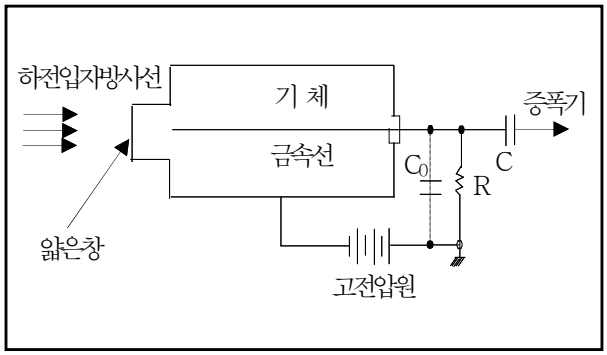
■ 기체전리형 검출기의 검출원리

하전입자는 기체를 통과할 때 그 통로에 따라서 기체의 원자나 분자를 전리하여 전자나 이온을 만든다. 기체의 분자는 충돌순간에 전자와 양이온이 나누어지지만

산소(O)와 같은 기체에서는 이 전자가 곧 중성의 분자와 결합하여 음이온으로 변환하는 일이 많으며,

아르곤(Ar)과 같은 불활성기체는 전리에 의하여 생긴 전자는 음이온으로 되지 않고 자유전자로서 움직인다.

이렇게 하여 생긴 자유전자나 이온을 그대로 방치해두면 곧 재결합하여 소멸되지만 정전장(靜電場)을 걸어 상호간을 끌어당겨 분리시켜 주어 그 전하를 수집하여 전기신호를 발생시킨다.



금속으로 된 원통형에 "-"전압(negative)을, 중심금속선에 "+"(positive)전압을 걸면 방사선의 통과에 의해서 형성된 전자 이온은"+"의 중심선쪽으로, 양이온은 "-"의 원통형 쪽으로 끌린다.

보통 음이온(전자)의 속도는 10^6cm/sec로서 양이온에 비해서 훨씬 빠르다

이 속도의 차이로 인해서 양극에는 Q만큼의 전하가 쌓이게 된다.

따라서 전위는 Q/C_0만큼 변하게 된다.

R에 있어서 전압강하의 변화는 전기적 펄스신호를 야기 시킨다.

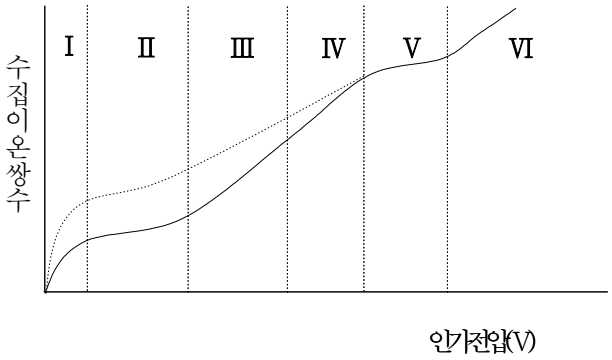
즉 방사선이 검출기속을 지날 때 전기적펄스 신호가 발생한다.

이때 두 전극에 집적되는 전하량은 검출기에 걸어준 전압에 의존한다.

참고) 펄스 크기에 영향을 미치는 인자

① 검출기의 크기
② 기체밀도
③ 기체종류
④ 방사선의 종류
⑤ 방사선의 세기(양)
⑥ 방사선의 에너지
⑦ 인가전압

■ 기체전리형검출기의 6 영역 곡선



Ⅰ: 재결합 영역(Recombination Region)

걸어준 전압이 낮기 때문에 양이온과 전자들은 너무나 천천히 이동하며 도달 하기 전에 대부분 재결합 되는 영역

Ⅱ : 전리함 영역(Ionization Chamber Region)

인가전압을 점차 증가시키면 전자와 양이온의 속도가 증가되며 빨리 이동하게 되기 때문에 재결합은 사실상 0 이되고 방사선에 의하여 생성된 이온들은 모두 전극에 도달하게 된다.

따라서 전압을 증가하여도 집적된 이온쌍의 수는 증가하지 않게 되기 때문에 전하량에 관계없이 거의 일정하게 되는 영역으로써

전극에 집적된 전하량은 방사선에 의해서 생성된 이온쌍들의 全전하와 같다.

Ⅲ : 비례 영역(Proportional Region)

전압을 계속해서 증가시키면 전극에 모이는 전하량이 이온화에 의한 원래의 전하량보다 크며, 전압의 증가에 따라 전하량도 비례하여 증가하는 영역

그 이유는 전압을 증가 시키면 고속의 전자들이 기체분자들과 충돌하여 2차이온화를 야기시키고 여기에서 생성된 2차 전자들은 또 다른 이온화를 생기게하는 **이온화 사태**(ionization avalanche, 또는 타운젠트 전자사태)가 이루어지기 때문이다.

Ⅳ : 제한 비례 영역(Limited Proportional Region)

비례 영역의 전압보다 증가시키면, 중심선 주위에 있는 양이온들이 공간전하를 이루어 전장의 감소가 되기 때문에 전극에 집적된 전하량은 일차 이온쌍의 비례성을 잃어버리는 영역

Ⅴ : Geiger영역

이 영역에서는 지금까지 양극의 한 점이나 소부분에 국한되어 일어났던 이온화사태가 중심선의 全長에 걸쳐 일어난다.

이 영역에서는 집적된 총 전하량은 증가하나 그 증가량은 초기 이온화를 만든 방사선의 성질이나 에너지에 의존하지 않는다.(방사선의 종류나 에너지 분별 불가능)

Ⅵ : 연속 방전 영역(Continuos Discharge Region)

Geiger영역의 전압보다 증가시키면 집적전하량은 급증하며 한 번 전리가 시작되면 연속적으로 전하의 이동이 일어나는 방전(discharge)상태가 된다.

전 리 함

■ 전리함의 검출원리

① 하전입자의 검출원리

직접 기체를 전리시키고 수많은 이온쌍의 형태로 전하를 생기게 함.

하전입자가 기체 1cm당 만드는 이온쌍수(비전리)는 무거운 하전입자일수록 크지만

하나의 이온쌍을 만드는데 소요되는 에너지(W치)는 입자의 종류나 에너지에 따라 별차이가 없음

일정한 기체속에서 생긴 이온쌍의 수는 알파선이 베타선보다 수백배 큼

이와 같이 생긴 양, 음이온의 전하를 전극에 모아서 측정하는 것을 전리함이라고 함

② 감마선의 검출원리

직접 기체를 전리하지 않지만, 전극이나 기체외의 상호작용으로 2차전자(δ선)를 검출함.

2차전자를 검출하는 확률이 나쁘기 때문에 검출효율이 나쁨

③ 중성자의 검출원리

비하전입자이므로 직접 기체를 전리하지 않지만 가벼운 원자로 된 기체속에는 반발원자나 핵반응에 의하여 하전입자가 생기기 때문에 이것들에 의한 전리가 일어나서 간접적으로 검출됨

■ 전리함의 단점

① 순간적으로 강한 방사선 입사시 전리함의 불포화가 문제됨

② 전기적인 절연불량에 의한 누출전류가 문제

예방책 : 전극지지재로서 절연이 좋은 재료(불소수지, 폴리에스틸렌)를 사용하고 Guard Ring을 이용

③ 절연체 표면에 습기가 차면 누설전류가 흐르므로 습기가 문제됨

④ 전리함 구성재료속의 천연방사성물질(알파 방사체)등도 측정 방해

■ 전리함을 소형화하기 위해 고밀도의 공기등가벽이 필요한 이유

전리함의 크기는 그 원리상 X선이나 γ선으로 인해 생긴 2차전자의 도달거리와 같지 않으면 안된다.

그러나 2차전자의 도달거리는 공기중에서 수 m이므로 전리함은 커지고 전리함내의 선량율은 불균일하게 된다. 따라서 **실제의 이온화상자**는 공기의 실효원자번호와 등가이고 밀도가 높은 벽재(폴리에틸렌, 베이크라이트, 루사이트 등의 공기등가물질)를 사용하여 전리함을 소형화시켜야 한다.

만약 벽재가 공기의 실효원자번호가 다르면 전리함내의 공기와 벽재사이에서 2차전자평형이 성립되지 않기 때문이다. (전자평형이 성립되지 않으면 이온화전류치는 전리함내의 공기에 착안한 조사선량율을 나타내지 않게 된다. 따라서 가장 이상적인 벽재는 고체와 같은 밀도로 압축한 압축공기이다.)

그러나 너무 두꺼우면 입사 x선이나 γ선의 감쇠을 무시할 수 없기 때문에 벽두께는 전자평형이 성립하는 데 필요한 최소치로 설정한다.

■ 전리함을 저 에너지인 200eV의 엑스선을 이용해서 조사선량율을 교정하고 난 다음에 Co-60에 의한 공간 선량율을 측정하였더니 지시치가 의외로 낮았다. 그 이유는?

전리함으로 선량율을 측정할 때 에너지 의존성이 있기 때문이다.

전리함에 의한 선량율 측정의 에너지 의존성은 일반적으로 80~200eV의 엑스선으로 교정하였기 때문에 Co-60의 1.17 및 1.33MeV의 감마선에 대해서는 지시치가 내려간 것이다.

비 례 계 수 관

■ 소멸기체(Quenching Gas)

2차 이온화 반응시 기체의 여기반응도 같이 일어나게 되는데, 여기분자는 전자사태에 크게 기여하지 못하고 가시광선이나 자외선을 방출하면서 기저상태로 돌아가게 되는데 이때 발생된 광자는 다른 기체분자의 외곽전자와 상호작용을 하거나 검출기의 벽과 광전효과를 일으켜 다른 전자를 생성시킬 수도 있으나 이러한 반응은 비례계수기의 비례성을 잃게하거나 가짜 펄스를 만들게 되므로 이때 소멸기체를 사용하여 광자를 흡수하더라도 더 이상 이온화를 일으키지 못하도록 함

■ BF_3 비례계수관식 surveymeter를 이용하여 ^{241}Am-Be선원으로부터 중성자의 등가선량을 측정하는 경우 두께 3cm이상의 파라핀을 덮어서 지시치를 판독하는 이유

BF_3 계수관은 중성자를 표적핵에 쪼여 이 핵반응에서 나오는 알파입자를 검출함으로써 간접적으로 중성자를 검출하는 계수관이다.

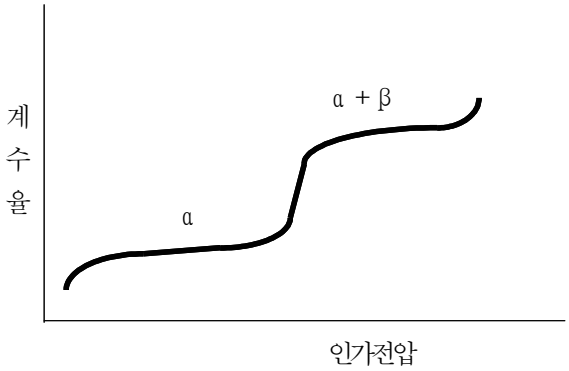
핵반응 : $^{10}B(n,\ \alpha)\ ^{7}Li$

$$^{10}B + n \rightarrow\ ^{7}Li + \alpha + 2.78MeV$$

BF_3 계수관은 열중성자 검출에 널리 사용된다. 즉 열중성자에 대하여 고감도를 갖고 있다.

그러나 ^{241}Am-Be선원에서 방출되는 중성자는 고속중성자이므로 파라핀을 사용하여 고속중성자를 감속시켜 열중성자를 측정한다.

■ 비례계수관의 계수율특성



α선과 β선을 방출하는 핵종을 계수했을 경우
인가전압의 계수율과의 관계를 구하면 위 그림과 같은 2단의 plateau가 나타난다.

제1 plateau는 α선에 의한 것이고

제2 plateau는 α+β선에 의한 것이다.

즉, **α선**은

비전리능도 크고 일반적으로 에너지도 높으므로 α선에 의한 1차이온쌍수의 양은 많고 낮은 가스증폭에서도 큰 pulse를 얻을수 있다. 따라서 인가전압의 상승에 있어서 우선 α선에 의한 plateau가 나타난다.

이 영역에서는 아직 β선의 검출에 대해서 가스증폭은 충분하지 못하고 β선은 검출되지 않는다.

그러나 인가전압을 높여가면 가스증폭율도 크게되고 나아가서 β선도 계수되게 되는데 이것이 **제 2 plateau**이다.

G M 계 수 관

13. GM계수관에서 사용되는 소멸기체의 기능

GM계수관에서는 자유전자가 전계에 의해 가속되고 여기분자수가 증가함에 따라 여기분자에서 방출되는 자외선이 광전흡수를 일으켜 계속적으로 전자를 생성하여 수집하게 되는 데 이를 **전자사태**라고 한다.

이러한 **전자사태를 방지하기 위한 방법**을 **Quenching** 이라 하는데 내부소멸법과 외부소멸법이 있다.

가. 외부소멸법

계측기외부에 저항을 연결시켜 인가전압을 낮춤으로서 전자사태를 방지할 수 있는 방법이고

나. 내부소멸법

소멸가스(Quenching gas : 유기다원자가스, 할로겐가스)를 봉입하여 전자와 양이온의 생성을 억제시켜 방전을 방지하는 방법이다. 이때 사용하는 소멸가스는 다음의 특성을 지녀야 한다.

① 계수관의 계수용기체(주기체)보다 낮은 이온화전위(W치)를 가질 것
(예; Ar90% + alcohol10% 여기서 주기체는 Ar)
이온화 전위 : Ar(15.7eV), alcohol(11.3eV)

② 넓고 강한 자외선 흡수대를 가질 것.

③ 여기상태에서 자외선 복사광을 발생하지 않고 그 자체를 흡수할 수 있을 것

참고) GM계수관의 소멸가스의 비교

	유기다원자가스	할로겐가스
수 명 제 한	있다 (10^{8-9} count)	없다
사 용 전 압	높다(1000 V)	낮다(200 - 300 V)
프래토우경사	낮다 (2 - 3 %)	높다 (5 - 10 %)
일반적으로 계수관의 수명이 길고 낮은 인가전압에서 조작할 수 있다는 이유로 할로겐가스가 많이 사용되고 있다.		

■ **10mCi 의 Co-60선원을 검사하려고 GM계수관을 선원에 더 가깝게 접근시켰더니 지침이 떨어지고 마침내는 제로로 떨어졌다. 그 이유?**

G-M계수관은 일단 한번 동작하면 수백 μsec 정도의 시간동안 동작을 정지하며 (불감시간) 이 시간에는 방사선이 입사해도 계수되지 않는다. 불감시간은 뒤 따른 방사선의 입사에 따라 다시 길어지며 입사빈도가 대단히 많을 경우 차례차례로 이 불감시간이 연장되어 계수관이 동작할수 있는 시간이 거의 없어진다. 이와 같은 불감시간을 질식형 불감시간이라고 한다. 즉 방사선의 증가에 따라 계수율의 감소현상이 생기기 때문이다.

■ **단창형 GM계수관으로 어떤 선원을 측정하고 있는데 검출기 끝에 있는 Al캡을 벗겼더니 지시치가 두드러지게 증가하였다. 그 이유 ?**

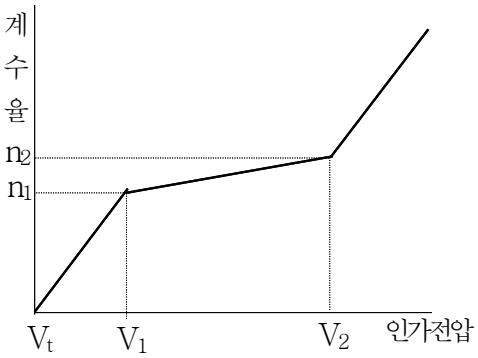
캡에 의하여 차단되었던 β선 또는 저에너지 X선 등이 계수관에 입사되어 선량증가에 기여했기 때문이다

■ 비례계수관과 GM계수관을 유사점 및 상이점

구 분		비 례 계 수 관	G M 계 수 관
상이점	일반적인 충전가스	PR가스 (Ar 90% + 메탄 10%)	Q 가스 (He 99.5% + 이소부탄 0.5 %)
	출력펄스 파고	출력펄스의 파고가 1차 전리량에 비례하고 α선 β선의 에너지판별이 가능하다.	출력펄스의 파고가 1차 전리량에 관계없이 거의 일정하다.
		수 mV	수 V
	불감시간	수 μsec	수백 μsec
	수명제한	이론적으로는 수명제한이 없다.	수명제한이 있으나 할로겐Type의 경우 수명제한이 없다.
유사점	1. 기체전리를 이용한 검출기이다. 2. 충전가스만 다르고 구조가 거의 같다. 3. 가스증폭을 이용한 형태이다.		

