

국민에게 신뢰받는 안전 최우선의 KINS

V. 문제풀이



◆ 문제 1 (검출기의 동작 방식)

Q) 펄스모드로 동작하는 서베이미터의 제조사 제공 자료에 따르면, 측정 시점으로부터 4초 후에 최종 지시값의 90%값에 도달한다고 명시되어 있다. 이 때 다음의 물음에 답하십시오.

1) 이 서베이미터의 시정수(RC)는?

2) 0.2초간 방출된 엑스선에 의해 10mR/h가 표시된 경우 실제 조사선량률은?

■ 해설

$$V(t) = V_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

1)

$$0.9V_0 = V_0(1 - e^{-\frac{4}{RC}})$$

$$0.9 = (1 - e^{-\frac{4}{RC}})$$

$$RC = 1.7 \text{ sec}$$

2)

$$10 \text{ mR/h} = x(1 - e^{-\frac{0.2}{1.7}})$$

$$x = 90 \text{ mR/h}$$

답: 1) 1.7 sec 2) 90 mR/h

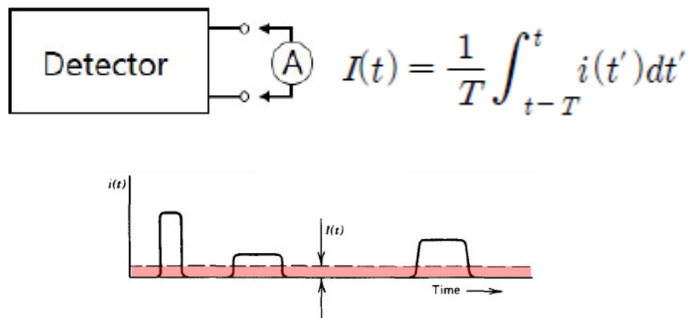
◆ 문제 2 (검출기의 동작 방식)

Q) 다음 중 전류모드와 펄스모드의 특성에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

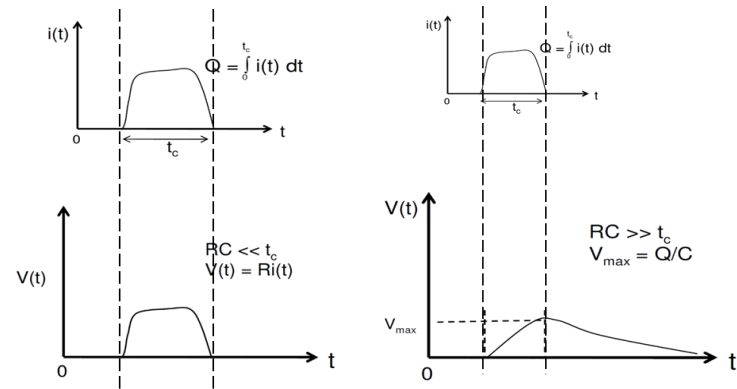
- ① 전류모드는 고선량률 환경에서 포화 없이 평균 전류를 측정하는 데 적합하다.
- ② 펄스모드는 사건(event)별 에너지/시간 정보를 얻을 수 있다.
- ③ 펄스모드에서 RC가 작을 수록 Pile-up 영향이 증가한다.
- ④ 펄스모드는 높은 계수율에서 Pile-up에 민감하다.
- ⑤ 전류모드는 회로가 비교적 단순하고 잡음에 상대적으로 둔감하다.

■ 해설

■ 전류모드



■ 펄스모드

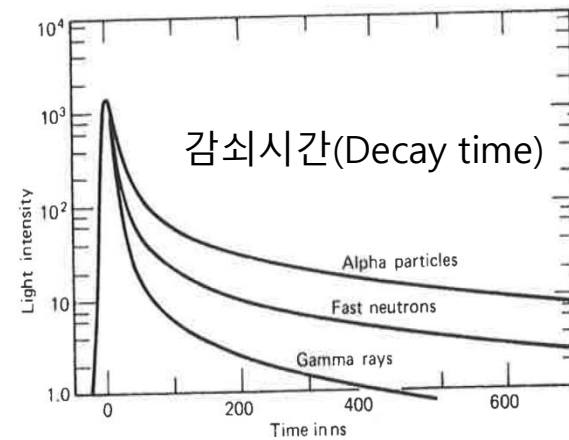
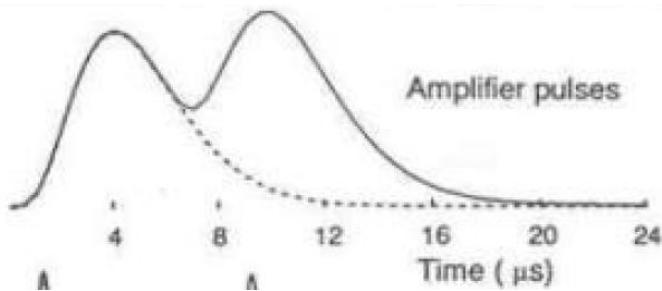


◆ 문제 3 (검출기의 동작 방식)

Q) 다음 중 펄스신호의 Pile-up을 증가시키는 요인이 아닌 것은?

