{I_0} = e^{-(\mu/\rho)\rho x}$

투과율: 철 < 납 < 콘크리트

차폐효과: 철 > 납 > 콘크리트

답: ①



◆ 문제 43(인상인자)

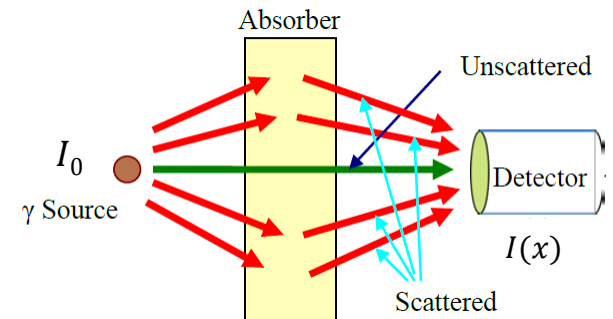
Q) 방사선 차폐 시 인상인자와 관련한 설명으로 옳은 것은?

- ① 산란반응에 의해 과대평가 되는 것을 보정하기 위한 인자이다
- ② 인상인자 $B \leq 1$ 이다
- ③ 빔 폭이 매우 좁고 차폐체가 매우 얇은 경우에는 B는 1에 가깝다
- ④ 인상인자는 차폐체의 종류와는 무관하며 두께와 연관이 있다

■ 해설

$$B = \frac{\text{Scattered \& Unscattered}}{\text{Unscattered}}$$

$$I(x) = I_0 B e^{-\mu x}$$



- 인상인자는 에너지, 물질의 선형감쇠계수, 두께와 연관 $B(E, \mu x)$

답: ③



◆ 문제 44(중성자 차폐)

Q) 중성자에 대한 차폐와 관련된 내용 중 옳은 것은?

- ① 중성자의 감속을 위해서는 높은 원자번호(Z) 물질을 사용하는 것이 유리하다
- ② ${}^7\text{Li}$, ${}^{11}\text{B}$ 은 열중성자와의 반응단면적이 커서 흡수재로 사용된다
- ③ 고 에너지 중성자 차폐 시 앞쪽에 흡수재를 두고 뒤쪽에 감속재를 두는 것이 효율적이다
- ④ 중성자를 차폐하는 과정에서는 감마선이 발생한다

■ 해설

■ 중성자

- 산란을 통한 **감속재**: 수소원자가 많은 물질(물, 파라핀(화재 위험), 폴리에틸렌 등)
- 열중성자 반응도가 높은 **흡수재**: ${}^6\text{Li}$, ${}^{10}\text{B}$, Cd 등
- 물질에서 중성자와 반응을 통해 감마선이 생성되므로 감마선 차폐 필요

- 고속 중성자를 먼저 감속시킨 후 흡수재로 흡수시키는 것이 효율적

답: ④



◆ 문제 45(방사선 차폐)

Q) 다음의 설명 중 옳지 않은 것은?

- ① 베타선 차폐 시 원자번호가 큰 물질을 활용하면 제동복사선이 많이 발생할 수 있다
- ② 감마선 차폐체는 원자번호가 크고 밀도가 높을수록 좋다
- ③ 엑스선 차폐를 위해 필요한 차폐 두께 계산 시 $|t_s - t_l| < TVL$ 인 경우 둘 중 두꺼운 두께로 차폐하면 된다 (t_s : 산란선 차폐에 필요한 두께, t_l : 누설선 차폐에 필요한 두께)
- ④ 감마선 차폐 시 앞쪽에는 낮은 원자번호, 뒤쪽에는 높은 원자번호의 물질을 사용하면 인상인자를 낮출 수 있다

■ 해설

■ 베타선

- 알파선보다는 투과력이 강함, 제동복사선이 2차적으로 발생
- 원자번호가 낮은 물질(플라스틱, 알루미늄)로 비정보다 조금 두껍게 설계

■ 엑스선, 감마선

- 전하가 없고, 투과력이 매우 높음
- 원자번호가 크고 밀도가 높은 물질 (납, 텅스텐, 콘크리트)로 차폐
- 인상인자를 작게하기 위해 원자번호가 낮은 물질을 앞에 설계(산란으로 감쇠)하고 원자번호가 높은 물질을 뒤에 설계하면 광전흡수가 많이 발생

■ 엑스선

- $|t_s - t_l| > TVL \rightarrow t_s, t_l$ 중 두꺼운 두께로 차폐
- $|t_s - t_l| < TVL \rightarrow t_s, t_l$ 중 두꺼운 두께 + HVL 추가 차폐

답: ③



◆ 문제 46(방사성폐기물)

Q) 제염 전 농도 400 Bq/cm^2 , 제염 후 농도 20 Bq/cm^2 로 줄어든 폐기물이 있다. 제염계수(DF)는?
그리고 같은 실험실에서 발생한 액체폐기물 600 L를 고화시켜 15 L로 줄였다면 감용비(VR)는?

- ① $DF = 0.5, VR = 0.025$
- ② $DF = 20, VR = 40$
- ③ $DF = 0.5, VR = 40$
- ④ $DF = 20, VR = 0.025$

■ 해설

- 제염계수 = $\frac{\text{처리 전 방사능 농도}}{\text{처리 후 방사능 농도}}$
- 감용비 = $\frac{\text{처리 전 부피}}{\text{처리 후 부피}}$

답: ②



감사합니다