■ G-M계수관의 플래토우 특성

GM 계수관은 펄스의 진폭과는 상관없이 출력펄스의 숫자만을 헤아리는 단순한 계수장치에 불과하다. 즉, 펄스의 높이가 방사선의 에너지에 관한 정보를 가지고 있지 않다. 다시 말해서 계수관내의 전기장의 세기에 따라 생성되는 펄스의 크기가 증가될 뿐이다. 따라서
G-M계수관의 입사창의 전면에 적당한 강도의 베타선원을 두고 GM계수관의 인가전압을 서서히 높여가면서 파고선별기를 통과하는 펄스의 계수율을 측정해보면 아래의 그래프를 얻을 수 있다.



그래프에서 알수 있듯이 낮은 전압에서는 전혀 계수되지 않으나 어떤 전압(V_t) 이상부터 계수되기 시작하여 계수율이 급격하게 증가한다. 이때 계수가 시작되는 전압을 발단전압(V_t)이라 부른다. 이보다 더욱 인가전압을 증가시키면 계수관에서 생성된 모든 펄스가 계수되어 계수율이 일정해지는 구간($V_1 \sim V_2$)이 생기고 다시 더욱 더 인가전압을 높이면 계수관내에 연속방전이 발생하기 시작하여 갑자기 계수율이 증가하게 된다. 연속방전영역에서 계속 동작하게 되면 GM계수관이 망가질 우려가 많기 때문에 연속방전이 확인되면 바로 인가전압을 낮추어 주어야 한다.

여기서 계수율이 일정해지기 시작하는 전압 V_1을 가이거 개시전압이라 하고 연속방전이 시작되는 전압 V_2를 연속방전전압이라고 한다. **계수율이 일정해지는 구간($V_1 \sim V_2$)을 플래토우**라고 한다.
좋은 plateau의 특성으로는
- plateau의 영역이 길고
- plateau의 경사가 낮으며
- 또한 가이거 계수전압이 일정할수록 좋다.

이 프래토우상에서 GM계수관의 운전전압을 설정해 주어야 한다. 플래토우는 완전한 수평을 이루지 않고 인가전압의 증가에 따라 계수율도 약간 증가하는 게 보통이다. 이 증가의 비율을 plateau 경사라고 하며, 인가전압 100V 상승에 대한 계수율의 증가율의 백분비로 표시한다.

$$\text{plateau경사} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \frac{100}{V_2 - V_1} \times 100\%$$

일반적으로 plateau는 길수록 (300 V정도), plateau 경사는 낮을수록 (5 % / 100 V 이하) 좋다. 플래토우상에서 운전전압을 선정할때에는 프래토우길이의 1/2이하인 지점에서 선택을 하는데 그 이유는 연속방전이 일어날 확률이 증가되어 G-M계수관의 수명을 단축시킬 우려가 있기 때문이다.

그럼 플래토우 영역이라 할지라도 **인가전압의 증가에 따라 계수율이 증가하는 원인**을 알아보자. 여러 가지 이유가 있겠지만 가장 중요한 원인으로
소멸불량에 따른 가짜펄스의 계수와
계수관내의 감응용적의 실질적인 증가를 들 수 있다.
즉, 계수관내에서 생성된 양이온들이 소멸기체와 상호작용하지 않고 음극까지 이동하여 전자를 발생시켜 계수율의 증가를 가져왔으며, 계수관 끝부분의 전장의 세기가 증가하여 감응용적의 커지고 이는 곧 상호작용할 확률을 증가시켜 계수율이 상승하게 된다.

■ 불감시간, 회복시간 및 분해시간

① 불감시간(dead time)

방사선이 입사된후 약 약 수μsec동안에 동작불능 상태로 되고 이 사이에 다음에 방사선이 입사해도 출력펄스가 전혀 나오지 않는, 즉 계수가 되지 않는 시간

이것은 방전이 일어난후 중심의 주위에 양이온의 유동속도가 늦기 때문에 일순간 전계가 약화되어 다음 방사선이 입사하여도 방전이 일어나지 않는다.

② 회복 시간(recovery time)

불감 시간 이후 처음 관측된 작은 펄스를 얻은 것으로부터 원래의 주 펄스의 크기까지 회복하는 시간

③ 분해 시간(resolving time)

주 펄스를 관측하는 것으로부터 다음에 측정기에 계수가 기록되어 얻은 정도에 까지 성장한 펄스를 얻을 때까지의 시간

참고) 분해 시간 계산법

$$m = \frac{n}{1 - n\tau}$$

n : 실측한 계수율, m : 참 계수율, τ : 분해 시간

$m - n = m n \tau$

$m(1 - n\tau) = n$

$m n \tau$의 의미

실제로 방사선은 계측기와는 무관하게 일정한 율(m)로 입사되고 있으므로 가사시간(假死時間) $n\tau$ 동안 지나쳐 버린 방사선의 수(즉計數損失)

$$\text{계수 손실율} = \frac{(m - n)}{n} \times 100\%$$

참고) 붕괴 선원법 : 반감기가 짧고 정확히 알려져 있는 핵종

$$m = \frac{n}{1 - n\tau} \qquad n = me^{-m\tau}$$

$m/n \simeq 1$일 때(즉 분해시간에 의한 계수손실이 작을때)적용

참고) 두 선원법

거의 같은 정도의 방사능을 가지고 있는 두 개의 선원을 준비한다. 우선 선원S_1을 놓고 계수율 n_1을 구한다. 다음에 선원 S_2를 선원 S_1에 나란히 놓고 계수율 n_{12}를 구한다.

마지막에 선원 S_1을 제거하고 선원S_2에 대해서 계수율 n_2를 측정한다. 이 경우 자연계수율을 n_b라 하면 다음의 식이 성립한다.

$$\tau = \frac{n_1 + n_2 - n_{12} - n_b}{2 n_1 n_2}$$

n_1 : 선원 반쪽(S_1)만 측정한 계수율

n_2 : 선원의 또다른 반쪽(S_2)만 측정한 계수율

n_{12} : $S_1 + S_2$ 의 계수율

n_b : background 계수율

■ 단창형 GM계수관은 베타선에 대하여 높은 효율을 가졌지만 감마선에 대한 효율이 낮은 이유

베타선은 GM계수관내의 계수가스를 직접 전리하는데 대하여 **감마선**은 가스를 직접 전리하는 것이 아니고, 감마선이 전극재료나 계수가스와 상호작용(광전효과, 콤프턴효과, 전자쌍생성효과)한 결과 방출되는 전자에 대하여 응답을 나타낸다.

이들 상호작용의 확률(단면적)은 일반적으로 작고, 또 전극재료 중에서의 전자의 흡수도 있으므로 감마선에 대한 GM계수관의 효율은 낮다.

■ GM계수기와 Al흡수판을 이용하여 베타입자의 에너지를 추정하는 방법

GM계수관 전면에 흡수판을 넣고 계수율과 흡수판 두께와의 관계를 취하면 계수율은 흡수판의 두께에 따라서 거의 지수적으로 감소하고, 특히 흡수판 두께를 면밀도(mg/cm^2)로 표시한 경우에는 이 관계는 물질에 따라 그렇게 의존하지 않고 베타선의 에너지만으로 결정된다. 따라서

① 여러 두께를 갖는 Al흡수판을 계수관 전면에 삽입할 때마다 계수율을 구하고, 이것은 semi log graph용지에 plot 하면 그 그래프의 경사에서 질량흡수계수 μ가 구해지고 ($I = I_0 e^{(\mu/\rho)x}$에서 μ/ρ를 계산)

② 베타선의 최대에너지와 μ와의 관계($\mu/\rho = E_{max}^{-1.43}$에서 E_{max}를 계산)에서 피측정 선원의 최대에너지를 측정할 수 있다.

그 외에 GM계수기와 Al흡수판을 이용하여 구한 베타선의 흡수곡선으로부터 최대에너지를 구하는 방법에는 Feather 법과

Harley법 및 간이법이 있다.

- ○ Feather 법 : 표준시료의 흡수곡선과 미지시료의 흡수곡선과의 비교법
- ○ Harley법 : 표준시료 및 미지시료의 투과율에서 흡수체 두께에 계수율비를 구한다.

베타선의 최대비정과 최대에너지의 관계식에서 구한다.

$0.01 MeV < E < 2.5 MeV$

$R(mg/cm^2) = 412 E^{1.265 - 0.0954 \ln E}$

$2.5 MeV < E$

$R(mg/cm^2) = 530 E - 106$

따라서 베타선의 최대에너지로부터 핵종을 판별한다.

섬광 검출기 (scintillation detector)

■ 섬광검출기 검출원리

섬광작용(여기작용)을 이용한 검출기로서 섬광체라 불리우는 물질이 방사선과 상호작용하여 섬광을 방출하는 현상을 이용한다. 섬광체가 입사방사선으로부터 에너지를 흡수하게 되면 들뜬 전자상태로 되었다가 바로, 혹은 잠시의 시간이 경과한 후에 기저상태로 되돌아가게 된다. 이때 기저상태의 에너지 차에 해당하는 파장을 가진 전자파를 방출시키는데 그 파장을 가진 빛이 광전자증배관의 광음극을 자극하여 전자를 발생시키고 그 전자를 Dynode에 가속, 증배시켜 전류로서 측정한다.

■ 섬광체에 의한 방사선의 검출과정(흡수과정→섬광 과정→광의 전기적 펄스전환)

① 흡수과정

- 하전입자 입사인 경우에는 직접 전리 및 여기작용을 통해서 가졌던 에너지를 모두 섬광물질 안에다 발산함으로써 흡수된다.
- γ선이 흡수물질에 입사하는 경우에는 에너지가 광전효과, 콤프톤효과 및 쌍생성의 3과정에서 발생된 2차 전자들의 운동에너지로 전환되고 다음으로 이 2차 전자들은 전리 및 여기 작용에 의해서 그의 운동에너지를 잃는다.

② 섬광과정

섬광체에 흡수된 에너지는 열에너지(이온쌍의 운동정지)와 발광(여기원자의 전이) 형태로 나타난다. 이때 나오는 광을 섬광이라 한다.

③ 광의 전기적 펄스 전환

섬광체에서 발생된 광이 광전자증배관의 cathode에 조사되면 광전효과에 의해서 전자들이 방출한다. 이 전자를 광전자 증배관에서 증배하여 광의 전기적 펄스로 전환된다.

■ 섬광체의 종류와 방사선 검출특성

섬광체는 크게 나누어서 **유기섬광체와 무기섬광체**로 나눌 수 있다. 무기섬광체가 유기섬광체보다 섬광효율은 크지만 섬광감쇠시간이 길다.

① 유기섬광체

종 류	특 성
안트라센 스틸벤	◦안트라센과 스틸벤은 유기섬광체로서 널리 사용되고 있으며 주로 β선의 측정에 이용된다. ◦안트라센은 가장 오래전 부터 사용해 온 유기섬광체로서 유기섬광체중 가장 높은 섬광효율을 가지고 있다. ◦**안트라센이나 스틸벤같은 저원자번호를 β선의 측정에 주로 이용하는 이유**는 측정시 원자번호가 크면 β선의 후방산란이 현저히 크게되어 입사 β선이 모두 에너지를 잃기 이전에 다시 도피되어 갈 확률이 높기 때문이다.
프라스틱	◦가공성이 좋고 여러 가지의 크기와 모양으로 이용된다. ◦얇은 것은 하전입자용으로 이용되며 두꺼운 것은 우주선용이나 γ선용으로 이용 ◦또한 수소를 함유하고 있기 때문에 반도양성자에 의한 발광작용을 이용하여 속중성자검출기로도 쓰인다. ◦발광감쇠시간이 짧은 장점에 착안하여 **시간관계의 측정**에 잘 사용된다.
액 체	◦측정시료와 섞어서 사용하는 데 시료에 따라 적절한 처방이 필요하다. 액체섬광체는 시료에 따라 섬광효율이 감소하는 현상이 있으며 이를 소멸작용이라고 한다. 소멸작용은 결과적으로 계수효율의 저하를 가져온다. ◦주로 저에너지 β선에 감도가 높고 H-3나 C-14의 측정에 매우 유효하다.

② 무기섬광체

종 류	특 성
NaI(Tl)	◦활성제로서 미량의 Tl을 함유한 단결정이며 크기가 큰 것이 많이 이용된다. ◦I를 함유하고 있기 때문에 실효원자번호가 크고γ선에 대한 검출효율이 좋다. ◦조해성(흡습성이라고도 함, 대기중에 일정시간동안 방치해두면 대기중의 수분을 흡수하여 성능을 저하시킴) 있어서 반드시 Al 케이스에 밀봉시켜 사용한다. ◦Al 케이스에 밀봉되어 있고 실효원자번호가 커서 후방산란 때문에 β선의 측정에는 이용할 수 없다.
CsI(Tl)	◦NaI(Tl)보다도 실효원자번호가 크고 γ선에 대한 검출효율이 우수하고 조해성이 없어서 그대로 사용할 수 있다. ◦그러나 NaI(Tl)보다 발광강도가 작고 섬광감쇠시간이 길므로 에너지분해능이 떨어진다
LiI(Eu)	Li-6(n,α)H-3 반응으로 α입자에 의한 발광작용을 이용한 것으로서 열중성자에 대한 감도가 좋다.

종 류	특 성
BGO	◦밀도가 가장 높고 원자번호가 높은 비스무트성분이 들어 있어서 γ선에 대한 계수효율이 높다. ◦그러나 광수율이 NaI(Tl)의 20%이내이므로 에너지분해능은 떨어진다. 또한 화학적으로 안정하고 제작이 용이하지만 NaI(Tl)보다 깨지기 쉬우며 활성제를 사용하지 않는다.
ZnS(Ag)	◦미세한 백색분말로서 α선 측정에 가장 적합하다. ◦아크릴수지에 ZnS를 혼합시켜 성형한 것이 속중성자의 측정에 이용된다. 이는 중성자와 수소의 충돌에 의해 튀어나온 되튐(반동)양성자에 의한 발광반응을 이용한 것이다.
기 체 섬광체	Xe, He의 기체섬광체에 하전입자가 통과하면서 그 비정을 따라 여기된 기체분자군을 남기게 되고 여기된 기체분자는 기저상태로 되돌아가면서 빛을 방출시킨다. 이때 방출하는 스펙트럼은 주로 자외선영역에 해당하므로 이를 직접 섬광체로 사용하고자 할 때에는 자외선에 민감한 광전자증배관을 사용하여야 한다. 여기서 질소와 같은 2차 성분을 첨가하면 자외선을 흡수하여 긴 파장의 빛을 다시 방출하게되어 방출스펙트럼을 이동시킬 수 있으며 고속응답도 가능하다.

■ 섬광검출기의 방사선 검출특성

섬광검출기의 방사선 검출특성은 섬광체에 의해 좌우되며 따라서 목적이나 조건에 적합한 섬광체를 선택하게 되면 모든 방사선을 효율적으로 측정할 수 있게 된다. 섬광체는 목적에 따라 여러 종류가 쓰이지만 일반적으로 **바람직한 섬광체의 특성**은 아래와 같다.

① 빛의 흡수량이 클 것(방사선의 발광변환효율이 높고 비례성이 좋을 것)
② 빛의 투과성이 좋을 것(발생된 빛의 파장에 대해 투명할 것)
③ 빛의 감쇠시간이 짧을 것
④ 발광파장이 PMT의 분광감도에 맞아야 할 것
⑤ 제작이 용이하고, 기계적, 화학적으로 내성이 강할 것
⑥ 고에너지 γ선용으로는 원자번호나 밀도가 높고 부피가 커야 한다.
⑦ 섬광체를 광전자증배관에 효율적으로 접속할 수 있도록 굴절율이 유리의 굴절율(1.5)과 유사할 것.

참고) 섬광체의 요구 사항

① 全흡수 peak가 클 것
② compton 부분이 작을 것
③ 全흡수 peak의 폭이 좁을 것

■ NaI(Tl)이 γ선 측정에 적당한 이유

신틸레이터(NaI(Tl))에 입사한 γ선이 광전효과에 의해 그 전에너지를 신틸레이터에 주는 과정이 중요하며,

○ 광전효과의 확률은 원자번호의 5승에 비례해서 증가하기 때문에, 신틸레이터로서는 고원자번호의 것이 바람직하다.
○ 그러나 이 결정은 조해성이 있기 때문에 그라스창을 붙인 Al case에 수용되어 있다. 또 그라스창이 외의 면에 대해서는 결정과 Al case사이에 Mg을 채워서 광이 효율있게 광전면쪽으로 가도록 하고 있다.

■ β선을 측정하고자 할 때 신틸레이터로서의 가져야 할 조건은 무엇인가?