- ① 긴 펄스 붕괴시간(감쇠시간)
- ② 높은 계수율
- ③ 넓은 Shaping time
- ④ 높은 하한선별기 값

■ 해설



답: ④

◆ 문제 4 (전하량 계산)

Q) 정전용량이 10pF인 공기를 내장하고 있는 전리함에 100 keV 베타선이 입사하여 모두 반응했을 때 공기 중에서 생성되는 1) 전하량, 2) 전압은? 또한, 전리함의 신호포집 시간이 1 μ s일 때 3) 전류량은?

■ 해설

■ 생성되는 이온쌍의 수(N) = $\frac{E}{W}$ $N = \frac{E}{W} = \frac{100 \times 10^3 \text{ eV}}{34 \text{ eV}} \cong 3,000 \text{ 개}$

1) $Q = Ne = 3,000 \text{ 개} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
 $= 4.8 \times 10^{-16} \text{ C}$

2) $\Delta V = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{4.8 \times 10^{-16} \text{ C}}{10 \times 10^{-12} \text{ C/V}} = 4.8 \times 10^{-5} \text{ V}$

3) $I = \frac{Q}{t} = \frac{4.8 \times 10^{-16} \text{ C}}{10^{-6} \text{ sec}} = 4.8 \times 10^{-10} \text{ A}$

답: 1) $4.8 \times 10^{-16} \text{ C}$ 2) $4.8 \times 10^{-5} \text{ V}$ 3) $4.8 \times 10^{-10} \text{ A}$

◆ 문제 5 (전하량 계산)


Q) 증배계수가 10^4 이고, 정전용량 10pF 인 비례계수관에 에너지가 5MeV 인 α 선이 입사할 경우 전압강하의 크기는? 단, 입사한 α 선은 계수관에 에너지를 0.1% 만 전달하며, W 값은 35eV 이다.

■ 해설

- 생성되는 이온쌍의 수(N) = $\frac{E}{W}$

$$\Delta Q = \frac{5 \times 10^6 \text{eV} \times 0.001}{35 \text{eV/ip}} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{C/ip} \times 10^4 = 2.29 \times 10^{-13} \text{C}$$

$$\Delta V = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{2.29 \times 10^{-13} \text{C}}{10 \times 10^{-12} \text{F}} = 22.9 \text{mV}$$

답: 22.9 mV 

◆ 문제 6 (조사선량 계산)

Q) 200cc 전리함에서 15 pA의 전류가 측정되었다. 노출된 방사선장의 조사선량률은?
(25 °C, 750mmHg 일 때)


■ 해설

- $1 R = 2.58 \times 10^{-4} C/Kg$
- $PV = \frac{m}{M}RT$ V : 공기 체적, R : 기체상수
- $m = m_0 \left(\frac{P}{P_0}\right) \left(\frac{T_0}{T}\right)$ P_0 : 1 atm = 760 mmHg, T_0 : 0 °C = 273 °K

$m = \text{밀도} \times \text{부피}$

$$m = 1.29 \times 10^{-3} g/cm^3 \times 200 cm^3 \times \left(\frac{750}{760}\right) \left(\frac{273}{298}\right) = 0.234 g$$

$$\dot{X} = \frac{\Delta Q/t}{\Delta m} = \frac{15 \times 10^{-12} C/s}{0.234 g} \times \frac{1 R}{2.58 \times 10^{-4} C/kg} \times \frac{3600 s}{1 h} \times \frac{10^3 g}{1 kg} = 0.896 R/h$$

답: 0.896 R/h 


◆ 문제 7 (조사선량 계산)

Q) 어떤 위치에서 조사선량률이 10 R/h라면 이 위치에서 공기 1 cc당 만들어지는 이온쌍은 매초 몇 개 정도인가?

■ 해설

- 1 R = 2.58×10^{-4} C/Kg

$$\begin{aligned} 10R/h &= \frac{10R}{h} \times \frac{2.58 \times 10^{-4} C}{R \cdot kg} \times \frac{1i.p}{1.6 \times 10^{-19} C} = 1.61 \times 10^{16} \frac{i.p}{kg \cdot h} \\ &= \frac{1.61 \times 10^{16} i.p}{kg \cdot h} \times \frac{kg}{10^3 g} \times \frac{0.001293 g}{1 cm^3} \times \frac{cm^3}{cc} \times \frac{h}{3600 sec} = 5.79 \times 10^6 \frac{i.p}{cc \cdot sec} \end{aligned}$$

