# bbogaegi 03. 방사선과 물질과의 상호작용 : 방사선의 정의

넓은 의미 : 전자파나 입자가 공간(진공 포함)을 진행하는 상태에 있는 것

좁은 의미 : 전리방사선(이온화방사선)

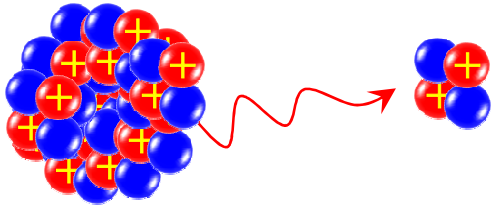
전자파나 입자가 직접 또는 간접적으로 공기를 전리시킬 수 있는 능력(에너지)을 가진 것

- 간접전리방사선 : X, γ, 중성자 등
- 직접전리방사선 : α, $\beta^-$, $\beta^+$, 음전자, 양전자, p, d, t, 중이온 등

www.nuclearacademy.com

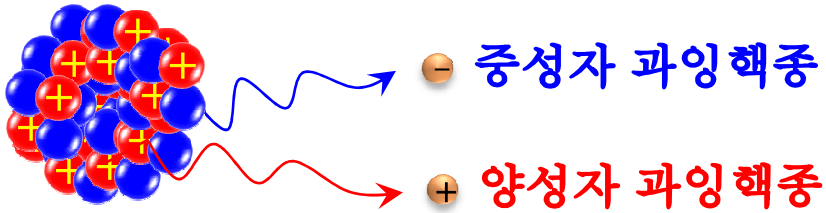
# 방사선과 물질과의 상호작용 : 방사선의 종류

알파선(α선) : He핵의 흐름



베타선(β선) : 원자핵에서 발생하는 전자(음전자, 양전자)의 흐름

연속스펙트럼



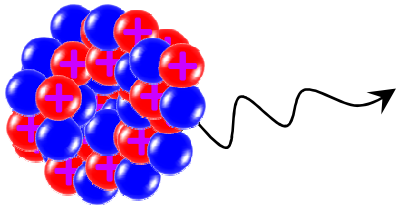

*cf.* 전자선 : 에너지를 가지고 운동하는 전자의 흐름

선스펙트럼, 발생원 : 핵외

www.nuclearacademy.com

# 방사선과 물질과의 상호작용 : 방사선의 종류

감마선(γ선) : 불안정한 원자핵에서 방출되는 단일한 특정에너지의 전자파

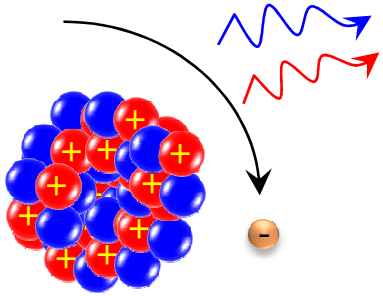


γ선

발생원 : 핵내

스펙트럼 : 선

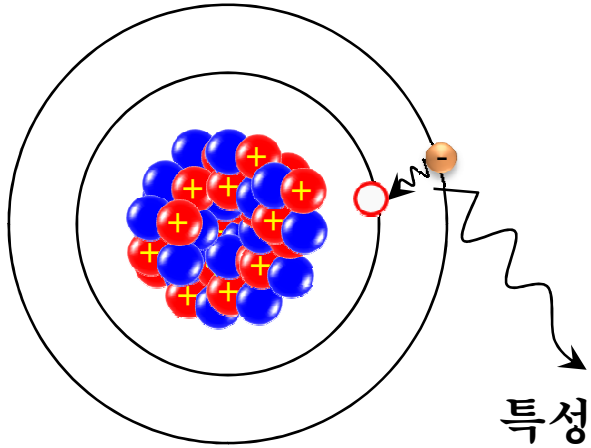
엑스선(X선)