β선용의 신틸레이터로서의 원자번호가 낮은 것이 좋다. 이것은 원자번호가 크면 β선의 후방산란이 현저히 크게되어 입사한 β입자가 모두 에너지를 잃기 이전에 다시 도피되어가는 확률이 크게 되기 때문이다. 이런 이유에서 β선의 측정에는 오로지 안트라센이나 스틸벤 등의 유기결정 혹은 플라스틱 신틸레이터 등이 흔히 사용한다.

■ NaI(Tl)이 β선과 같은 하전입자의 측정에는 사용할 수 없는 이유는?

NaI(Tl)은 潮解性이 있기 때문에 공기에 노출시키지 못하고 Al case로 밀봉되어있다. 따라서 Al case에 의한 흡수가 큰β선의 측정에는 부적당하다.
또 NaI(Tl)은 원자번호가 높으므로 입사한 β선의 후방산란으로 결정체에서 다시 튀어 나오는 경우가 많아서 에너지에 비례한 출력펄스파고를 얻을 수 없다.

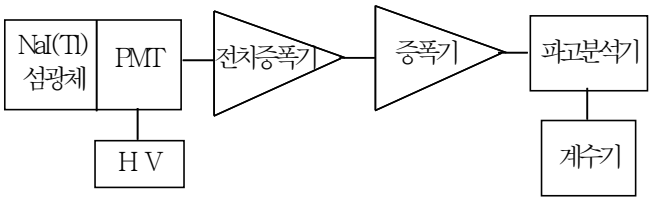
■ 광전자증배관(PhotoMultiplier Tube : PMT)

입사창의 안면에 반투명의 光電面이 있고, 10-14단의 2차 전자면(dynode)을 가진 2차 전자 증배형의 광전관이다.
입사광에 의하여 광전면에서 튀어나온 광전자는 제1다이노드에서 수배로 증배하고 이들 전자는 다음 다이노드에 의하여 더욱 더 증배되어 최종적으로 10^6정도로 증배되어 집전극(양극)에 도달한다. 음극(광전면)과 각 다이노드 그리고 양극에는 외부로 부터 일정한 전압차를 걸어주고 있다. 광전자증배관의 증폭도는 인가전압에 따라 크게 변하므로 안정도가 좋은 전원을 사용 해야 한다.

PMT의 성능을 결정하는 요인

① 광전음극의 量子효율
② 다이노드의 증배율
③ 암전류(暗電流)

■ NaI(Tl) SC의 구성도



① NaI(Tl) Scintillator

입사방사선으로 부터 에너지를 흡수하게 되면 들뜬 전자상태로 되었다가 바로, 혹은 잠시의 시간이 경과한 후에 기저상태로 되돌아가면서 기저상태의 에너지차에 해당하는 파장을 가진 전자파를 방출시켜 주는 물질로서 NaI(Tl) Scintillator는 주로 γ선의 측정에 이용된다.

② PMT

광전자증배관이란 scintillator로 부터 발광을 받아 광전효과에 의해 광전면에서 발생한 광전자를 2차전자방출기구(dynode)에 의해 증배하여 집전극에서 전류로 취출하는 장치

③ 전치증폭기

P-M tube의 출력과 주증폭기의 입력을 조화시킨다.

④ 주(비례)증폭기 : 파형정형 및 증폭을 증대시킨다.

⑤ 파고분석기(PHA)

무질서하게 입사하는 여러 가지 크기의 펄스를 분석하여 파고치와 펄스수와의 관계를 구하는 장치로서 방사선의 에너지스펙트럼의 측정에 사용한다. 1회에 1개의 파고치 범위를 계측하는 Single Channel 파고분석기와 동시에 서로 이웃하는 다수의 파고치를 계수하는 Multi Channel 파고분석기가 있다.

■ PMT 사용시 주의사항

① 안정도가 좋은 전원사용(증폭도가 인가전압에 따라 크게 변하기 때문이다)
② 자장의 영향을 받기 쉬우므로 μ메탈(metal) 등의 자기차폐가 필요하다.
③ 온도에 따라 다소의 변화가 생긴다.
④ 전압이 걸려있는 상태에서 강한 외부광을 쪼이지 말 것
⑤ 정격이상의 전압을 걸지 말 것
⑥ 직사광선 등에 노출시키지 말 것

■ P-M tube에 암펄스가 발생하는 이유

P-M tube의 성능을 좌우하는 인자로는 암펄스 (전기적 잡음), dynode의 증폭율, 광전면의 양자효율을 들 수 있는데 P-M tube에 암펄스가 발생하는 이유는 다음과 같다.

① 광음극에 섬광이 입사하지 않더라도 열에 의해 자발적으로 열전자를 방출하여 측정에 영향을 미친다.
② 광전자증배관을 사용하지 않을 때 외부의 빛에 의해 상당한 시간동안 인광상태의 빛을 발하게 되고 이로 인해 암펄스가 발생한다.

■ NaI(Tl) SC에 의한 γ선 에너지 스펙트럼

γ선 에너지 스펙트럼의 측정은 복잡한 분포로 얻어진다. 이는 NaI(Tl)신틸레이션 검출기에 입사한 방사선이 광전효과, 컴퓨턴 산란, 전자쌍생성에 의한 효과의 특성이 반영된 복잡한 에너지 정보를 나타내게 되기 때문이다.

일반적으로 γ선 에너지 스펙트럼 분포는 크게 1.02 MeV이하와 1.02 MeV이상의 에너지 분포를 나누어서 생각 할 수 있다. 그럼 과연 광전효과, 컴퓨턴 산란, 전자쌍생성이 어떻게 그 에너지정보를 반영하는 지 알아보자.

① 광전효과에 의한 peak

광전효과에 관련된 peak는 NaI(Tl)섬광체에 에너지 E_γ를 갖는 γ선이 입사하여 NaI중 I의 K각의 결합에너지를 뺀 나머지의 全에너지를 주어 원자밖으로 튀어 나오게 한다. 이때 광전효과를 일으켜 튀어나온 빈 곳은 외각측의 전자에 의해 채워지며 이때 특성X선 또는 오제전자의 형태로 에너지를 방출하게 된다. 이 에너지는 섬광체내에서 쉽게 흡수된다.

이 특성X선에 의해 여기된 섬광은 광전효과에 의해 여기된 섬광과 동시에 발생한다고 볼 수 있으며 이 광자섬광의 합이 광전peak로 나타난다. 또한 이 특성X선의 에너지가 섬광체 바같에서 소멸되는 경우가 많아 0.0286 MeV에 해당하는 낮은 peak가 얻어 지는데 이 peak를 K특성X선 escape peak라고 한다.

특히 Co-60과 같이 2개의 γ선을 동시에 방출하는 경우에는 2개의 γ선의 에너지가 동시에 에너지를 잃어 2개의 γ선의 에너지 합에 해당하는 peak가 생길 수 있다. 이를 Sum peak라 한다. 이는 검출기의 검출효율이 높으면 높을수록 두드러지게 나타나므로 이의 경감을 위해서는 선원을 검출기에서 멀리 떼어서 측정하는 것이 좋다.

② 컴퓨턴 산란에 의한 peak

컴퓨턴산란에 의한 전자의 에너지는 산란각에 따라 최저 0 - E_{emax}에 걸쳐서 연속적으로 분포한다. 이 2차 전자는 검출기내에서 흡수되지만 산란 γ선은 대부분 검출기밖으로 달아나므로 얻어진 파고분포는 컴퓨턴 전자에 대응하는 스펙트럼이다. 이것을 컴퓨턴 연속분포라 부르고 E_{emax}에 해당하는 부분을 Compton edge라고 한다.

컴퓨턴 연속분포는 단색의 γ선이 입사하더라도 스펙트럼은 연속분포가 되므로 입사 γ선의 에너지정보를 해석하는데 불리하다. 또한 컴퓨턴 산란이 일어났더라도 산란 γ선이 다시 상호작용하여 광전 peak에 기여하게 된다. 이러한 확률은 검출기 치수에 의존하며 그리 크지는 않다. 또한 γ선이 검출기 이외의 장소에서 컴퓨턴 산란을 일으킨 경우 다시 검출기에

입사하여 검출될 확률이 있다. 이 스펙트럼은 원래의 컴퓨턴 스펙트럼에 중첩되며 약 200 keV영역에서 특이한 혹을 만든다. 이를 후방산란peak라고 한다. 이는 검출기 주변물질의 종류나 배치에 의한다.

③ 전자쌍생성에 의한 peak

이 현상은 γ선의 에너지가 1.02 MeV이하에서는 절대 발생하지 않는다. γ선이 NaI(Tl)섬광체와 반응하여 전자쌍생성에 의해 양전자 및 음전자를 생성하고 이들 운동에너지의 합은 E_γ - 1.02 MeV이다. 이 양전자는 정지직전에 흡수체 속의 전자와 결합하여 2개의 소멸γ선을 방출한다.

이 소멸γ선이 1개 또는 2개가 검출기밖으로 달아났을 때 E_γ - 0.51 MeV, E_γ -1.02 MeV의 peak가 형성된다.

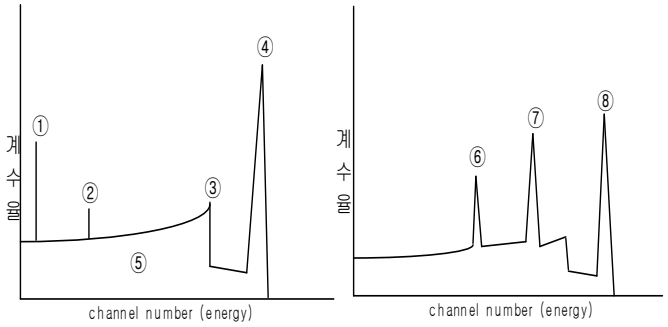
여기서 E_γ - 0.51 MeV 의 peak를 single escape peak, E_γ - 1.02 MeV의 peak를 double escape peak 라고 한다. 또한 γ선이 검출기이외의 장소에 부딪혀 전자쌍생성을 일으킨 경우 0.51 MeV의 소멸γ선이 방출되어 그것도 검출되어 0.51 MeV에 해당하는 peak를 준다.

이상과 같이 NaI(Tl) 신틸레이션 검출기에 의한 γ선 에너지 스펙트럼분포에 대해 알아보았다. γ선에 의한 에너지 스펙트럼의 요구조건은 아래와 같다.

- 全흡수peak가 클 것.
- 全흡수peak 부분의 퍼짐이 작을 것.
- 컴퓨턴 연속spectrum 부분이 작을 것.

아래의 그래프는 1.02 MeV 이하의 NaI(Tl) 섬광체에 의한 γ선스펙트럼과 1.02 MeV 이상의 NaI(Tl) 섬광체에 의한 γ선 스펙트럼 분포를 나타내었다.

측정에 적합하지 않지만 가공성이 우수하므로 작은 것은 하전입자용으로, 큰 것은 우주선용이나 γ용으로 이용되며 수소를 함유하고 있어서 반도양자에 의한 속중성자의 측정에 이용된다.



* 1.02 MeV이하의 γ 선에너지에 대한 파고분포 *1.02 MeV이상의 γ 선에너지에 대한 파고분포

① K특성 X선 peak ② 후방산란 peak
③ 컴퓨턴에지 ④ 전흡수 peak
⑤ 컴퓨턴 연속분포 ⑥ double escape peak
⑦ single escape peak ⑧ 전흡수 peak

■ 삼중수소를 측정하기 위한 계측기의 종류와 그 방법에 대하여 기술

① 계측기의 종류 : 액체섬광계수기

② 선택이유

삼중수소는 순수 베타방출체이며 반감기는 12.26년이고 최대에너지는 0.0186MeV인 저에너지이다.

베타선이 산란되는 비율은 결정체의 원자번호가 클수록 증가하여 입사한 베타입자가 모두 에너지를 잃기 이전에 결정체에서 다시 튀어나오는 경우가 많아서 에너지에 비례한 출력펄스파고를 얻을 수가 없게된다.

액체섬광계수기는 시료를 직접 녹여서 사용하므로 효율이 좋아 저에너지 베타방출체에서 사용된다.

■ 액체나 프라스틱 섬광검출기로 감마선을 측정 하지 않는 이유

유기섬광물질의 주 구성요소는 탄소와 수소이므로 감마선과 반응에서 광전효과보다는 컴프턴 산란이 주를 이룬다.

따라서 감마선에너지 스펙트럼에서 전에너지 흡수피크는 잘나타나지 않으며 콤프턴 연속 스펙트럼이 나타난다.

이런 이유로 액체나 플라스틱 섬광검출기를 이용하여 감마선을 측정하지 않는다.

■ **Cs-137에서 방출되는 γ선(662keV)이 NaI(Tl) 신틸레이션 계수관에 의하여 검출되는 과정**

① γ이 신틸레이션에 입사하고 NaI과의 상호작용(광전효과 또는 컴프턴효과)에 의하여 γ선의 에너지의 전부 또는 일부가 전자에 운동에너지로서 부여된다(다만, 전혀 상호작용을 일으키지 않고 통과할 확률도 있다.)

② 운동에너지가 주어진 전자는 NaI(Tl)을 여기, 전리하고 다음에 이 전자가 미량으로 첨가된 Tl과 같은 원자에 포착되는 과정에서 필요이상의 에너지를 형광(신틸레이션)으로서 방출한다. 발광효율은 1광자/30eV 정도이다. 이 때, 미량 첨가된 Tl은 발광중심으로서 작용한다.

③ 이 빛은 광전자 증배관의 전자면(이를 테면 Cs-Sb)에 유도되고, 여기서 광전자가 방출된다. 광전자 방출확률은 1광전자/1광자정도, 즉 원래 방사선 에너지로 환산하면 1광전자/300eV정도이다.

④ 이 광전자는 광전자증배관속의 다이노드 군(보통 10단 정도)에 의하여 순차 증배되고(전체이득 10^5- 10^6배 정도), 최종적으로 anode에 흘러 들어가 전하 펄스를 형성한다. 이 전하의 총량은 신틸레이터 속에서 소비된 방사선에너지에 비례한다. 따라서 γ선의 에너지 전부가 신틸레이터 속의 전자에 부여되었을 경우에는(이것은 주로 광전효과에 의한다.), 전하의 총량은 입사에너지에 비례하게 된다. 그러므로 이 전하를 이를테면 작은 캐파시티에 축적하고, 전압펄스로 변환한 후 싱글채널분석기나 멀티채널파고분석기에 의하여 펄스파고의 빈도 분포를 잡으면(이것을 펄스파고 분석이라 한다), γ선의 에너지 분석을 할 수 있게 된다.

■ **NaI(Tl)섬광계수관을 24keV의 γ선을 방출하는 Sn-118m밀봉선원에 접근시켰지만, 거의 계수관의 침은 움직이지 않았다. 이 현상에 대하여 그 이유를 설명하시오.**

24keV의 저에너지는 이 서베이메타의 측정범위 이하이기 때문이다. NaI(Tl)섬광계수식 서베이메타의 지시교정은 Co-60 감마선을 사용하여 감도를 낮추기 때문에 선별기의 에너지 값을 30~50keV로 하는 경우가 많다.

■ **섬광계수관으로 α선, β선, γ선 및 중성자선을 측정하려고 한다. 각각의 섬광체를 선택하고 그것을 선택한 이유를 써라.**

① α선 : ZnS(Ag) → 무기결정체

큰 결정은 얻을 수 없고, 미세한 분말상의 박막으로 사용된다. 일반적으로 α선 검출에 가장 적합하며, 아크릴수지에 ZnS를 혼합시켜 성형한 것이 속중성자의 측정에 적합하다.
이것은 중성자와 수소의 충돌에서 튀어나온 되튐 양성자에 의한 발광을 이용한 것이다.

② β선 : 안트라센(유기결정체)

스틸벤과 함께 유기결정 섬광체로서 널리 사용되고 있으며, 형광효율의 비교표준이 된다. 큰 결정은 얻기 어렵고 β선 측정에 적합하다.

③ 저에너지 β선 : 액체섬광체

액체섬광체는 시료를 직접 녹여서 사용하므로 효율이 좋으며, 저에너지 β선에 감도가 높고, H-3, C-14의 측정에 매우 유효하다.

④ γ선 : NaI(Tl) → 무기결정체

활성제로서 미량의 Tl을 함유한 NaI 단결정이며, 사이즈가 큰 것이 이용된다. I를 함유하고 있기 때문에 실효원자번호가 크고 γ선에 대한 검출효율이 좋다. NaI는 조해성이 있기 때문에 반드시 용기(Al case)에 밀봉되어 있으며, 뒷면은 유리 또는 석영으로 된 광학창을 가진다. 용기내면에는 빛의 반사재인 Al_2O_3, MnO의 가루가 채워져 있다. 따라서, β선과 같은 하전입자의 측정에는 사용할 수가 없다.