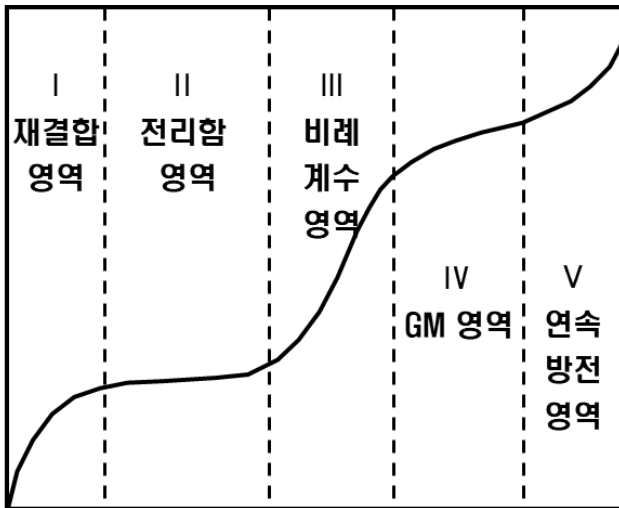
답: 5.79×10^6 

◆ 문제 8 (전리함 특성)

Q) 전리함을 두 전압 V_1 , V_2 ($V_1 < V_2$, $V_2 <$ 비례계수영역 시작 전압)으로 설정하여 측정했더니 각각 $I_1 = 93 \text{ nA}$, $I_2 = 100 \text{ nA}$ 였다. 이 전리함의 포화전류 I_s 에 가장 근접한 전류 값은?

- ① 93 nA ② 95 nA ③ 97 nA ④ 100 nA

■ 해설



- 전리함 영역에서는 일차적으로 생성된 모든 이온쌍이 전극에 포집
- 생성된 모든 이온이 전극에 도달함으로 전압에 관계없이 **일정한 포화전류**를 얻음

답: ④

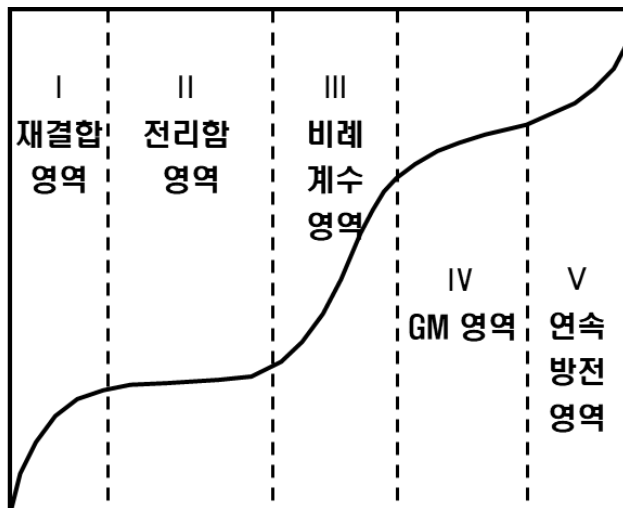


◆ 문제 9 (기체충전형 검출기 특성)

Q) 기체충전형 검출기에 대한 다음 설명 중 옳지 않은 것은?

- ① GM은 α , β , γ 를 모두 측정 가능하다
- ② 전리함은 포화영역에서 전류가 선량률에 비례한다
- ③ 비례계수관은 에너지 분별이 어렵다
- ④ 비례계수관은 α/β 구분이 가능하다
- ⑤ GM은 불감시간이 길어 고계수율에서 계수손실이 크다

■ 해설



- 전리함, 비례계수관: 입사 방사선 에너지에 비례하는 출력신호
- GM: 에너지와 무관 최대로 이온쌍 생성, 반응도 좋음
- GM 불감시간 : 100 ~ 400 μsec
- 비례계수관 불감시간 : 수 μsec

답: ③



◆ 문제 10 (Bragg-Gray 원리)

Q) 조직등가의 벽물질로 구성된 공기 전리함이 광자 방사선장에 노출되었을 때 20 pA의 전류가 흘렀다면 조직에서의 흡수선량률은 얼마인가? (단, 전리함 내 공기의 질량은 0.15g, $S_{tissue}/S_{air}=1.03$ 이다)

■ 해설

$$\frac{D_W}{D_g} = \frac{S_W}{S_g}$$

$$\dot{D}_{tissue} = \dot{D}_{air} \left(\frac{S_{tissue}}{S_{air}} \right) = \left(\frac{\dot{n}W}{m} \right)_{air} \left(\frac{S_{tissue}}{S_{air}} \right)$$

$$\dot{n} = \frac{20 \times 10^{-12} \text{ C/s}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C/ip}} = 1.25 \times 10^8 \text{ ip/s}$$

$$\begin{aligned} \dot{D}_{tissue} &= \frac{1.25 \times 10^8 \text{ ip/s} \times 34 \text{ eV/ip}}{1.5 \times 10^{-4} \text{ kg}} \times \frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \times 1.03 \\ &= 1.68 \times 10^{-2} \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{h}} = 1.68 \times 10^{-2} \text{ Gy/h} = 16.8 \text{ mGy/h} \end{aligned}$$