제동복사선

발생원 : 핵외

스펙트럼 : 연속



특성X선

발생원 : 핵외

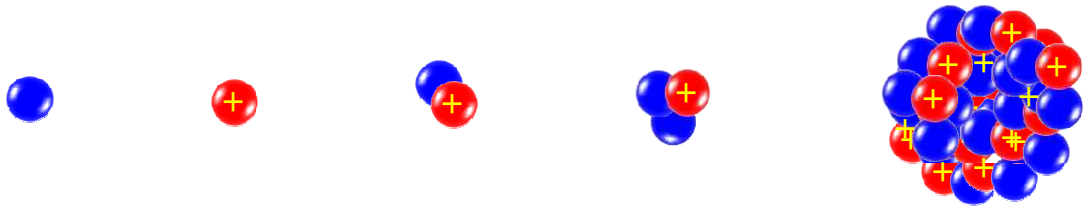
스펙트럼 : 선

www.nuclearacademy.com

# 방사선과 물질과의 상호작용 : 방사선의 종류

중성자선, 양성자선, 중양자선, 삼중양자선, 중이온

**핵분열, 핵반응시 방출되는 에너지를 가진 입자의 흐름**



이중성

**입자 : 파동의 성질** – 드브로이 **(물질파)** $\lambda = \frac{h}{mv}$

**파동 : 입자의 성질** – 아인슈타인 **(광전효과)**

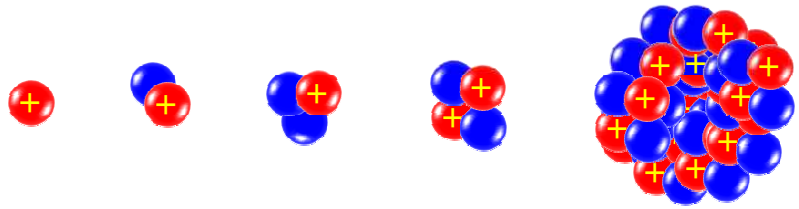
www.nuclearacademy.com

# 방사선과 물질과의 상호작용 : 방사선의 종류

## 전자파방사선과 물질과의 상호작용 X선, γ선

## 하전입자와 물질과의 상호작용

무거운 하전입자 : 중하전입자



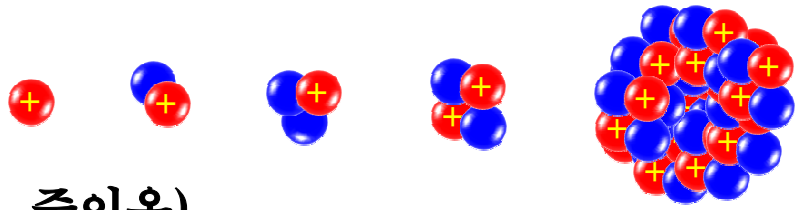
가벼운 하전입자 : 경하전입자

## 중성자와 물질과의 상호작용

www.nuclearacademy.com

# 방사선과 물질과의 상호작용 : 감마선

무거운 하전입자 : 중하전입자



(양성자, 중양자, 삼중양자, α입자, 중이온)

α

비적(track) : 직선
주 에너지손실과정 : 여기, 전리(비탄성산란)
기타 : 핵반응, 핵과의 탄성산란

가벼운 하전입자 : 경하전입자

(음전자, 양전자, $\beta^-$선, $\beta^+$선)

β

비적(track) : 지그제그
주 에너지손실과정 : 여기, 전리(비탄성산란)
기타 : 제동복사, 양전자소멸, 체렌코프현상

www.nuclearacademy.com

# 방사선과 물질과의 상호작용 : 하전입자

## 하전입자의 운동을 나타내는 양

### 비정(Range)

하전입자가 전에너지를 잃을 때까지 진행한 거리(cm)
밀도두께($g/cm^2$) : 밀도($g/cm^3$) ×두께(cm)

### 저지능(Stopping power)

하전입자가 물질중에서 단위길이당 잃는 에너지(keV/cm)

$$S \propto \frac{Q^2}{v^2} Zn$$

Q : 하전입자의 전하
Z : 물질의 원자번호
n : 물질의 원자밀도
v : 하전입자의 속도

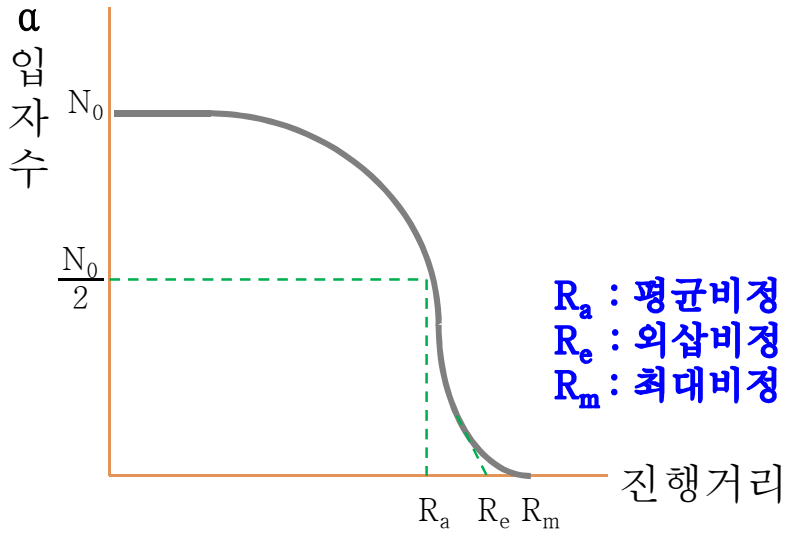
### 비전리(Specific ionization)