⑤ 열중성자선 : LiI(Eu) → 무기결정체

Li을 함유하고 있기 때문에 중성자 측정용으로 많이 쓰인다. Li-6(n,α)H-3 반응으로 α입자에 의한 발광을 이용한 것으로서 열중성자에 대한 감도가 좋다.

⑥ 속중성자선 : 프라스틱결정체→ 유기결정체

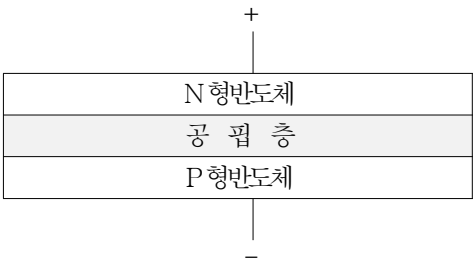
terphenyle 등의 섬광물질을 폴리스틸렌 속에 고용체로서 넣고 성형시킨 것으로, 가공성이 좋고 여러 가지 크기와 모양이 이용된다. 얇은 것은 하전입자용으로, 큰 것은 우주선용이나 γ선용으로 사용되고 있다. 섬광감쇄시간이 짧은 장점에 착안하여 시간관계의 측정에 쓰인다. 수소를 많이 함유하고 있기 때문에 되튐양성자에 의한 발광을 이용하여 속중성자 검출기로도 쓰인다.

반 도 체 검 출 기

■ 검 출 원 리

반도체를 방사선검출기로 이용하기 위해서는 방사선에 의해 반도체내에서 형성된 전자와 정공을 수집할 수 있어야 하며 이 때 방사선에 의해 생성된 전자와 정공에 의한 전류가 아닌 다른 누설전류가 있어서는 안된다.

반도체검출기의 P-N 접합에 역바이어스 전압을 가하면 모든 전자들은 N형에, 모든 정공들은 P 형쪽으로 이동하게 되어 접합부위에 거의 안전한 공핍층이 생성된다.



따라서 외부의 인가전압을 조정하여 전하수집효율과 에너지분해능을 개선할 수 있고 이러한 성질을 이용하여 방사선검출기를 구성할 수 있다. 반도체검출기는 기체봉입형검출기와 그 동작원리가 같으며 검출유효영역을 형성시키는 제조기술이나 구조에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

① P-N형 : P형 Si에 인을 확산시켜 PN접합을 형성시킨 것.
② 표면장벽형 : P형 Si에 금을 얇게 전착시킨 것.
③ Li 드리프트형
P형 Si에 Ge에 Li를 확산시켜 고저항영역을 형성한 것. (상온에서는 Li 이 확산되어 공핍층이 없어져 버리므로 이의 방지를 위해 액체질소로 냉각시킨다. Ge(Li)형은 항시 냉각시키며 Si(Li)형은 사용할 때만 냉각시킨다.)
④ 고순도형
Pure Ge 반도체검출기 또는 Ge(HP) 반도체검출기라고도 한다. 특성은 불순물의 농도나 결함이 매우 적은 Ge 결정체는 저온에서 전기저항이 매우 높으므로 높은 바이어스전압을 걸 수 있다. Ge(Li) 반도체검출기와 다른 점은
상온에서 보존할 수 있고 사용할 때에만 액체질소(77。K)로 냉각시키면 되기 때문에 유지하기가 편하고 에너지분해능도 Ge(Li) 반도체검출기에 비해 손색이 없다.
다만 매우 비싸다는 단점이 있다.

■ 타 검출기와 비교시 장, 단점

가. 장점

① 에너지분해능이 우수하다.
② 입사방사선의 에너지와 출력pulse 와의 비례성이 좋다.
③ 정공과 전자의 이동속도가 거의 같다.
④ 응답속도가 빠르다.
⑤ 일함수가 작다.
⑥ 검출기의 종류에 따라 α,β,γ선을 측정할 수 있다.
⑦ 검출부가 소형이다.

나. 단점

① 유효계수면적이 넓은 검출기를 만들기 어렵다.
② 보존시나 사용할 때 Ge(Li) type은 액체질소(77。K)로 냉각시킬 필요가 있다. 따라서 냉각탱크가 부착되어 있기 때문에 운반이 불편하다.
③ 방사선손상(radiation damage)이 크다.

■ Ge(Li)와 NaI (Tl) 신틸레이션 검출기와 비교

① 에너지분해능이 높다.

에너지분해능에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 생성이온쌍에 의한 신호의 통계적 변동으로서, Ge(Li)반도체검출기가 NaI (Tl) 신틸레이션 검출기에 비해 에너지분해능이 좋은 이유는

- 일함수가 작고
- 전자와 양공이 동일한 속도로 빠르게 수집되므로 신호의 통계적 변동이 작기 때문이다.
- 또한 NaI (Tl) 신틸레이션 검출기는 섬광체의 섬광감쇠시간이 길기 때문에 에너지분해능에 영향을 미친다.

② Ge(Li) 반도체검출기는 유효계수면적이 넓은 것을 만들기 어렵기 때문에 계수효율이나 검출감도가 떨어진다.
③ 항상 액체질소(77°K)로 냉각시켜야 하며, 따라서 냉각탱크가 부착되어 운반이 불편하다.
④ 가격이 비싸며 여러가지 모양으로 만들기 어렵다.
⑤ 저준위방사선 측정시 Ge(Li) 반도체검출기는 에너지분해능이 우수하므로 BG와의 분리가 확실하며, NaI (Tl) 신틸레이션 검출기는 계수효율이 우수하기 때문에 BG측정에 유리하다.

■ Ge(Li) 반도체검출기의 검출부를 항상 액체질소에 냉각하는 이유

상온에 방치하게 되면 Li의 열확산에 의하여 공핍층이 없어지기 때문이다. 즉 실온에서 Li의 이동도가 크기 때문에 사용할 때나 보관할 때 액체질소(77。K)로 냉각시켜 두지 않으면 안된다. 따라서 진공용기에 수납시켜야만 한다.

■ Ge(Li)와 Si(Li)의 비교 설명하시오

① **Ge(Li)검출기**에 의한 γ선 스펙트럼 측정에 있어서는
매우 sharp하고도 우세한 광전피크를 얻을 수 있는데 대하여,
Si(Li) 검출기의 경우는
낮은 에너지 영역을 제외하고, 광전피크는 거의 인정되지 않는다. 따라서 Si(Li)검출기는 γ선 스펙트럼 측정에 알맞지 않다.

γ선 에너지 스펙트럼측정에 있어서는 광전peak가 중시된다.
광전효과의 확률은 Z의 5승에 비례하는데, Ge의 Z는 32이고 Si의 Z는 14이다.
따라서 Si속에서 γ선이 광전효과를 일으킬 확률은 작고 γ선 스펙트럼측정에 관해서는 Ge가 훨씬 더 유리하다. 사실 Si(Li) 검출기에 의하여 1MeV정도의 γ선을 측정할 경우, 광전피크의 존재는 거의 확인할 수 없을 경우가 많다. 그러나 광전효과는 $E_{\gamma}^{-3.5}$에도 비례하기 때문에 에너지가 낮은 특성 엑스선의 스펙트럼 측정등에는 이용된다.

② Ge(Li)는 보존시나 사용할 때 항상 액체질소에 의한 냉각이 불가결하지만 Si(Li)는 반드시 냉각을 필요로 하지 않는다. 다만 높은 에너지분해능을 필요로 할 때에는 냉각하여 보존하는 수가 있으며 사용시에는 역시 열잡음을 줄이기 위하여 냉각시켜 사용한다.

③ **Si(Li)는 α선이나 β선의 측정**에 쓰이는 데 대하여
Ge(Li)는 α선이나 β선측정에 알맞지 않다. 본질적으로 α선이나 β선의 측정이 불가능하다는 게 아니고
Ge(Li)는 상시 냉각이 불가결하고 진공용기에 수납되어 있으므로 고도의 진공을 유지하기 위하여 얇은 입사창을 붙일 수 없다는 기술적인 이유 때문이며
또, β선의 에너지 스펙트럼측정에 있어서 검출기표면에서의 후방산란을 고려하면, 원자번호가 낮은 것이 바람직하므로 Si(Li)가 β선의 측정에 대해 더 유리하다.

■ Ge(Li) 와 HPGe 반도체검출기의 비교

고순도형 반도체검출기는 Pure Ge반도체검출기 또는 Ge(HP) 반도체검출기라고도 한다.

특성은 불순물의 농도나 결함이 매우 적은 Ge결정체는 저온에서 전기저항이 매우 높으므로 높은 바이어스전압을 걸 수 있다.

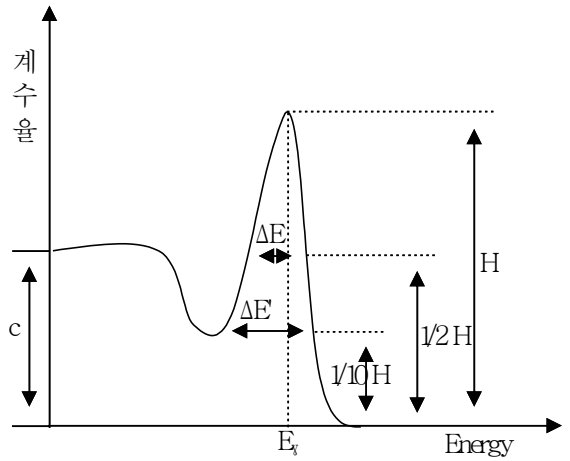
Ge(Li) 반도체검출기와 다른 점은 상온에서 보존할 수 있고 사용할 때에만 액체질소(77。K)로 냉각시키면 되기 때문에 유지하기가 편하고 에너지분해능도 Ge(Li) 반도체검출기에 비해 손색이 없다.
다만 매우 비싸다는 단점이 있다.

■ 에너지분해능과 반치폭(FWHM)에 대해 설명

방사선을 계측하여 방사선원의 종류를 규명하기 위해서는 우선 방사선의 에너지분포를 측정하여야 한다. 이처럼 방사선의 에너지분포를 측정하는 것을 Radiation Spectroscopy(방사선분광학)라 하는 데 방사선분광학용 계측기의 특성을 좌우하는 가장 중요한 요소가 에너지분해능이다. 에너지분해능은 검출기의 에너지 해석능력을 평가하는 척도이다. 아래 그림은 에너지분해능의 정의를 도식적으로 보여준다.
검출기에 에너지가 일정한 방사선이 입사하더라도 이것이 전기

- 신호로 변환되는 과정에서
- 신호의 통계적 요동이나
- 검출기 동작특성의 변화,
- 전자회로의 잡음의 영향

때문에 관측된 에너지스펙트럼에는 어느 정도의 퍼짐을 갖게 된다. 근접한 에너지로 분해하기 위해서는 될 수 있는 한 이 퍼짐이 작은 것이 요청된다.



이 퍼짐을 나타내는 지표로서 반치폭(FWHM)을 사용하며 FWHM은 전 흡수 peak (E_γ) 높이(H)의 1/2에 해당하는 peak의 폭(ΔE)를 가르키며 에너지의 절대치로 표시한다.
에너지분해능은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\text{에너지분해능} = \frac{FWHM(\Delta E)}{E} \times 100\%$$

참고로 위 그림에서 FWTM은 피크 Tail의 퍼짐을 나타내는 지표($\Delta E'$)이며
peak-compton ratio는 H/C이다.

상기 식에서 보듯이 에너지분해능이 작으면 작을수록 피크의 높이는 높아지고 폭은 좁아져서 에너지가 서로 근접한 두 개의 방사선을 구별하는 능력이 좋아진다. 일반적으로 1 MeV의 γ선에 대하여 Ge(Li)반도체검출기는 0.15%, NaI(Tl)실틸레이션검출기는 7~8 %이다.

■ Ge(Li)반도체검출기의 에너지분해능에 영향을 미치는 요인에 대해 설명하시오.

아래 사항중 어떤 요인이 지배적인가 하는 것은
방사선의 에너지,
사용한 검출기의 치수,
그 검출기의 고유한 성질에 따라 좌우된다.

① **전하운반자수의 고유의 통계적 변동**
② **전하수집효율의 변동**
③ **전자회로의 잡음**

NaI(Tl)실틸레이션 검출기의 에너지분해능에 가장 큰 영향을 미치는 것은 전하수집량의 통계적 변동이라 할 수 있는 데 이는 출력펄스의 주요한 통계적 요동의 원인이 되기 때문이다.

중성자 검출기

■ 중성자를 검출할 수 있는 방법

가. (n, α)반응

① BF_3 비례계수관

- 구조 : 통상 96%로 농축된 BF_3(三弗化硼素)기체로 충진한 円筒型
- 열 중성자 검출에 널리 사용된다.
- 고속중성자에 대해서는 감도가 저하하므로 계수관의 둘레를 parafin으로 싸서 고속 중성자를 감속시킨다.
- 핵반응 : $^{10}B + n \rightarrow {}^{7}Li + \alpha + 2.78MeV$
- 중성자의 개수를 헤아리는데 쓰일 뿐이며 spectrum측정에는 사용되지 않는다.
- 천연에 존재하는 붕소는 ^{10}B를 19.6%만 함유하기 때문에 농축시킨 것을 사용한다.
- 중성자에너지가 높아지면 거의 중성자 에너지의 평방근에 역비례로 감도는 감소한다.
  이것은 상기반응의 반응 단면적이 에너지의 평방근 즉 속도에 거의 역비례(이것을 1/v법칙이라 한다.) 하기 때문이다.

② ^{6}Li 샌드위치계수관(반도체검출기)

- 검출방법
  Li은 가스형태로 이용할 수 없고, 박막형태로 이용한다. α선과 ^{3}H 의 양쪽운동에너지의 합에 해당하는 펄스를 얻기 위하여 일반적으로 ^{6}Li박막을 두 개의 표면장벽형 반도체검출기로 샌드위치하여 그 양쪽출력을 합하는 방법을 택한다.
- 핵반응 : $^{6}Li\ (n, \alpha)\ ^{3}H + 4.78MeV$

나. (n, p)반응 : ^{3}He 비례계수관

- 고속중성자의 spectrum 측정에 적합
- $^{3}He + n \rightarrow {}^{3}H + P + 764\ KeV)$

다. 반조양자(recoiled proton)

중성자의 운동에너지중 일부를 표적핵에 주어 표적핵을 튀어나가게 하며 튀어나간 핵을 반조핵이라 한다. 표적들이 항상 가벼운 핵이기 때문에 이로 인한 반조핵들을 마치 양자나 γ입자와 같이 검출기 매질에 에너지를 흡수시킨다. 표적핵으로 수소, 중수소, 헬륨이 있지만 현재까지 수소가 가장 많이 이용되며 수소와 중성자의 탄성산란으로 발생한 반조핵을 반조양자이라 한다. 이러한 중성자의 상호작용을 이용한 검출기

- 반조 양자 비례계수관
- 봉입가스 : 수소를 많이 함유한 가스(methane, ethylene)
- 오직 고속 중성자의 측정에 이용

라. 섬광을 사용한 중성자의 검출

① (n, α)반응을 이용

고속 중성자용으로 γ선에 대하여 감도가 낮은 특성을 가지며 양자나 전자에 의한 섬광 펄스의 파형의 미묘한 差를 잘 이용하여 구별 할 수 있다.

② 반조 양자법

^{6}Li가 α입자를 방출하는 것을 사용함으로 열중성자에 대하여 큰 단면적을 가지고 있으므로 기체를 전리하는 형식보다 감도가 좋다.

③ 기타

- 세륨(Ce)으로 활성화한 리튬(Li)을 넣은 유리섬광체
- Cs을 활성화한 붕소를 넣은 유리 섬광체

마. 핵분열을 사용하는 검출기(방사화를 이용한 방법)

① 원리

^{235}U, ^{238}U, ^{232}Th등 핵분열을 하는 물질을 검출기의 전극벽에 바르고 중성자에 의한 핵분열을 일으켜 그 결과 방출되는 핵분열 조각(fission fragment)을 검출

② 핵분열 전리함

- 핵분열성 물질인 산화우라늄(UO_2)膜을 검출기 내부에 입힌 전리함
- 사용 기체 : Ar
- 용도 : 노심(reactor core)의 중성자를 측정하는데 사용

열 형 광 선 량 계 (TLD)

■ 검 출 원 리

어떤 결정에 방사선을 조사시키면 자유화된 전자중에는 바로 형광을 방출하여 안정상태로 되돌아 가지 않고, 결정내의 격자 결함 때문에 생긴 Trap에 포획된다.
이 전자를 가열하여 형광을 방출하면서 안정상태로 되돌아가는데 이 빛의 양을 광전자 증배관으로 측정하여 방사선량을 구한다.