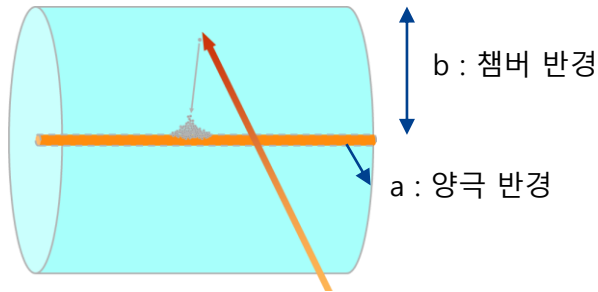
답: 16.8mGy/h 

◆ 문제 11 (전자증배, 전기장 계산)

Q) 계수관의 반경이 10 mm 양극의 반경이 0.08 mm인 원통형 비례계수관에 2,000 V의 전압이 인가되어있다. 전자증배가 시작되는 양극으로부터의 1) 거리를 구하고, 2) 총체적에 대한 전자증배가 발생하는 체적의 비율을 구하시오.

(전자증배가 발생하기 위한 최소 전기장 세기는 10^6 V/m)

■ 해설



$$E(r) = \frac{V_0}{\ln(b/a)} \frac{1}{r}$$

양극으로부터 r 거리의 전기장 E(r)

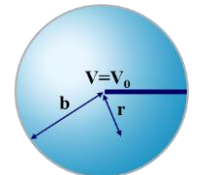
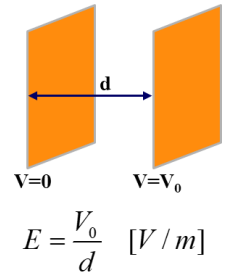
- b: 10 mm, a: 0.08 mm

$$E = \frac{1}{r} \frac{2000}{\ln \frac{10}{0.08}} > 10^6 \text{ V/m}$$

- r = 0.41 mm

- 체적비:

$$\frac{\pi(0.41^2 - 0.08^2)}{\pi(10^2 - 0.08^2)} \times 100 = 0.16\%$$



$$E = \frac{V_0 ab}{r^2(b-a)} [V/m]$$

답: 1) 0.41 mm, 2) 0.16%

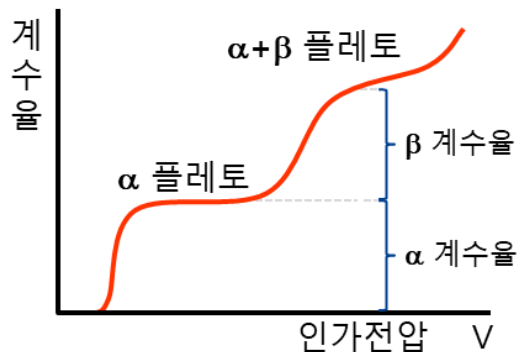


◆ 문제 12 (플레토 특성)

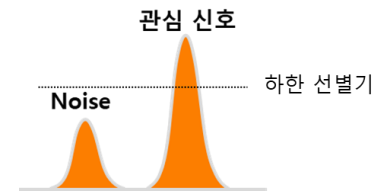
Q) 다음 중 비례계수관에서 α 플레토가 β 플레토보다 낮은 전압에서 형성되고 기울기가 작은 이유를 설명한 것으로 가장 적절한 것은?

- ① α 는 에너지가 낮고 변동이 적기 때문
- ② α 는 비전리도가 크고 단일 에너지를 갖기 때문
- ③ β 는 질량이 커서 기체 이온화를 덜 일으키기 때문
- ④ α 는 창을 거의 통과하지 못해 검출이 불안정하기 때문
- ⑤ β 는 윈도우를 통과할 때 에너지에 연속성이 생기기 때문

■ 해설



- 출력펄스 크기 $\alpha > \beta$
- α 는 단일 에너지이므로 특정 전압을 넘어서면 모든 펄스가 하한선별기를 초과해 계수됨
- β 는 연속 스펙트럼을 갖으므로 전압 증가에 따라 계수 지속 증가



답: ②



◆ 문제 13 (기체흐름형 비례계수관)

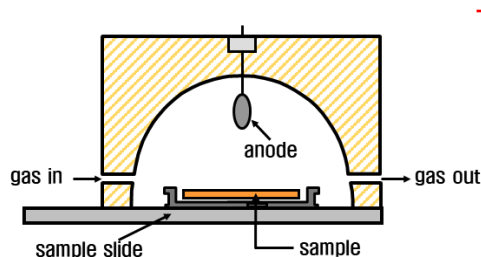
Q) 다음 중 기체흐름형 검출기에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 사용기간의 경과에 따라 밀봉형 검출기에서와 같은 기체의 성능저하가 없는 장점이 있다
- ② 기체유입형 검출기는 저에너지 베타선과 알파선 측정이 가능하다
- ③ 기체유입형 가스중 메탄과 아르곤의 비가 9:1인 가스를 P-10 가스라 한다
- ④ 기체유입형 검출기의 종류로는 2π 또는 4π 형이 있다

■ 해설

기체 흐름형: 입사창이 없고 내부기체를 밀봉하지 않은 형태의 비례계수관

- 입사창이 없으므로 저 에너지 알파 및 베타 측정 가능, 검출 효율 우수
- 내부 기체를 연속적으로 주입하는 형태이므로 자체 성능 손실을 보상
- P-10 가스: Ar(90%) + CH₄(10%)로 구성



- Quenching gas : 여기된 원자가 방출하는 자외선 등에 의한 전자사태를 방지하는 역할, 자외선 등 흡수

답: ③



◆ 문제 14 (GM 계수관 특성)

Q) 할로젠(Cl_2 , Br_2 등) 소멸형 GM 계수관과 유기가스(에틸알콜 등) 소멸형 GM 계수관의 비교로 옳은 것은?