TLD는 소자의 종류에 따라

- 0.1 mR - 10^5 R의 측정이 가능하며
- 조사후 소자의 온도를 높여 열에너지를 부여함으로서 전자를 전부 방출시키면 소자는 본래의 상태로 되돌아가므로 반복사용이 가능하며
- 장기간 집적피폭선량을 측정할 수 있다.

이 때 가열온도와 발광량과의 관계를 나타낸 곡선을 Glow 곡선이라 하고 TLD를 사용하기 전에 포획중심에 잔존해 있는 전자를 가열하여 완전히 방출시키기 위한 조작을 Annealing (사전가열) 이라고 한다.
이때 소량의 불순물(활성제)는 전자와 정공을 잘 포집할 수 있는 덫의 역할과 전자 및 정공덫에 위치한 형광중심부로서 그 중심부에 전자와 정공이 재결합할 때 빛을 방출하는 기능을 한다.

■ TLD에 의한 개인피폭선량측정시 정확성을 유지하기 위한 방법

① TLD에 의한 개인피폭선량의 측정은 알고리즘의 정확한 적용을 위하여 측정에 관련된 인자를 결정하여 주어야 한다. (각 소자의 특성, 필터별 특성, 판독기의 특성, 방사선영역별특성)
② TLD 소자 및 판독기 등 관련부품에 대한 정확한 교정이 필요하다.
③ TLD QA/QC 프로그램 및 절차서를 작성하여 운영하는 것이 필수적이다.
④ 전문적인 지식과 경험을 가진 인력을 보유하여야 한다.

■ Film Badge의 원리를 설명하고 취급시 주의사항을 쓰시오.

방사선의 사진유제 감광작용을 이용하여 사진유제의 흑화도에서 선량을 판독하는 것이다.
현상된 필름의 흑화도는 피폭선량에 비례하며 피폭선량은 흑화도를 표준교정필름을 비교함으로서 평가할 수 있다.
흑화도의 판독은 densitometer를 사용하여 측정한다. 일반적으로 10 mR - 1800 R까지 측정이 가능하다.
중성자 측정용의 경우에는 감광작용이라고 보기보다는 방사선의 물질에 주는 물리적 충격을 검출하는 것이다. 따라서 이 경우에는 현미경으로 필름표면을 관찰하여 생성된 충격의 흔적을 계수하여 피폭선량을 판정한다.

취급시 주의사항

① 습도가 높은 곳이나 산, 알칼리 등의 분위기에서 사용시 프라스틱이나 비닐봉지로 밀봉한다.
② H-3 가스 분위기에서는 H-3에 의한 흑화에 주의해야 한다.
③ 오염되기 쉬운 장소에서 작업을 할 때에는 프라스틱시트에 필름뱃지를 넣어서 오염되지 않도록 주의하여야 한다.
④ 사용하지 않는 필름은 직사광선을 피하여 백그라운드가 낮은 냉암소에 보관한다.
⑤ 빛에 직접 노출되어서는 안된다.
⑥ 사용중인 필름배지와 제어용 필름배지는 가능한 한 동일조건으로 보관할 것을 요구
⑦ 필름배지는 감도의 방향성이 큰 것에 주의

참고) 필름배지의 선량측정시 취급상 주의사항

- 바램현상에 대한 보정
- 제품마다 감도의 변화 및 보관중 감도저하에 대한 보정
- 잠상퇴행에 대한 보정

■ 방사선작업종사자가 일상적으로 Film Badge를 착용하여야 할 부위와 그 이유

필름뱃지는 흉부 또는 복부, 전신피폭선량의 대표값을 얻기 위하여 작업중 가장 피폭되기 쉬운 위치에 착용하여야 한다.

■ Control Film을 필요로 하는 이유

자연방사선에 의한 필름의 흑화도를 알수 있으며, 소선량의 피폭을 알기 위하여 사용된다.

■ 필름뱃지내에 필터를 사용하거나, 케이스의 두께를 변화시켜 측정하는 이유를 써시오.

필터 뒤에 있는 농도를 측정하여 광자의 에너지를 분별할 수 있다.
특히 동일한 두께의 Cd와 Sn의 필터를 γ선용 필름뱃지에 부착하면 γ선과 열중성자의 선량을 분리하여 측정할 수 있다.
그 이유는 Cd와 Sn은 γ선에 대해서는 거의 같은 상호작용을 한다. 그러나 열중성자에 대해서는 Cd가 Sn보다 포획단면적이 크므로 Cd뒤의 농도는 (n , γ)반응에 의하여 발생되는 포획γ선에 흑화된다.
따라서 그 차이를 측정하면 γ선량과 열중성자선량을 분리하여 측정할 수 있게 된다.

■ 필름배지로 감마선, 베타선, 중성자선을 측정하는 방법에 대하여 설명하시오.

① γ(X)선

- AgBr(취하은)은 공기에 비해서 원자번호가 크고 광전효과의 영향이 큰 저에너지 영역(40~50keV)은 아주 고감도이며,
- 약 300keV이상에서는 감도가 어느 정도 일정하게 되나,
- 전자대의 생성 형성이 크게 되는 수MeV이상에서는 감도가 다시 상승한다.
- 300keV이하의 저에너지 γ(X)선에 대해서는 광자에너지가 나눠지지 않으면 선량평가를 할 수 없다.
- 개방창 및 각종 필름의 여과지에 따라 농도를 비교하여 이들 광자의 유효에너지를 판정하고, 이것에 따라 선량평가를 하게 된다.
- 필름배지에 의한 최저 측정량 : 통상 0.1~0.3mSv

② β선

- 베타선을 측정할 경우에는
  개방창(open window)인 곳 또는 얇은 플라스틱필터와 두꺼운 플라스틱필터와의 필름농도차로 베타선의 선량을 구한다.
- 저에너지 엑스선이 같이 있는 경우에는
  그 기여를 별도로 구해서 계산
- 베타선에너지는 두께가 다른 플라스틱필터를 이용해서 필름의 농도를 비교하여 산출

③ 열중성자선

- 유제에는 약 50%의 은이 포함되어 있으며 이것이 열중성자에 의해 방사화되어 베타선을 방출하고 이것이 필름을 흑화시킨다.
- γ선의 존재시에 열중성자선을 측정하기 위해서는
  감마선용필름에 Cd의 필터를 넣어서 Cd이 열중성자의 (n,γ)반응을 일으키고 γ선이 발생하는 것을 이용해서 열중성자선을 검출

④ 고속중성자

- 고속중성자의 선량은 고속중성자용 필름을 사용하여 유제 필름배지, 필름포장 가운데서 수소원자가 고속중성자와 탄성충돌해서 되돌아 나오는 양자의 비적을 배율 400배 정도의 광학현미경으로 그 수를 세어 중성자 플루언스를 구해서 측정
- 0.1MeV이하의 중성자는 검출할 수 없다.
- 단위면적당의 비적수의 선량당량에 대한 에너지특성은 매우 양호하지 않으므로 사용장소에서 중성자의 에너지 스펙트럼에 유의하는 것이 필요하다.

■ Film Badge 와 TLD 를 비교, 설명하시오.

구 분	Film Badge	TLD
측정원리	사진 감광작용	열형광 작용
측정선량	10mrem - 1800 rem	수 mrem - 10^5 rem
장 점	① 가격이 싸다(저가) ② 기록의 영구보존 가능. ③ 필름뱃지 케이스에 각종 필터를 부착함으로서 방사선의 종류와 에너지의 판별이 가능하다.	① 반복사용이 가능하며 측정에 신속성이 있다. ② 방향의존성이 형태에 따라 다르지만 일반적으로 양호 ③ 판독이 편리하고 자동화가 가능하다. ④ 소자가 소형이고 임의의 형상으로 사용가능하며 인체등가물질로 되어 있다. ⑤ 환경(온도, 습도)의 영향이 비교적 적다. ⑥ 감도가 크고 측정범위가 넓다.
단 점	① 방향의존성이 크다. ② 암실에서 현상조작이 필요하다. ③ 인체조직등가물질이 아니므로 측정치의 보정이 복잡하다. ④ 퇴행현상이 있다. ⑤ 환경(온도, 습도)의 영향이 비교적 크다.	① 가격이 비싸다. ② 일단조작하면 측정치가 소멸되어 영구보존 할 수 없다. ③ 퇴행현상이 있다. (그러나 완전히 밀봉한 상태에서는 없다.) ④ 판독오차가 크다. ⑤ 사용중 감시가 불가능하다.
공통점	① 기계적으로 견고하다. ② 장기간 집적선량의 측정이 가능하며 착용중 감시는 불가능하다. ③ 법적 기준(기본) 선량계이다. ④ 에너지의존성이 있다. (TLD는 소자에 따라 에너지의존성이 작으며 필름뱃지는 케이스의 두께나 재질에 따라 조절이 가능하다.)	

■ 개인피폭선량을 측정하기 위해 필름배지를 사용하였다. 필름배지는 적당한 물질을 필터로 선정하여 케이스에 장착하여 사용하는 데 그 이유를 설명하시오

필름배지에서 필터를 사용하는 목적은
- ○ β선과 γ, X 선의 분리측정,
- ○ 열중성자와 γ, X 선의 분리측정,
- ○ γ, X 선에 대한 에너지의존성의 평탄화 및 에너지의 추정에 그 목적이 있다.

β선은 X, γ에 비하여 투과력이 극히 적음을 이용하여 보통 프라스틱 필터와 무창의 농도를 서로 비교하여 분리측정하고

열중성자와 X,γ선의 분리측정을 위해 Sn 과 열중성자포획 단면적이 큰 Cd 을 사용하여 분리 측정할 수 있다.

■ 형광 유리 선량계

① 원리

은(銀)이온으로 활성화된 유리에 방사선을 조사시키면 흡수된 선량에 대응하여 색 중심이 형성되며, 그 결과 이 유리에 자외선을 쬐면 오렌지색의 형광이 방출된다.

이 오렌지빛을 Filter로 선택적으로 끄집어 내어 광전자 증배관에서 전기신호로 변환, 측정하는 것

이것의 정보를 판독한 후에도 유리내의 방사선량에 관한 정보는 지워지지 않기 때문에 방사선의 **축적선량**을 어느 때나 알 수 있다.

② 측정 범위 : 10mR ~ 10^5R

③ 특성
- ○ 형광측정을 행해도 착색중심이 파괴되지 않으므로 필요에 따라 어느 시점까지의 집적선량을 측정할 수 있으며, 필름과 동일하게 기록을 보존할 수 있다.
- ○ 아날링하여 사용하는 것이 가능
- ○ 직사광선 등을 차단하여 퇴행을 극히 작게 할 수 있다.
- ○ 측정선량범위가 극히 넓다(동일소자 1~10^4Sv)
- ○ 유리는 균일성이 좋고 소자간의 오차가 적다.
- ○ 소자의 크기가 작으므로 응용범위가 넓다.
- ○ 현상, 잔유량의 제거 등의 전처리가 불필요하다.
- ○ 판독기의 자동화가 가능하며 다수의 선량계 소자 관리에 편리하다.

■ 화학선량계

가. Fricke(철)선량계

① 황산철을 황산에 녹인 용액에 공기 또는 산소를 포화시키고 여기에 γ선을 조사시키면 $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$(황산제1철이 산화하여 황산제2철로 되는 것)의 변화가 발생하고 이 변화량을 측정하여 선량을 산정할 수 있는 검출기

② 측정 범위

작은 선량에서부터 물리적인 방법으로 불가능에 가까운 대선량에 걸쳐 비교적 간단하게 측정할 수 있다.

나. Ce(세륨)선량계

황산제2세륨이 환원하여 황산제1세륨으로 되는 것을 이용

64. Pocket Dosimeter(포켓선량계)

방전식의 소형전리함을 사용한 만년필형의 휴대용 선량계이며 측정원리는

100volt로 충전한 후 방사선 조사에 의한 방전 결과로 생긴 양극간의 전압강하량인 전위차를 측정한다. 전압강하량(방전량)은 조사선량에 비례

① 종류
- ○ 간독식 pocket chamber(PC형) : 선량의 직접판독이 불가능
- ○ 직독식 pocket dosimeter(PD형) : 피폭선량을 직접 볼 수 있음

② 이 두선량계의 full scale이 100mR,200mR인 것이 많으며 특히 대선량용으로서 10R, 25R, 50R, 100R까지 측정가능한것도 있다.

③ 열중성자용PD(감마선이 있는곳에서 열중성자를 측정)

전리함의 내면벽에는 붕소가 도포되어 있어 $^{10}B(n,\alpha)^{7}Li$반응으로 방출되는 α선의 전리전류를 이용하여 열중성자 선량을 측정

④ PD사용시 주의사항
- ○ 진동이나 충격을 주지 말 것
- ○ 절연물을 접촉하지 말 것
- ○ 자연의 누설에 대한 보정을 할 것
- ○ 비사용중에는 건조기 등에 보관할 것
- ○ 장기간 사용한 것을 재사용 할 경우에는 충전해둘 것 (고절연체중의 전하분포가 정상상태가 아닌 것, 지시치가 안정되지 않은 것이 있기 때문)
- ○ 고습도인 곳에서는 사용하지 말 것

⑤ PD에 의한 피폭관리는 관리대상인원이 적고, 예상피폭선량이 낮은 사업소에서만 한한다.

■ 개인경보기(pocket alarmmeter)

신체외부에 착용해서 작업이 가능한 소형장치로서 적산선량으로 미리 설정된 값이 달할 때 경보를 발하는 것이다.
- ○ 검출기 : GM계수관이 많음, 전리함, Si반도체 검출기

■ 고체 비적 검출기

① 측정원리
무기유리, plastic, 운모 등의 절연물에 입자가 들어오면, 그 비적에 따라 방사선 손상이 된다. 이것을 적당한 화학약품으로 Etching pit라하며 Etching pit수를 세는 것으로 입사입자의 선량을 측정

② 중성자 개인선량계인 경우에 이용하는 핵반응으로는 핵분열, 반조(n,α)반응이 있다.

③ 중성자개인선량계로 사용할 때 이점
- ○ β, γ, X선에는 감지되지 않으므로 이들이 존재하는 곳에서도 측정할 수 있다.
- ○ 가시광선에 감지되지 않으므로 암실은 불필요
- ○ 광학적 또는 전기적 자동계측이 가능
- ○ 기록의 보존이 가능

■ 방사화 검출기

중성자에 의한 방사화를 이용하는 개인선량계로 사고시 등에 이용

In(인디움)의 얇은막을 필름배지의 일부에 부쳐서 두면 In은 열중성자에 의해 방사화해서 ^{116}In(반감기 54.1분)으로 되며 이들이 발하는 β선 또는 γ선을 측정해서 열중성자를 측정

■ 알베도형 검출기

인체에서 반사된 저에너지 중성자를 LiF 등의 열형광선량계로 검출되는 개인선량계

0.4~1.5mm의 두께인 Cd판의 전후에 열형광선량계 소자로 대치해서

前側의 소자는 입사 저에너지 중성자를 측정하고

後側의 소자는 인체로부터 알베도 중성자를 측정

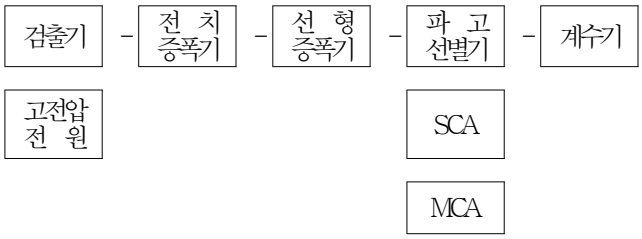
중성자에너지 분포가 변하지 않는 작업환경에서 중성자를 측정할 수 있는 우수한 개인선량계이다.

에너지 스펙트럼 측정

■ 방사선의 에너지 spectrum을 측정하는 방법

① 펄스 파고 분석법 : 방사선 검출기로 부터 파고분포를 분석하는 방법
② 흡수법 : 방사선이 물질을 투과하는 비율로 부터 에너지를 추정하는 방법
③ 비행시간법 : 방사선이 일정거리를 비행하는데 요하는 시간을 분석하는 방법
④ 자장법(磁場法) : 방사선(하전입자선)이 자장속에서 편향하는 율(率)로 부터 측정하는 방법

■ 스펙트로메터의 기본 구성도를 도시하시오.



가. 전치증폭기(pre-amplifier)

① 검출기 출력펄스의 1차 증폭
② 초기 펄스 정형
③ 검출기 출력 임피던스와 주증폭기의 입력신호 연결선의 임피던스를 경합시킴
④ 검출기에서 출력된 전하 펄스를 전압펄스로 전환

나. 주 증폭기(선형증폭기 또는 비례증폭기)

전치증폭기로부터의 전기신호를 한층 더 증폭시키는 동시에 펄스파형을 정형하여 해석장치나 기록장치에 적합한 펄스로 만들어 주는 장치

좋은 증폭기는 증폭기 고유의 잡음특성을 갖되, 낮은 입력잡음을 만들도록 해야 한다.

이것은 종종 이득에 의해 나누어진 출력에서 잡음펄스의 진폭으로 표기한다.

이 잡음은 다음과 같은데서 기인한다.

① 하전입자의 임의 운동에 기인한 열잡음
② 비금속 매질내에서 전하의 분리로 인한 shot 잡음
③ 증폭기의 전압 공급기에서의 잡음
④ 라디오나 TV수신기 혹은 형광등과 같이 인접된 전자파 방사선 발생원에 의한 잡음

다. 파고선별기(Discriminator)

방사선 검출기에서 얻어지는 전기펄스는 크고 작은 것 여러 가지가 있기 때문에 어떤 일정한 기준을 정해놓고 필요치 않는 크기의 펄스는 버리고 계수하지 않게 되는데 이 기준을 문턱값이라하고 문턱값을 전기적으로 조절할 수 있는 장치를 선별기, 문턱값을 선별준위라 부른다.

파고선별기는 문턱값을 경계로 해서 그것보다 작은 펄스는 버리는 기능을 가진 것을 말하며, 선별준위는 전기적으로 어디에나 설정할 수 있으므로 잡음을 없앨 뿐만 아니라 어떤 핵종의 피크만을 계수할 수 있다.

라. 단일채널파고분석기(SCA : Single Channel Analyzer)

선별기를 2대(LLD(Lower Level Discriminator)와 ULD(Upper Level Discriminator))를 준비하여 LLD보다 크고, ULD보다 작은 신호만을 계수할 수 있도록 한 전기회로에 접속시킨다.

즉 LLD를 측정하려고 하는 피크의 밑쪽 꼬리 근처에 설정하고 ULD는 같은 피크의 윗쪽 꼬리부분에 설정한다. 그러면 LLD와 ULD로서 피크를 가운데 낀 모양이 되어 특정 피크만을 계수할 수 있게 되는데 이것을 SCA라고 한다.

마. 다중채널 파고 분석기(MCA : Multi Channel Analyzer)

같은 에너지 간격에 대응하는 수많은 채널를 갖는 파고분석기로서 각 채널의 펄스를 동시에 계수하는 방법이다. 감마선 스펙트럼의 측정에 많이 사용되며, 펄스높이를 Digital 신호로 변환시키는 A-D변환기(ADC : Analog-to-Digital Converter)와 이 디지털신호에 의하여 구분된 신호의 수를 기억시키는 메모리부로 구성된 통계해석장치이다.

현재는 MCA는 512채널에서 8192까지의 채널을 가지고 있다.

바. 고전압전원

여러 가지 검출기 동작에 필요한 고전압을 공급하기 위한 장치로서 필요로 하는 전압은 검출기에 따라 다르지만

어느 경우일지라도 안정하며, hum, ripple 및 noise등이 겹치지 않아야 한다.

반도체검출기에 있어서는 단계적으로 규정된 전압을 올려주는 것이 필요하다.

사. 계수기(Scaler)

미리 정해진 시간간격사이에 도달한 총 펄스수를 기록하기 위해 사용

2진 계수회로, 10진 계수회로, 계수율계, 타이머

■ 메디컬 스펙트로메타(Medical Spectrometer)에 대하여 설명하시오

핵의학에서 사용되는 기기(γ-camera)는 환자에게 RI로부터 나오는 γ선을 NaI(Tl)섬광계수관으로 계측하여 RI의 분포를 화상으로 구성하는 것이다.
그러나 사용되는 핵종에 따라서 여러 종류의 감마선의 에너지가 방출되기도 하고, 또 단일 에너지 γ선에 있어서도 컴프턴효과에 의한 γ선을 수반하므로 우수한 화상을 얻기 위해서는 단일 에너지 γ선만을 검출하는 것이 필요하다.
따라서 파고분석기는 보통 SCA를 사용하고, 하나의 γ선에 의한 광전피크(전흡수피크)에 Window폭을 설정하여 측정한다.
이렇게 광전흡수만을 계수하면 화상의 구성을 저해하는 산란 γ선을 제거할 수 있으며 이와 같은 목적에 사용되는 파고분석기를 특히 Medical Spectrometer라고 한다.

■ 에너지 분해능에 가장 영향을 주는 인자

검출기의 에너지분해능은 방사선의 에너지, 사용한 검출기의 치수, 그 검출기의 고유한 성질에 의해 좌우된다.
그 주요한 원인으로는
① 정보운반자(주로 전자)의 통계적인 변동
② Fano 인자와 검출기의 잡음
③ 전하수집효율의 변동
④ 검출기의 동작특성
등이 있으며 이중에서 가장 영향을 주는 인자는 ①과 ②이다.

$FWHM = C_1\sqrt{n}$

- C_1 : 상수
- n : 방사선에 의하여 생성되는 정보운반자(여기된 전자)의 수)

($n = C_0E_\gamma$, C_0 : 상수, E_γ : 방사선의 에너지)

에너지 분해능(R) $= \frac{FWHM}{E_\gamma} = \frac{C_1\sqrt{n}}{E_\gamma} = \frac{C_1\sqrt{C_0E_\gamma}}{E_\gamma} = \frac{C}{\sqrt{E_\gamma}}$

즉 분해능은 E_γ의 평방근 $\sqrt{E_\gamma}$에 반비례한다.
예를들어 662keV의 Cs- 137 감마선, 1332keV의 Co- 60의 감마선의 에너지분해능은

$R_{662} = \frac{C}{\sqrt{662}}$, $R_{1332} = \frac{C}{\sqrt{1332}}$ 이므로

$\frac{R_{662}}{R_{1332}} = \frac{\sqrt{662}}{\sqrt{1332}} = 0.75$

그러므로 R_{1332}가 R_{662}에 비해 그 값이 0.7배로 작다.
즉 Co- 60의 감마선이 Cs- 137의 감마선에 비해 분해능이 좋으므로 더 예리한 피크가 나타난다.

■ α선 및 β선의 에너지 측정방법과 측정에 사용되는 검출기에 대해서 열거하시오.

가. α선 스펙트럼측정

α선 스펙트럼측정에는 에너지 분해능이 양호한
Grid를 부착한 펄스전리상이나
표면장벽형Si반도체 검출기가 사용되며
신틸레이션 계수관은 그다지 사용되지 않는다.
Grid부착펄스전리상(선원을 계수관속에 넣어 사용)은 꽤 큰 시료에서도 측정할 수 있어 그 나름대로 용도가 있지만,
에너지분해능에 관해서는 표면장벽형Si반도체 검출기가 우수할 뿐만 아니라 취급하기도 쉽기 때문에, 최근에는 이것이 일반적으로 사용되고 있다.
그러나 α선이 물질에 흡수되기 쉬우므로 검출기의 입사창, 공기층 또는 선원자체에 의하여 α선 에너지의 일부가 흡수되어 스펙트럼은 저에너지 쪽으로 이동하는 동시에 피크의 모양도 일그러지므로 높은 에너지 분해능을 필요로 하는 측정에서는 선원 및 검출기를 진공함 속에 배치하여야 하며 선원은 전기 도금등에 의하여 조제된 매우 얇고 균일한 것을 준비하여야 한다.

■ 측정기 종류
① 표면 장벽형 Si(Au)검출기(Grid에 비해 에너지분해능이 더 좋다)
② Grid 부착펄스 전리함(에너지 분해능이 좋다.)
③ Gas-flow형 비례계수관
④ ZnS(Ag)신틸레이션 계수관

■ β선 및 내부전환전자 스펙트럼 측정

β선은 α선과 달라서 매우 산란되기 쉽고 검출기 표면 부근에서 그 에너지의 일부를 잃은 후, 산란에 의하여 다시 밖으로 튀어나오는 확률(후방산란의 영향을 경감시키기 위하여 두 개의 검출기를 마주 보게 하여 그 중앙에 선원을 놓기도 함)이 크다.
β선이 산란되는 비율은 산란체의 원자번호에 따라 크게 증가하므로 높은 원자번호의 재료는 β선스펙트럼 측정용의 검출기로서는 적당치 않다.
β선의 스펙트럼 측정에는 Si반도체 검출기나 유기계의 신틸레이션 검출기가 사용된다. β선은 α선과 비교해서 비행정도가 훨씬 크기 때문에 특히 에너지가 낮은 β선의 경우이외는 비례계수관등 기체 계수관을 사용하는 경우가 적다. Si반도체 검출기를 사용하는 경우에도 꽤 두께가 두꺼워야 한다.

■ 측정기
① Si(Li)반도체 검출기
② 액체신틸레이션 검출기(특히 낮은 에너지)
③ GM계수관을 이용한 흡수법(Feather법, Harley법)

■ γ선 에너지 측정방법과 측정에 사용되는 검출기에 대해서 열거하시오.

방사선검출기에 입사한 γ선의 에너지는 광전효과, 콤프톤효과, 전자쌍생성효과(1.02MeV이상의 γ선)의 어느 과정에 의해서 전자의 운동에너지에 변환이 생겨, 이 전자에 대하여 검출기는 응답한다.

가. 광전효과

광전효과 때 방출된 전자(광전자)는 입사γ선의 에너지에서 전자의 결합에너지를 뺀 것이며, 입사γ선의 에너지를 전부 얻는 것은 아니지만 검출기속에서 광전효과때 부수적으로 방출되는 특성X선이나 Auger전자도 높은 확률로 흡수되기 때문에 결과적으로 검출기속에서 광전효과가 일어나면 γ선의 전에너지가 검출기에 주어지고, 검출기로부터의 출력펄스파고는 입사γ선에 비례한다.

나. compton효과 및 쌍생성효과

아래 그림에서 보는 바와같이 전자(또는 전자, 양전자의 쌍)에 γ선에너지의 일부를 주게된다. 따라서 단색의 γ선 스펙트럼을 측정하더라도 얻어진 펄스파고 스펙트럼은 이들 효과의 특성이 반영된 복잡한 모양으로 되기 때문에 이들 효과를 잘 이해하고 얻어진 스펙트럼으로 부터 γ선의 에너지 정보를 판독하는 것이 필요하다. 이것이 단일에너지의 하전입자의 스펙트럼측정과 크게 다른점이다.

다. 이러한 3가지의 효과가 일어나는 확률은 흡수물질의 원자번호나 γ선의 에너지에 의존한다.

상호작용	작 용 인 자	Z 및 E 의존성
광전효과	최내각전자	$Z^5/E_\gamma^{3.5}$
compton효과	자유전자(최외각전자)	Z/E_γ
전자쌍생성	원자핵 근방	$Z^2(E_\gamma-1.02MeV)$

라. 측정기

① Ge(Li) 또는 HPGE검출기
에너지 결정의 정확도가 매우 좋고 복잡한 spectrum도 분석할 수 있다.
② NaI(Tl)신틸레이션 검출기 : 방사능이 매우 약한 경우에 유용
③ 저에너지 γ선이나 특성X선 측정
㉮ Si(Li) 또는 얇은Ge(Li)반도체 검출기
㉯ Kr 또는 Xe비례계수관
㉰ 얇은 NaI신틸레이션 계수관
㉱ 에너지분해능 과정에서 보면(㉮ > ㉯ > ㉰)순

■ ^{137}Cs을 NaI신틸레이션 계수관을 사용하여 분석시의 스펙트럼

Event	Energy(MeV)	channel No
photopeak	0.662	280
compton edge	0.478	180
Backscatter	0.184	100

Resolution = 32/180 = 11.5%

가. A부분

전흡수peak라하고 γ선이 갖는 에너지 전부가 검출기에 흡수된 경우에 생긴다 이 전흡수peak는 주로 광전효과의 기여에 의한 것으로 이것을 광전peak라고도 한다.

나. B부분

연속적으로 퍼진 B부분은 주로 compton효과에 관여된 것이다. compton전자의 에너지는 산란각에 따라 최저0에서 최고 $E_{emax}=\frac{E_\gamma}{1+\frac{m_e c^2}{2E_\gamma}}$ 에 걸쳐서 연속적으로 분포한다. 이 2차 전자는 검출기내에서 흡수되지만, 산란γ선은 대부분 검출기 밖으로 달아나고 얻어진 파고분포는 compton전자의 스펙트럼에 대응하는 고지상의 스펙트럼이 된다. 이것을 compton연속분포라하고 E_{emax}에 해당 하는 낭떨어지를 compton edge라 한다.

이상과 같은 이유에 의해 γ선 스펙트럼으로서 요구되는 것으로는 다음과 같은 것이 있다.

① A의 전흡수피크가 클 것
② B의 연속부분이 적을 것
③ A 피크부분의 폭의 퍼짐 정도가 적을 것

①, ②조건을 얻기 위해서는 각각의 효과가 원자번호에 의존한다는 것을 감안하여 검출기로서 원자번호가 높은 것을 선택하는 것이 필요하다.

- 신틸레이션계수관 : NaI(Tl),CsI(Tl)등이 우수
- 반도체검출기 : Ge(Li)검출기(Z=32)가 우수
- Si(Z=14)검출기

100keV정도 이상의 영역에서는 거의 모든 흡수피크를 감지하지 못하지만, 광전효과의 확률은 γ선의 에너지 E_γ에 관하여 $E^{-3.5}$에 비례하기 때문에, 에너지가 수십 keV이하의 영역에서는 전흡수피크가 감지될 수 있어 특히, 수십 keV이하의 영역에서 특성X선의 측정 등에 사용

③의 peak퍼짐은 검출기의 종류에 따라 다르며, 분해능의 척도가 되므로 신틸레이션 보다는 반도체가 우수하다.

그 외에 감마선의 스펙트럼 측정시 유의해야 할 사항으로는

④ 양전자를 방출하는 핵종측정시 소멸γ선 영향

^{22}Na등 양전자를 방출하는 핵종을 측정할 때는 본래의 γ선 스펙트럼이외에 양전자가 소멸될 때 방출되는 $0.51MeV$의 γ선스펙트럼이 나타난다.

⑤ X선 escape peak

광전효과가 일어나더라도 두께가 얇은 검출기를 사용할 경우 특성X선이 검출기 밖으로 달아날 확률이 약간 있게 되어 전흡수peak를 주지 않는다.

K-X선이 밖으로 달아나서 E_γ -(X선 에너지)에 해당하는 위치에 peak가 나타난다.

⑥ Sum peak

^{60}Co과 같이 2개 이상의 γ선이 동시에 방출하는 경우에는 2개의 γ선(1.17MeV, 1.33MeV)이 동시에 검출기에 입사하여 함께 에너지를 잃을 확률이 있으며 이때 각각의 γ선 에너지의 합(1.17+1.33=2.5MeV)에 해당하는 위치에 peak가 생긴 것을 Sum peak라 한다.

참고) Sum peak의 특징

- Sum peak가 생기면 본래의 전흡수피크의 크기는 그 분량만큼 감소한다.
- 검출기의 효율이 높을수록 두드러짐
- 경감하기 위해서는 선원과 검출기 사이를 멀게함

⑦ 후방산란 peak

γ선이 검출기 이외의 장소에서 compton효과를 일으켜 산란γ선이 검출기에 입사하여 검출될 확률이 있다. 이 스펙트럼은 본래의 compton스펙트럼위에 중첩되며, 특히 150~250keV영역에 특이한 혹을 만드는데 이것을 후방산란peak라 한다. 이것은 검출기 주위에 있는 물질의 종류나 배치에 의존되며, 후방산란의 영향이 두드러지며, 스펙트럼 분석이 어려운 경우가 발생한다.

■ 중성자 스펙트럼의 측정

중성자를 검출하기 위해서는 중성자와 물질과의 충돌에 있어서 반발이나 핵반응, 핵분열중 중간의 과정을 거쳐 방출되는 하전입자를 이용하여, 간접적으로 중성자를 검출하지 않으면 안된다. 따라서 중성자 검출기로서는 보통의 하전입자용 계수관과 중성자를 하전입자로 변환하는 converter를 조합해서 사용하는 것이 좋다. 이러한 종류의 계수관은 여러 가지가 있지만, 비례계수관을 사용하는 것이 많다.

가. BF_3비례계수관

비례계수관의 충진가스로서 BF_3를 이용한 것으로

$^{10}B + n \rightarrow {}^{7}Li + \alpha + 2.78MeV$의 반응을 이용한다.

이 반응은 발열반응이기 때문에 열중성자에서도 높은 감도를 가지며, 중성자검출기로서는 가장 일반적인 것이다.