- ① 유기가스형은 수명이 길고 플래토가 더 평탄하다
- ② 유기가스형은 분해·중합에 취약해 수명이 짧고 플래토 기울기가 큰 편이다
- ③ 두 형태의 소멸가스는 성능·수명이 동일하다
- ④ 할로젠형은 소멸 효과가 약하여 2차 전자사태가 많이 발생한다

■ 해설

- Quenching gas : 2차 전자를 내지 않는 소멸기능을 하여 **후속 전자사태 예방**
- 할로젠 가스(Cl_2 , Br_2) : 소멸작용 후 재생
- 유기 가스(에틸알콜, 에틸포메이트) : 분해되어 감소

$10^8 \sim 10^9$ 계수 수명

답: ②



◆ 문제 15 (섬광검출기 특성)

Q) 다음 중 감마선에 대한 검출 효율이 가장 낮은 섬광 검출기는?

- ① NaI(Tl)
- ② 액체섬광체
- ③ BGO
- ④ Pb, Sn이 장전된 유기섬광체

■ 해설

- NaI(Tl): 밀도가 높고 원자번호가 높은 I(Z=53)을 함유하여 γ , 중·경질 X 측정에 용이
- BGO: 밀도가 높고 원자번호가 높은 Bi(Z=83)을 함유하여 γ 검출효율 높음
- 유기섬광체는 C, H, O, N 등 원자번호가 낮은 물질로 구성, 감마 측정효율이 낮음
- 장전 섬광체: 감마선 광전효과 확률을 높이기 위해 높은 원자번호를 갖는 물질(Pb, Sn) 첨가

답: ②



◆ 문제 16 (섬광검출기 특성)

Q) 다음 중 섬광검출기를 비교한 내용으로 옳지 않은 것은?

- ① NaI(Tl)은 CsI(Tl) 보다 에너지 분해능이 좋고 감마선 검출효율이 좋다
- ② 플라스틱 섬광체는 안트라센, 스틸벤보다 크게 만들기 용이하다
- ③ α 측정에는 LiI(Eu)보다 ZnS(Ag)가 유용하다
- ④ CsI(Tl)은 NaI(Tl)은 보다 기계적 강도가 좋다

■ 해설

▪ NaI(Tl) vs CsI(Tl)

- CsI(Tl)의 밀도가 높아 검출효율은 좋으나, 발광효율이 낮아 분해능은 떨어짐
- NaI(Tl)은 조해성, CsI(Tl)은 내습성

▪ 플라스틱 섬광체는 액체섬광체를 중합시켜 재면적 제작 가능, 강도 우수

▪ 안트라센, 스틸벤: 결정을 크게 만들기 어려움

▪ LiI(Eu): 중성자 측정, ZnS(Ag): 알파선 측정

답: ①



◆ 문제 17 (섬광검출기 특성)

Q) 다음 중 유기섬광체와 무기섬광체를 비교한 내용으로 옳지 않은 것은?

- ① 무기섬광체보다 유기섬광체의 감쇠시간이 짧다
- ② 발광효율은 유기섬광체보다 무기섬광체가 더 좋다
- ③ α 측정에는 LiI(Eu)보다 ZnS(Ag)가 유용하다
- ④ PSD를 통한 방사선 종류 구분은 무기섬광체에서 더 용이하다

■ 해설

특성	무기 섬광체	유기 섬광체
발광 효율	높음	낮음
천이속도, 감쇠시간	느림	빠름
선형성	좋음	좋지않음
종류	NaI(Tl), CsI(Tl), LiI(Eu)	안트라센, LSC, 플라스틱 섬광체

답: ④



◆ 문제 18 (반도체 검출기 특성)

Q) 다음 중 HPGe에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① NaI(Tl)과 비교하여 에너지분해능이 우수하다
- ② W값이 다른 계측기에 비해 낮은 편이다
- ③ 기체충전형 검출기에 비해 감마선 검출효율이 좋다
- ④ NaI(Tl)과 비교하여 감마선 검출효율이 좋다

■ 해설

NaI(Tl) 섬광검출기	HPGe
가격이 저렴함	고가
감마선 효율이 우수함 (Z=53 포함)	효율이 상대적으로 떨어짐 (Z=32)
크게 제작이 가능함	크기가 작음
상온에서 사용 가능	사용시에만 냉각 필요
Anode의 전압에 민감($V^{0.7N}$)	인가전압에 덜 민감
에너지분해능이 저조함 (1.33MeV 기준 6%)	에너지분해능이 우수함 (1.33MeV 기준 0.15%)

- W값 낮음 → 정보전달자 많음 → 에너지 분해능 우수

답: ④



◆ 문제 19 (반도체 검출기 특성)

Q) 다음 중 반도체 검출기 특성으로 옳지 않은 것은?