그러나 이것은 오로지 중성자 개수를 세는데 사용될 뿐이고, 스펙트럼측정에 사용되는 것은 아니다. 또 고속중성자에 대해서는 감도가 저하되기 때문에 계수관의 둘레를 parafin등으로 둘러싸서 고속중성자를 감속시킨다.

나. ^{3}He 비례계수관

비례계수관의 계수가스로서 ^{3}He을 충진한 것으로서

$^{3}He + n \rightarrow {}^{3}H + p + 764KeV$ 의 발열반응을 이용한다.

이 경우 중성자가 계수관에 입사하면, 상기의 발열치와 반발 ^{3}He의 운동에너지의 합에 해당하는 파고치가 얻어진다. 또 상기의 반응은 발열반응으로 당연히 열중성자에 대해서도 응답한다. 더구나 감도도 높다.

다. ^{6}Li Sandwich계수관

이것은 2개의 반도체 검출기에 ^{6}Li을 함유하는 파라메타는 Sandwich상으로 위치시킨 가위 모양의 것으로

중성자에 의한 $^{6}Li + n \rightarrow {}^{3}H + \alpha + 4.78MeV$의 반응에 의해 방출되는 ^{3}H선 및 α선을 반도체 검출기로 측정하는 것이다.

이 방식은 분해능이 비교적 높다.

라. 반발 양자 비례 계수관

고속중성자는 물질과의 충돌에 있어서 가벼운 원자를 반발시킨다. 이 현상을 이용하여 중성자의 검출을 행할 수 있다.

이 경우, 비례계수관의 봉입가스로서 메탄이나 에틸렌등 **수소**를 많이 함유하는 가스를 이용하고, 벽의 재료로는 폴리에틸렌을 이용하여 수소의 반발을 기대한다.

또 플라스틱 신티레이터에는 수소를 많이 포함하고 있기 때문에 그 자체가 반발양자계수관이라고 할 수 있다. 이것은 **오직 고속중성자의 측정에 사용**된다.

마. 핵분열 계수관

이것은 ^{235}U, ^{238}U, ^{232}Th 등의 핵분열하는 물질을 비례계수관의 전극벽에 도포하고, 중성자에 의해 핵분열을 일으키게 하여 그 결과로 방출되는 핵분열편을 계수하도록 하는 것이다.

방 사 능 측 정

■ 방사능의 측정의 개요에 대하여 간략하게 설명하시오.

방사능측정이란 원자핵붕괴시 방출되는 방사선입자를 검출하여 그 붕괴수를 헤아리는 것이라 할 수 있다. 따라서 기본원리 측면에서는 간단한 것이지만 실제로는
방출되는 방사선의 종류와 에너지, 붕괴특성, 방사능의 강약에 따라 측정방법이 전혀 다를 수도 있다.
그러므로 붕괴도식을 참조하여 측정대상이 되는 방사선원을 바르게 인식하여 그것에 적합한 측정방법을 선택하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 각종 방사선 계측장비의 특성에 대해서도 정확한 이해를 하고 있어야 한다.
한편 측정으로 부터 얻은 계수치를 방사능으로 환산하기 위해서는

① 백그라운드,
- ○ 자연환경속에서 존재하는 방사선(우주선 또는 천연방사성물질등)에 의한 것
- ○ 검출기 구성재료속의 천영방사능
- ○ 주위의 방사선원
- ○ 전기적인 측정기의 경우 여러 가지 원인에 의한 전기적 잡음

② 계수치의 불감시간에 의한 계수손실,
③ 계수중의 방사능감소,
④ 계측치의 계수효율,
⑤ 방사선원 및 주변물질에 대한 영향의 보정과
- ○ 흡수(감쇠)와 산란의 보정
- ○ 2차 방사선에 의한 보정

⑥ 계수치의 통계적 처리가 무엇보다 중요하다.

시료의 방사능을 측정하는 방법

가. 직접측정법(절대측정법)

1. 동시계수법 2. 역동시계수법 3. 정입체각법 4. 4π계수법	방사능의 절대측정이란 시료의 방사능을 다른 측정으로 부터 얻은 데이타의 도움없이 계수율만으로 부터 보정을 행하여 직접 구하는 방법으로 일반적으로 표준기관이나 표준선원공급업체에서 행해지고 있다.

나. 준직접측정법

1. 동위원소시료의 무게측정법 2. 열량측정법 3. 전리량측정법 4. 생성자료이용법 5. 손실전하측정법	준직접측정법은 방사능을 직접계수하지는 않으나 그 방사능으로 부터 유도되는 어떤 물리량을 직접측정하여 그로 부터 방사능을 계산해내는 방법이다.

다. 간접측정법 (상대측정법)

액체섬광계수법	방사능의 상대측정이란 측정해야 할 시료와 기준이 되는 표준선원를 동일한 조건 또는 근사한 조건에서 측정하여 그 계수를 비교함으로서 시료의 방사능을 간접적으로 측정하는 방법이다. 여기서 중요한 것은 ○ 시료의 계측조건과 표준선원의 계측조건을 같거나 또는 ○ 적어도 근사적으로 만들어야 하며 ○ 조건의 일부가 다를 때에는 보정을 해야 한다. ○ 실제로 현장에서 많이 사용하는 방법이다.

■ 직접측정법(또는 절대측정법)중 정입체각법에 대하여 설명하시오.

어떤 위치에 방사성물질을 두고 검출기로 측정하는 방법으로 방사능을 측정할 경우 여러 가지 보정인자에 대하여 보정해주어야 한다. 검출기로서는 GM계수관 또는 비례계수관을 사용하는 것이 보통이다.
선원으로 부터 등방적으로 방출되는 β선중에서 조리개를 통과한 β선이 계수관내에 입사하여 계수하게 된다.

$$m = \alpha\ A\ \varepsilon\ f_g\ f_w\ f_s\ f_b\ f_h$$

① m : 계수기에서 얻은 순 계수율

② ε : 검출기의 본질적 검출 효율

참고) 검출효율

검출기에방사선이 입사하더라도 모두 검출할 수 없기 때문에 검출기에 입사한 입자수에 대한 검출기가 계수한 입자수의 비를 검출효율이라 함
즉 어느 검출기속에 입사한 방사선이 어느 만큼의 율로 검출되는가를 나타내는 효율을 말하며 검출효율은 다음과 같은 사항들에 따라 달라진다.

- 검출기 재질의 밀도와 크기
- 방사선 종류 및 에너지
- 전자회로 기기

β, α 에 대한 GM계수관이나 비례 검출기는 $\varepsilon \simeq 1$(즉 100%)이고
γ에 대한 NaI(Tl)검출기는 $\varepsilon = 1 - e^{-\mu l}$ 이다

- μ : NaI(Tl)의 선형 반응계수
- l : 입사γ선의 궤적이 검출기 결정내에 형성하는 교차선분의 길이)

③ f_g : 기하학적 효율

선원으로부터 검출기를 바라보는 입체각의 4π입체각에 대한 비율

- 선원의 크기를 무시할 때

$$f_g = \frac{1}{2}(1 - \cos\Theta) = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{d}{\sqrt{d^2 + R^2}}\right)$$

- R : 검출기 입사면의 반경
- d : source-detector의 거리

$R \gg d$이면 $f_g \simeq \frac{1}{2}$ 이 되는데 이것을 2π계수기라 한다.

④ f_w : 시료와 검출기 중간의 흡수효과 보정인자.

시료에서 방출된 방사선중 검출기에 도달하기 전에 그 일부는 중간의 공기중 또는 검출기 입사면에서 흡수되어 검출되지 않는 것을 보정한 인자.

$$f_w = e^{-\mu t} \quad (\text{단위 : } \mu: m^2/kg)$$

$$\mu = 1.7 E_{max}^{-1.14} \qquad (E : MeV \quad t : kg/m^2)$$

⑤ f_s : 自己흡수인자

α,β입자는 투과력이 미약하므로 선원자체의 두께에 의하여 自己吸收가 일어난다.
(시료를 얇게 만들어 자기흡수를 방지)

$$f_s = \frac{\text{자기흡수하는 선원에서 방출하는 β입자의 수}}{\text{자기흡수가 없이 방출하는 β입자의 수}}$$

$$f_s = \frac{1}{\mu t}(1 - e^{-\mu t})$$

- t : 시료의 두께(kg/m²)

$$0 \le f_s \le 1, \quad \mu = 1.7 E_{max}^{-1.14}$$

만약에 f_s=0.81이라면 오직 81%의 베타입자만이 선원에서 방출되어 자기흡수인자를 고려 안하면 선원강도는 19% 정도 낮게 평가된다.

⑥ f_b : 후방산란 인자

α입자의 경우에는 후방산란효과가 작으나 β입자는 선원의 지지물(시료접시 등)로 부터 후방산란을 함으로서 계수를 증가시킨다.

- 후방산란율 ∝ β선의 에너지, 원자번호, 지지물의 두께

⑦ f_h : 주변물체로 부터의 산란인자

주변물체(검출기설치대 및 구조물차폐체)에 의한 산란 효과를 반영하기 위한 인자
γ선이나 X선 측정시에는 수%에 이름(산란효과감축을 위해 노력하는 것이 바람직)

⑧ α : 방사선 방출 분포

(매 붕괴당 측정대상이 되는 방사선 방출율)
매 붕괴당 방출되는 특정 방사선의 수는 핵종에 따라 다르다. 이 α값은 여러 참고자료들에서 찾아 볼 수 있다.
이때 주의 하여야할 점은 해당 핵종의 붕괴도식을 정확히 파악하여야만 한다는 것이다.

■ 직접측정법(또는 절대측정법)중 4π계수법에 대하여 설명하시오.

정입체각법의 하나의 특수한 경우이다.

즉 $m = \alpha A \varepsilon f_g f_w f_s f_b f_h$ 에서 기하학적 효율 $f_g = 1$ 이 되도록 시료를 검출기 내부에 설치한 계측 설비이다.

$m = \alpha A \varepsilon f_w f_s$

이러한 경우 선원을 넣고 빼내고 하는 관계로 가스를 봉입할 수 없어 가스를 흐르게 하는 Gas flow방식의 계수관을 작동시킨다.

4π계수법에 있어서는 β선을 방출하면서 γ선을 방출하는 핵종에 있어서도 γ선의 영향은 거의 받지 않는다. 이것은 β선에 대한 계수효율(ε)이 높기 때문에 β선과 γ선이 계수관에서 계수 된다 하여도 동시현상 때문에 하나의 펄스밖에 기여하지 못하기 때문이다.

■ 직접측정법(또는 절대측정법)중 동시계수법에 대하여 설명하시오.

동시계수법은 방사성핵종이 붕괴할 때 두 종류의 방사선을 동시에 방출되는 경우, 각각 방사선을 측정하고 또한 동시계수회로를 이용하여 동시에 입사하는 방사선을 계측하여 방사성핵종의 방사능을 측정하는 방법이다.

- 동시회로는 2개이상의 펄스신호가 회로의 분해시간 내에 동시에 입력할 때 만 출력을 낸다.
- 둘 이상의 검출기와 동시계수회로를 이용하여 측정한 자료로부터 방사능을 평가하는 방법
- 표준기관 또는 표준선원 공급업체등에서 정밀측정을 위해서 사용된다.

가. β-γ동시계수법

① ^{60}Co, ^{198}Au처럼 β입자의 방출에 이어 γ선을 내는 핵종에 적용할수 있는 방법

② 선원에서 방출된 β입자는 β입자 검출기(GM관, 비례계수관)에 의하여 검출되어 계수되고,NaI(Tl)신틸레이션 계수관으로 γ선을 계수한다. 또한, 이들 양채널 사이에 동시회로를 접속시켜 동시신호를 제3의 계수기에 계수한다.

③ 베타, 감마 및 동시계수율

$n_\beta = \varepsilon_\beta A$ (ε_β : β선에 대한 검출효율 = $\frac{n_c}{n_\gamma}$)

$n_\gamma = \varepsilon_\gamma A$ (ε_γ : γ선에 대한 검출효율 = $\frac{n_c}{n_\beta}$)

$n_c = \varepsilon_\beta \varepsilon_\gamma A$ (n_c : β-γ동시 계수율)

방사능 $A = \frac{n_\beta n_\gamma}{n_c}$

단 n_β 는 β선용 검출기의 γ선계수분을 뺀값을 사용하고,

n_c 는 우연동시계수율 n_{ch} 를 빼줄 필요가 있다.

n_{ch} 는 동시계수의 분해시간으로부터

$n_{ch} = \tau n_\beta n_\gamma$

나. 역동시 계수법

주계수관을 역동시계수회로에 연결하여 두 검출기에서 나오는 펄스를 입력한 후 두 신호가 불감시간이내에 일치하지 않는 신호만 선별하여 계수하는 방법이다.

외부로부터 입사되는 백그라운드 방사선은 먼저 역동시계수를 지난후 주계수기에 이르게 되므로 검출은 되나 계수는 되지 않는다.

- 역동시 회로 : 2개의 신호가 동시일때는 출력이 없고 동시가 아닐 때 한쪽 신호를 출력한다.

β붕괴수, 어느 정도의 시간이 경과된후 감마천이가 일어나는 핵종에 대해 동시계수법 대신 사용되는 기술

■ 준 직접 측정법에 대하여 기술하시오.

방사능을 직접 계수하지는 않으나 그 방사능으로부터 유도되는 어떤 물리량 (예를들면 에너지 방출률)을 직접 측정하고 그로부터 방사능을 계산해내는 방법이다.

가. 동위원소의 존재비를 알고있는 시료의 무게 측정

$A = \lambda N$ $N = \frac{m N_a f}{M}$

- f : 시료의 동위원소 존재비 - m : 시료의 무게
- N_a : Avogadro수 - λ : 붕괴상수

나. 칼로리 측정(Calorimetry)

짧은 비정의 입자 즉, 알파 또는 저에너지 베타입자를 방출하는 동위원소의 방사능 측정에 적절한 방법으로 흡수된 방사선의 입자가 내는 열량(Q)을 측정함으로서 방사능 계산
단점으로서는 낮은 감응도와 장치의 크기와 복잡성, 긴 분석시간등이 있다.

$A = \frac{Q}{Et}$

- Q : 흡수된 방사선의 입자가 내는 열량
- E : 동위원소의 매 붕괴당 방출되는 평균에너지 값
- t : 열량계가 방사선의 에너지를 측정한 시간

다. 전리량 측정(이온화 측정)

주어진 방사선이 어떤 기체내에서 하나의 이온쌍을 생성시키는데 필요한 에너지(G)를 알고 있을 경우에는 전리에 의한 생성전류(i)를 측정함으로서 방사능계산

$A = \frac{iG}{E}$ (E : 핵종의 붕괴당 방출한 평균방사선 에너지)

라. 생성자료로 부터 산출법

다른 방사선을 조사시켜 방사성 동위원소를 생성시키는 경우에는 조사량, 핵단면적 및 생성핵의 붕괴특성으로부터 그 방사능을 산출

$A = N\sigma\Phi\, e^{-\lambda t_d}(1 - e^{-\lambda t_b})$

- Φ : 조사시키는 방사선의 선속밀도
- σ : 해당원소의 생성 단면적
- t_d : 조사가 끝난후 경과시간
- t_b : 조사시간
- N :표적핵의 원자 밀도

마. 전하손실 측정법(Loss-of-charge method)

방출하는 방사선이 하전입자를 방출하는 경우에는 하전입자가 가지고 나간 전하로 인한 전하손실량을 측정함으로서 방사능 산출

■ 간접(상대 또는 비교) 측정법에 대하여 기술하시오.

시료의 방사능을 직접 측정하는 것이 아니라, 측정된 자료를 방사능을 알고 있는 다른 선원의 측정결과와 비교함으로서 시료의 방사능을 결정하는 방법

- 액체섬광계수법
  액체섬광체내에 녹아있는 시료를 계수하여 표준시료와 비교함으로서 시료의 방사능을 간접적으로 평가하는 방법이며, 거의 100%의 높은 계수효율을 가지므로 ^{3}H와 ^{14}C같이 저에너지β선을 방출하는 시료의 방사능측정에 널리 사용(시료의 자기흡수, 검출기입사창에 의한 입자들의 감쇄, 검출기에서 β선 후방산란과 같은 문제를 제거해야 한다.)

■ 방사선의 종류에 따른 측정 검출기를 기술하시오.