- ① Ge(Li)은 Li 확산을 막기위해 보관, 사용 중 상시 냉각이 필요하다
- ② Si(Li)은 사용 중 냉각이 필요하나, 보관 중에는 수 주 정도 냉각이 필요없다
- ③ HPGE는 Li 드리프트형의 단점인 냉각을 보완하여 상온에서 동작한다
- ④ 냉각을 통해 열잡음에 의한 신호를 억제할 수 있다

■ 해설

- **Ge(Li):** 상온에서 Li이 이동하여 검출기 특성을 잃게 되므로 액체질소온도(77°K)로 상시 냉각 필요
- **Si(Li):** 상온에서 Li 이동이 크지 않아 수 주 정도 유지 가능, 사용 중에는 열잡음에 의한 신호를 억제하기 위해 냉각 필요
- **HPGE:** 상온에서 냉각이 불필요하므로 유지 용이, Ge의 에너지 밴드 간격이 작아 사용 중 열잡음 억제를 위한 냉각은 필요

답: ③



◆ 문제 20 (다양한 검출기)

Q) 다음 중 α 측정에 가장 부적합한 검출기는?

- ① 비례계수관
- ② GaAs 반도체 검출기
- ③ ZnS(Ag) 섬광 검출기
- ④ 표면장벽형 반도체 검출기

■ 해설

- 비례계수관: α , β 분리 측정 탁월
- GaAs: 원자번호 높아 감마선 측정에 적합한 검출기
- ZnS(Ag): 큰 단결정을 얻을 수 없어 분말형태로 도포하여 적용, α 측정용
- 표면장벽형: n형 반도체 표면에 금속 증착하여 공핍층 형성, 공핍층 매우 얇아 α 측정에 용이

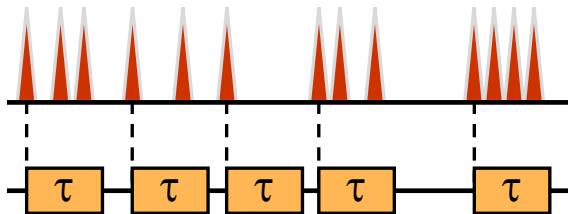
답: ②



◆ 문제 21 (불감시간)

Q) 어떤 GM 계수관의 불감시간이 $120 \mu\text{sec}$ 이고 효율은 18 % 이다. 불감시간으로 인한 계수 손실이 실측계수율의 5 %가 되는 시료의 방사능은 몇 Bq 인가?
(시료는 붕괴당 1 개의 방사선을 방출)

■ 해설



- m : 측정값
- n : 참값
- $m\tau$: 계수손실률

$$n - m = nm\tau, \quad n = \frac{m}{1 - m\tau}$$

- $n - m = nm\tau = 0.05m \rightarrow n = \frac{0.05}{\tau} = \frac{0.05}{120 \times 10^{-6} \text{sec}} = 417 \text{ cps}$
- 실제 선원의 방사능 = $\frac{\text{참 계수값}}{\text{효율}} = \frac{417 \text{ cps}}{0.18} = 2,315 \text{ dps}$

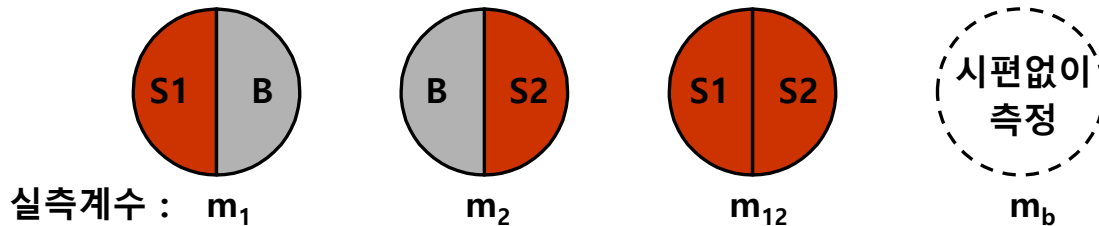
답: 2,315 Bq



◆ 문제 22 (불감시간)

Q) 2선원법을 이용하여 불감시간을 측정하는 실험을 수행하였다. 실험결과 m_1 , m_2 , m_{12} 및 m_b 의 값을 각각 23,126 cpm, 27,016 cpm, 47,688 cpm, 20 cpm 으로 획득하였다.
이 GM 계수관의 불감시간은?

■ 해설




$$n = \frac{m}{1 - m\tau} = m \left[1 + m\tau + (m\tau)^2 + (m\tau)^3 + \dots \right] \cong m(1 + m\tau)$$

↑ $m\tau \ll 1$ 일 때

$$\tau = \frac{m_1 + m_2 - m_{12} - m_b}{m_{12}^2 - m_1^2 - m_2^2}$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{23,126\text{cpm} + 27,016\text{cpm} - 47,688\text{cpm} - 20\text{cpm}}{(47,688\text{cpm})^2 - (23,126\text{cpm})^2 - (27,016\text{cpm})^2} \\ &= 2.36 \times 10^{-6} \text{ min} \\ &= 2.36 \times 10^{-6} \text{ min} \times \frac{60 \text{ sec}}{\text{min}} \\ &= 141.6 \mu \text{ sec} \end{aligned}$$

답: 141.6 μ sec 

◆ 문제 23 (계수값의 통계 처리)

Q) 어떤 시료를 10 분간 측정하여 2,630 계수를 얻었고 백그라운드를 30 분간 측정하여 405 계수를 얻었다. 순계수율과 표준편차는?

■ 해설

- 푸아송 분포

$$\sigma^2 \cong \bar{x}, \quad \sigma = \sqrt{\bar{x}}$$

- 오차의 전파

$$u = x/c \text{ (} c \text{가 불확도가 없는 상수일 때)} : \quad \sigma_u^2 = \left(\frac{\rho u}{\rho x}\right)^2 \sigma_x^2 = \left(\frac{1}{c}\right)^2 \sigma_x^2 \quad \sigma_u = \frac{1}{c} \sigma_x$$

$$u = x \pm y : \quad \sigma_u^2 = \left(\frac{\rho u}{\rho x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\rho u}{\rho y}\right)^2 \sigma_y^2 = (1)^2 \sigma_x^2 + (\pm 1)^2 \sigma_y^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2$$

- 시료 계수율: $\frac{2,630 \text{ Counts}}{10 \text{ min}} = 263 \text{ cpm}$,

$$\text{백그라운드 계수율: } \frac{405 \text{ Counts}}{30 \text{ min}} = 13.5 \text{ cpm}$$

- 시료 표준편차: $\frac{\sqrt{2,630 \text{ Counts}}}{10 \text{ min}} = 5.12 \text{ cpm}$,

$$\text{백그라운드 표준편차: } \frac{\sqrt{405 \text{ Counts}}}{30 \text{ min}} = 0.671 \text{ cpm}$$

$$\begin{array}{l} \text{↙} \\ \text{↘} \end{array} \quad \sqrt{\frac{263}{10}} = 5.12 \text{ cpm}$$

- 순 계수율: $263 - 13.5 \text{ cpm} = 249.5$

- 순 표준편차: $\sqrt{5.12^2 + 0.671^2} \text{ cpm} = 5.17 \text{ cpm}$

답: $249.5 \pm 5.17 \text{ cpm}$



◆ 문제 24 (계수값의 통계 처리)

Q) 어떤 공기필터의 방사능을 측정한 결과 $8,210 \pm 420$ Bq로 평가되었다. 공기를 포집할 때 필터를 지나간 공기의 체적이 100 ± 5 L 였다면 공기의 방사능 농도와 표준편차는?

■ 해설

- 푸아송 분포

$$\sigma^2 \cong \bar{x}, \quad \sigma = \sqrt{\bar{x}}$$

- 오차의 전파

$$u = x/y : \quad \sigma_u^2 = \left(\frac{\rho u}{\rho x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\rho u}{\rho y}\right)^2 \sigma_y^2 = \left(\frac{1}{y}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(-\frac{x}{y^2}\right)^2 \sigma_y^2 = \frac{1}{y^2} \sigma_x^2 + \frac{x^2}{y^4} \sigma_y^2$$

$$\sigma_u^2 = \frac{1}{y^2} \sigma_x^2 + \frac{x^2}{y^4} \sigma_y^2 = \frac{x^2}{y^2} \left(\frac{1}{x^2} \sigma_x^2 + \frac{1}{y^2} \sigma_y^2 \right), \quad \sigma_u = \frac{x}{y} \sqrt{\left(\frac{\sigma_x^2}{x^2} + \frac{\sigma_y^2}{y^2}\right)}$$

- 방사능 농도: $\frac{8,210 \text{ Bq}}{100 \text{ L}} = 82.1 \text{ Bq/L}$

- 표준편차: $\frac{8,210}{100} \sqrt{\frac{420^2}{8,210^2} + \frac{5^2}{100^2}} = 5.87 \text{ Bq/L}$

답: $82.1 \pm 5.87 \text{ Bq/L}$



◆ 문제 25 (계수값의 통계 처리)

Q) 방사성시료를 10 분간 측정하여 1,000 counts를 기록하였다. 60 분간 백그라운드 계수는 1,200 counts일 때 95% 신뢰도 수준에서 시료의 순계수율의 범위는?