가. α선에 의한 측정

① 2π(4π)가스 flow비례계수관
② 직류 전리함
③ ZnS(Ag)신틸레이션 계수관
④ 가스 포집형 직류 전리함: 기체의 α방사체일 경우
⑤ 액체 신틸레이션 계수관: 액체 또는 분말시료일 경우

나. β선에 의한 측정

① 액체 신틸레이션 계수관 : ^{3}H는 H_2O, ^{14}C의 유기물형태의 액체
② ^{3}H, ^{14}C는 기체상 또는 기체화하기 쉽기 때문에 직류전리함, 비례계수관, GM계수관속에 넣고 측정
③ 저에너지의 β선만을 방출하는 ^{3}H, ^{14}C, ^{35}S, ^{63}Ni등은 α선의 경우와 같이 창 없는 검출기가 적당하다.

④ 측정방법

1) 정입체각법
단창형(end window) GM계수관을 사용하여 선원을 일정한 거리에 놓고 측정하는 방법

$$n = D\eta GF$$

(n : 측정 계수율 , D : 방사능, η : 붕괴당β선의 방사비율, G : 기하학적 효율, F : 보정계수)

2) 4π계수법
3) β-γ동시계수법
4) 액체 신틸레이션 계수법 : 액체 신틸레이션 속에 측정할 선원을 용해시켜서 측정하는 방법
가) 고에너지인 경우
계수율은 붕괴율에 가까운 data를 얻는다.
나) 저에너지인 경우
소광효과(quenching)에 의하여 발생한 빛의 일부가 신틸레이터에 흡수되어 검출되지않을때가 많다. 이 효과에 의한 계수율의 감소를 보정하는방법
다) 내부 표준 선원법
동일 핵종의 표준용액을 첨가하면 계수율이 증가하는 것으로부터 계수효율을 결정하는 방법
라) 채널비법
βspectrum을 두 개의 채널로 분할해놓고 그 계수의 비와 효율과의 관계를 미리 구해 놓는 방법
마) 외부 표준선원법
외부로부터 일정한 γ선을 조사하였을 때의 계수율(또는 채널비)과 계수효율을 미리 구해 놓는 방법

다. γ선에 의한 측정

① γ선검출기로서 원자번호와 밀도가 크고 용적이 큰 것이 검출효율이 높다(γ선과 물질과의 상호작용할 확률이 적기 때문에)
② 우물형(4π)전리함 : 선원의 방사능이 약할 때 사용
③ NaI(Tl)신틸레이션계수관 : 가장 많이 사용
④ Ge(Li)반도체 검출기
복잡한 γ선 스펙트럼 특히 수종의 핵종이 혼합한 선원에 대해서 매우 유용하다.
⑤ 저에너지의 γ선이나 특성X선측정
Kr, Xe등 높은 원자번호의 계수가스를 사용한 비례계수관이나 얇은 신틸레이션 계수관, Si반도체검출기가 사용

■ **방사능 측정으로 부터 얻은 계수치를 방사능으로 환산하기 위해 보정해야 하는 사항에 대하여 기술하시오.**

① background(자연 계수)
② 계측기의 분해시간으로 인한 계수 손실
③ 계수중의 방사능 소멸의 보정
④ 계측기의 계수효율 보정
⑤ 선원 및 주변물질의 영향에 대한 보정
⑥ 계수의 통계성에 대한 배려

가. 자연계수

1) 원인
① 자연환경속에 존재하는 방사선(우주선이나 천연방사성물질등)에 의한 것
② 검출기 구성 재료 속의 천연 방사능
③ 주위의 방사선원
④ 전기적인 측정기의 경우 여러 가지 원인에 의한 전기적 잡음(noise)

나. 불감시간에 대한 계수 손실

다. 검출 하한 방사능

(Minimum Detectable Activity) : MDA

시료의 계수를 자연계수의 간섭으로 인하여 극저준위의 방사능 측정결과는 자연계수의 변화와 구별할수 없게될 수도 있다. 그러므로 통계적인 고찰로 부터 방사능의 검출을 어떠한 신속도를 가지고 확인할수 있는 한계가 있다.
이 한계를 흔히 검출 하한 방사능이라 한다.
신속도 95%의 범위에서 검출한계수(L_D)

$$L_D = 2.71 + 4.65\sqrt{n_b}$$

즉 측정치가 의미를 갖는 것은 L_D보다 계수값이 클 때에 한한다.

라. 흡수(감쇠)와 산란의 보정

① 선원자체속에서는 자기흡수와 자기산란
② 선원 피복층, 도중의 공기층의 및 검출기창에 의한 감쇠와 산란
③ 선원지지물로부터의 후방산란
④ 주위의 물체 또는 공기에 의한 산란
⑤ 하전입자에서는 ①, ②항이 중요하며
X,γ선에 대해서는 ③, ④항이 비교적 크다.

마. 2차 방사선에 대한 보정

① β측정시의 제동X선
② γ선 측정시의 2차전자나 형광X선
③ 중성자 측정시 방사화된 물질로부터의 방사선이나 포획γ선

방사선량 측정

■ 조사선량을 C/kg 단위로 정하는데 있어 전리기체가 공기인 이유

지구상의 어느 지역이나 균질한 조성을 가지면서, 또 쉽게 구할 수 있는 조건과 동시에 공기의 실효원자번호가 인체조직과 매우 비슷한 값을 갖고 있기 때문이다.
X, γ선의 물질에 흡수되는 것은 물질을 구성하고 있는 원자번호에 크게 의존하므로, 실효원자번호가 비슷하다는 것은 X, γ선의 흡수에너지가 비슷하다는 것을 의미한다.
그러므로, 공기를 전리기체로 하여 C/kg 단위로, X, γ선을 측정하는 것은 인체에 대한 X, γ선의 흡수선량과도 밀접한 관계가 있다.

■ 비감마선상수와 조사선량율 정수와의 차이점에 대하여 설명하시오.

방사능 A인 점선원으로부터 거리 r 만큼 떨어진 곳에서의 조사선량율은 광자를 방출하는 핵종의 방사능 A에 비례하고 선원으로부터의 거리 r 의 제곱에 반비례한다.

$$\dot{X} = \Gamma \frac{A}{r^2}$$

여기서 Γ는 비례상수로서 조사선량율정수 또는 비감마선상수라고 한다.
이것은 단위 방사능의 광자를 방출하는 점선원으로부터 단위길이의 거리에서 조사선량율을 나타내며 핵종마다 고유한 값을 가진다. (단위 : $R \cdot m^2/Ci \cdot hr$)

비감마상수는 2차적으로 방출되는 특성엑스선이나 제동복사선을 포함하며
조사선량율정수는 감마선, 특성엑스선 및 내부 제동복사선도 포함함
이는 곧 비감마선상수는 이상적인 점선원에 대하여 정의되어 있기 때문에 일정한 크기의 선원에서 일어나는 감쇠, 산란, 소멸복사선 및 제동복사선에 대해서 보정이 필요하다. 그러나 이들 용어는 구분하지 않고 사용함

전자회로

■ 전자회로를 취급하는데 고려해야할 성능

가. 高速性
- 회로가 얼마나 빠르게 응답을 나타내며,
- 시간적으로 근접한 현상을 취급할 수 있겠는가를 가늠하는 것이며
- 오름시간(rise time)이나 시간 분해능으로 평가된다.

나. 直線性
아날로그 펄스를 취급할 경우
입력 신호와 출력신호의 펄스진폭과의 비례성을 나타낸다.

다. 低雜音
측정시스템에서의 잡음성분의 정도를 나타낸다.
즉, 측정계의 잡음성분은 펄스파고분석에 있어서 에너지 분해능을 劣化(열화)시키고, 펄스계수에 있어서 거짓계수를 초래하게 된다.
신호대 잡음비를 최고로 양호하게 유지시키기 위해서는 전자회로에 의해 생기는 잡음성분을 가능한 한 억제시키는 동시에, 신호와 잡음과의 주파수 성분이 다름을 이용하여 잡음성분을 경감시켜야 한다.

라. 動的領域(danamic range)
어떻게 진폭이 큰 신호와 작은 신호를 동시에 취급할 것인가를 가늠하는 것이다.

마. 安定性
장시간 측정시 측정시스템의 안정상태를 나타낸다.
안정성의 내용으로 장기간의 浮動(부동 : drift), 온도계수, 전원전압의 의존성등이 있다.

계 측 통 계 및 오 차

■ 미량의 방사능을 정확도가 좋게 측정하는 법

① 차폐를 하여 자연계수율을 낮게한다.
② 시료와 자연계수의 계수시간을 될 수 있는 한 길게 잡는다.
③ 기하효율등이 커지도록 하여 시료에 대한 계수효율을 올린다.
④ 에너지를 선별하여 시료로 부터의 방사선의 계수효율을 유지하면서 자연계수율을 낮춘다.

■ 단위시간동안 측정한 경우와 t시간 동안 측정한 경우의 차이점

가. 단위시간 측정한 경우의 계수치가 r인 경우

○ **표준 편차 :** $\sigma = \sqrt{r}$

○ **상대오차(상대표준편차) :** $\delta = \frac{\text{표준편차}}{\text{계수치}} = \frac{\sqrt{r}}{r} = \frac{1}{\sqrt{r}}$

나. t분간 측정한 계수치를 n 이고 단위시간의 계수치(계수율) r인 경우

○ **계수율 :** $r = \frac{n}{t}$

○ **표준편차 :** $\sigma = \frac{\sqrt{n}}{t} = \sqrt{\frac{r}{t}}$

○ **상대오차 :** $\delta = \frac{\text{표준편차}}{\text{계수치}} = \frac{1}{\sqrt{rt}}$

(참조 $\delta = \frac{\frac{\sqrt{n}}{t}}{\frac{n}{t}} = \frac{t\sqrt{n}}{nt} = \frac{\sqrt{n}}{n} = \frac{1}{\sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{rt}}$)

문제 1) 어떤시료를 10분간 측정하였더니 6,235counts되었다.
⇒623.5(cpm)

① 시료계수의 표준편차(σ_s) $= \sqrt{n_s} = \sqrt{6,235} = 79(\text{counts})$

② 계수율 및 표준편차

$$\frac{n_s}{t_s} \pm \frac{\sqrt{n_s}}{t_s} = \frac{6235}{10} \pm \frac{\sqrt{6235}}{10} = 623.5 \pm 7.9\,cpm$$

문제 2) 백그라운드를 30분간 측정하였더니 720counts 일 때
⇒ 24(cpm)

① 순계수율 및 표준편차

$$\left(\frac{n_s}{t_s} - \frac{n_b}{t_b}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{\sqrt{n_s}}{t_s}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{n_b}}{t_b}\right)^2}$$

$$= \frac{6235}{10} - \frac{720}{30} \pm \sqrt{\left(\frac{\sqrt{6235}}{10}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{720}}{30}\right)^2} = 599.5 \pm 7.95(cpm)$$

② 상대오차 : $\delta = \frac{\text{표준편차}}{\text{계수치}} = \frac{\frac{\sqrt{n}}{t}}{\frac{n}{t}} \equiv \frac{1}{\sqrt{rt}}$

$$\frac{7.95}{599.5} = 0.013 = 1.3\%$$

다. 오차의 합성

예를들어 하나의 측정치는 5분간 계수한 결과이고 다른 하나의 측정치는 10분간 계수한 결과라면 이 두 측정치의 계수시간이 다르다. 이때 오차의 계산은 우선 두 측정치와 그의 오차전체를 소요시간으로 나누어준 다음에 합성오차를 계산해주어야 하는 것이다. 이유는 확률분포식에는 시간 t가 들어가 있지 않으므로 오차는 시간에 무관한 측정치 그대로가 오차계산의 대상이 되어야 한다.

두 측정치 및 오차를 $X \pm \sigma_X$, $Y \pm \sigma_Y$ 라 하고 합성오차를 δ_F라 하면

① 두 측정치를 합하는 경우의 합성오차

$$\delta_F = \pm\sqrt{(\sigma_X)^2 + (\sigma_Y)^2}$$

② 두 측정치를 빼줄 경우의 합성오차

$$\delta_F = \pm\sqrt{(\sigma_X)^2 + (\sigma_Y)^2}$$

③ 두 측정치를 곱할 경우의 합성오차

$$\delta_F = \pm XY\sqrt{\left(\frac{\sigma_X}{X}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_Y}{Y}\right)^2}$$

④ 두 측정치를 나눌 경우의 합성오차

$$\delta_F = \pm\frac{X}{Y}\sqrt{\left(\frac{\sigma_X}{X}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_Y}{Y}\right)^2}$$

문제 4) 10분간 계수한 결과 자연계수가 352였고 선원을 갖다 놓고 5분간 계수 하였을 때 계수가 444였다고 하면 계수치와 오차는? **답)** $53.6 \pm 4.6\,cpm$

라. 측정시간의 배분

어느 시료를 써서 t_T분간 측정하여 얻은 계수치가 n_T이고 bacground를 t_b간 측정하여 얻은 계수치를 n_b라 하면 시료의 계수율 r_s와 그 표준편차 δ_s는

$$r_s \pm \delta_s = \left(\frac{n_T}{t_T} - \frac{n_b}{t_b}\right) \pm \left[\left(\frac{\sqrt{n_T}}{t_T}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{n_b}}{t_b}\right)^2\right]$$

$$= (r_T - r_b) \pm \sqrt{\frac{r_T}{t_T} + \frac{r_b}{t_b}}$$

$\left(r_T = \frac{n_T}{t_T} \quad r_b = \frac{n_b}{t_b}\right)$이 된다.

따라서 측정시간이 길어지면 程度는 높아지지만 일정시간내에서 가장 높은 정도를 얻기 위해서는 t_T와 t_b를 적당히 배분할 필요를 느낀다. 즉 最適條件은

$$\frac{t_b}{t_T} = \sqrt{\frac{r_b}{r_T}}$$

문제 5) 측정에 사용되는 시간이 90분 밖에 없을 경우, 2시간에서 程度를 최대로 하기 위해서는 시료 및 background의 측정시간을 어떻게 배분하는 것이 좋은가를 다음의 1) 및 2)에 대해 구하고 또 양쪽에 대한 상대오차(%)를 구하라.

1) r_t = 1500 (자연계수를 포함한 계수율)
   r_b = 35(자연계수율)
2) r_t = 150cpm t_b = 20cpm

답) 1) t_b = 12분 t_T = 78분 상대오차(%) = 0.31%
2) t_b = 24분 t_T = 66분 상대오차(%) = 1.35%

상대오차: $\frac{\delta_s}{r_s} \times 100 = \frac{\sqrt{\frac{r_T}{t_T} + \frac{r_b}{t_b}}}{r_T - r_b} \times 100$

마. 측정치의 검정

반감기가 긴 같은 시료를 일정시간 측정한 계수치가 있고, 이를 계수치가 통계법칙에 따르고 있는지를 조사할 때 측정회수가 적고 데이터의 수가 한정되어 있어 이를 Plot하여 분포의 모양을 보기가 곤란할 때, 계수치가 통계법칙에 따라 분포되어 있는지 또는 외부나 내부의 잡음 등에 의한 계수치인지를 판단할 때, X^2 -test를 쓰며 측정회수가 20이상일때는 특히 신뢰할 수 있는 결과를 얻게된다

이 검정은 "Test of Goodness Fit"라고도 부른다.

<X^2 의 정의>

M은 평균치, n_i는 i번째의 측정치, n는 측정회수, f는 자유도 (f=n-1)라 하면

X^2 의 값은 일정한 분포를 이루나 이분포는 측정회수n에만 의존하고 계수율의 값에는 관계가 없다.

$$X^2_f = \frac{\sum_i (M - n_i)^2}{M}$$

X^2 의 검정은 우선X^2 을 계산하고 이것을 측정회수에 대응한 X^2 표의 값과 비교 하여 판단하면 간단하다.

측정회수가 10회 일때는 X^2 의값이 3.33~16.92범위내에 20회 측정했을 때는 10.12~30.1의 범위내에 들어야 하며, 이를 벗어났을 때는 외부 또는 잡음에 영향을 받는 것이며 계측기를 점검하고 사용해야 한다.

■ α선, β선, γ선의 에너지를 측정하는 방법을 각각 하나씩 들어 간단히 설명하라.

가. α선

반도체 검출기 또는 펄스 이온함으로부터의 출력펄스를 파고 분석하여 α선 스펙트럼을 구하고, α선 피크 위치를 이미 알고 있는 에너지의 표준 α선원의 피크 위치와 비교하여 에너지를 구한다.

나. β선

β선의 흡수곡선을 취하고, 이것을 최대에너지 및 비정을 이미 알고 있는 표준 선원의 흡수곡선과 비교하여 β선의 최대 비정을 구한다.

다. γ선

NaI(Tl) 신틸레이션 계수관 또는 GeLi 반도체 검출기로부터의 출력펄스를 파고 분석하여 γ선 스펙트럼을 구하고, 그 광전피크 위치에서 γ선 에너지를 구한다.