■ 해설

▪ 순 계수율: $100 - 20 \text{ cpm} = 80 \text{ cpm}$

▪ 순 표준편차: $\sqrt{\left(\frac{\sqrt{1,000}}{10}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{1,200}}{60}\right)^2} \text{ cpm} = 3.21 \text{ cpm}$

▪ 95 % 신뢰도 범위: $\pm 1.96 \times 3.21 \text{ cpm} = \pm 6.29 \text{ cpm}$

▪ 99 % 신뢰도 수준 : 2.58σ

▪ 95 % 신뢰도 수준 : 1.96σ

▪ 90 % 신뢰도 수준 : 1.645σ

답: $80 \pm 6.29 \text{ cpm}$



◆ 문제 26 (최소검출한도)

Q) 전계수효율이 30 %인 어떤 계수기로 백그라운드를 10 분간 계수하여 240 counts를 얻었다. 시료도 10분간 계수할 것이며 시료 내 핵종은 매붕괴당 한 개의 방사선을 방출한다.

1) 이 계측기로 백그라운드와 시료를 각각 10분간 계측한다는 조건에서 최소검출방사능(MDA)은 얼마인가?

2) 측정할 시료가 개봉 방사성물질을 사용하는 작업실의 공기샘플러의 필터지이다. 샘플러는 10분 동안 가동되고 평균유량률은 분당 40.5L이다. 공기중 오염이 거의 일정하고 필터지의 입자 포집 효율은 98% 라고 한다면 이 측정으로 검출할 수 있는 공기중 방사능농도는 얼마인가?


■ 해설

$$\text{MDA} = \frac{L_d}{y\epsilon t} = \frac{2.71 + 4.65\sqrt{N_B}}{y\epsilon t}$$

- y: 붕괴당 방사선 방출률
- ε: 검출효율
- t: 계수시간

$$1) \text{MDA} = \frac{2.71 + 4.65\sqrt{240}}{1 \times 0.3 \times 600} = 0.415 \text{ Bq}$$

$$2) \text{검출 가능한 공기중 방사능농도} = \frac{\text{MDA}}{\text{공기 체적}} = \frac{0.415 \text{ Bq}}{40.5 \times 10 \times 0.98} = 1.04 \times 10^{-3} \text{ Bq/L}$$

답: 1) 0.415 Bq 2) 1.04×10^{-3} Bq/L 

◆ 문제 27 (카이제곱 시험)

Q) 방사선 계측시스템의 건전성을 평가하기 위해 정해진 조건에서 다음과 같은 측정치를 획득하였다. χ^2 -test를 통해 이 계측시스템의 상태를 평가하시오.

측정결과(cpm): 105, 92, 88, 110, 120


자유도 (N-1)	확 률(p)						
	0.99	0.95	0.90	0.50	0.10	0.05	0.01
4	0.30	0.71	1.06	3.36	7.78	9.49	13.28

■ 해설

$$\begin{aligned} \chi^2 &= \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{\bar{x}} & \bar{x} &= \frac{105 + 92 + 88 + 110 + 120}{5} = 103 \text{ cpm} \\ &= \frac{(105 - 103)^2 + (92 - 103)^2 + (88 - 103)^2 + (110 - 103)^2 + (120 - 103)^2}{103} \\ &= 6.68 \text{ cpm} \end{aligned}$$

(0.05 < p < 0.95)

$$\chi^2 = N - 1 = f(\text{자유도}) = 4$$

답: 계측시스템은 정상적으로 동작 

◆ 문제 28 (백그라운드)

Q) 다음 중 백그라운드에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 백그라운드를 제거하기 위한 피동적 방법은 가드검출기와 반동시계수회로를 사용하는 것이다
- ② 우주로 부터 입사하는 방사선도 백그라운드의 원인이다
- ③ 검출기 주변을 납으로 차폐하면 차폐체의 불순물 등에 의해 백그라운드가 발생할 수 있다
- ④ 측정시스템의 전기적 잡음으로 인해 백그라운드가 발생할 수 있다

■ 해설

백그라운드의 원인

- 검출기 재료, 주변 장치 등에 불순물로 포함된 천연방사성핵종(^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U)
- 측정 환경의 지각, 벽, 구조물에 포함된 천연방사성핵종(^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U)
- 우주방사선(태양방사선, 은하방사선)
- 검출 시스템 회로 자체의 전기적 잡음 등
- 피동적 방법: 차폐체로 차폐, ^{210}Pb 딸핵종인 ^{210}Bi 의 베타선에 의한 제동복사선이 발생
- 능동적 방법: 가드검출기, 반동시계수회로 사용

답: ①



◆ 문제 30 (다중채널분석기)

Q) 80 MHz로 운영되는 Wilkinson-type ADC를 사용하는 MCA의 불감시간은 얼마인가?
(단, 펄스의 저장시간은 2.5 μ s이고, 운영하는 채널은 300채널이다.)

■ 해설

- 불감시간

$$\tau = \frac{N}{\nu} + B$$

$$\tau = \frac{300}{80 \times 10^6 / \text{sec}} + 2.5 \mu\text{s} = 6.25 \mu\text{s}$$

답: 6.25 μ s