하전입자가 단위길이당 생성하는 이온쌍수(ip/cm)

비정↓ → 저지능↑ → 비전리↑

# 방사선과 물질과의 상호작용 : 알파선

## α선의 운동




**α입자는 동일한 초기에너지를 가졌더라도 반응횟수나 1회반응에서 잃는 에너지가 확률적이기 때문에 비정이 조금씩 차이가 난다.**

$$\text{Straggling} = R_m - R_e$$

www.nuclearacademy.com

# 방사선과 물질과의 상호작용 : 알파선

α선의 비정(4 ~ 8 MeV)

R : 비정, ρ : 밀도, A : 공기 및 물질의 원자량

-공기중 비정 $(R_a[cm], E[MeV])$ $R_a = 0.318\ E^{1.5}$

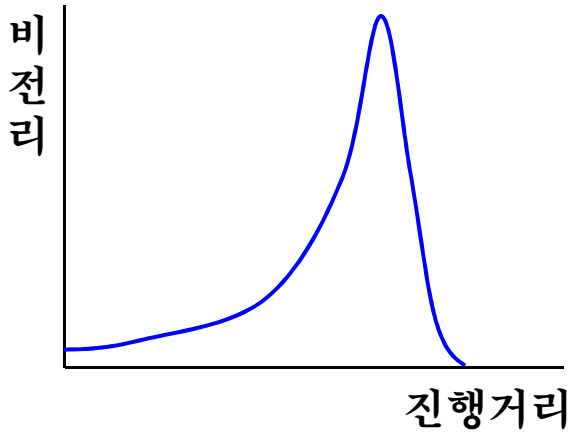
-물질중 비정 $R_m \rho_m \sqrt{A_a} = R_a \rho_a \sqrt{A_m}$

-인체연조직 에서의 비정 $R_T \rho_T = R_a \rho_a$

www.nuclearacademy.com

# 방사선과 물질과의 상호작용 : 알파선

## Bragg curve




α선은 정지하기 직전에 비전리가 최대이다.

↓

α선의 에너지손실은 정지하기 직전에 최대이다.

피부에 영향을 줄 수 있는 α선의 에너지

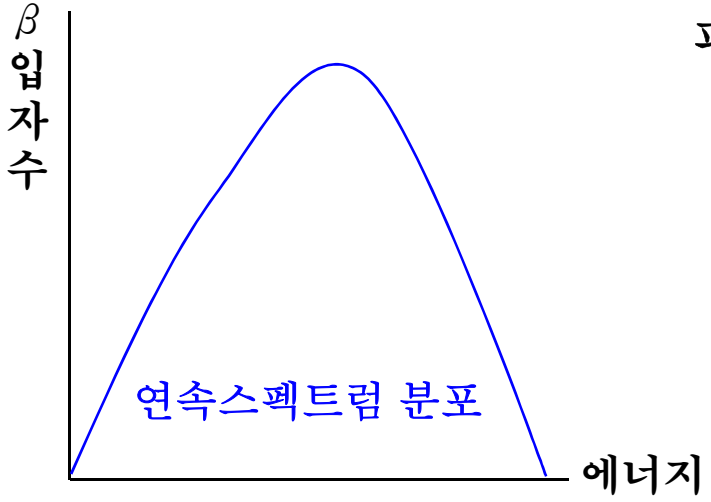
↓

**7 MeV**

www.nuclearacademy.com

# 방사선과 물질과의 상호작용 : 베타선

## β선의 운동




피부에 영향을 줄 수 있는 β선의 에너지

↓

**70 keV**

$$\beta\text{선의 평균에너지} = \frac{\beta\text{선의 최대에너지}}{3}$$

# 방사선과 물질과의 상호작용 : 베타선

## β선의 비정

R : 밀도두께 단위의 β선 비정[g/cm²]
$E_m$ : β선최대에너지[MeV]
ρ : 특정물질의 밀도
$R_m$ : 특정물질중에서의 β선 비정[cm]

$$R = 0.542E_m - 0.133 \ (0.8MeV < E_m)$$
$$= 0.407E_m^{1.38} \ (0.15MeV < E_m < 0.8MeV)$$

$$R_m = \frac{R}{\rho}$$

# 방사선과 물질과의 상호작용 : 베타선

$\beta$

충 돌 손 실

제 동 복 사

양전자소멸

체렌코프현상

*cf.* $\alpha$

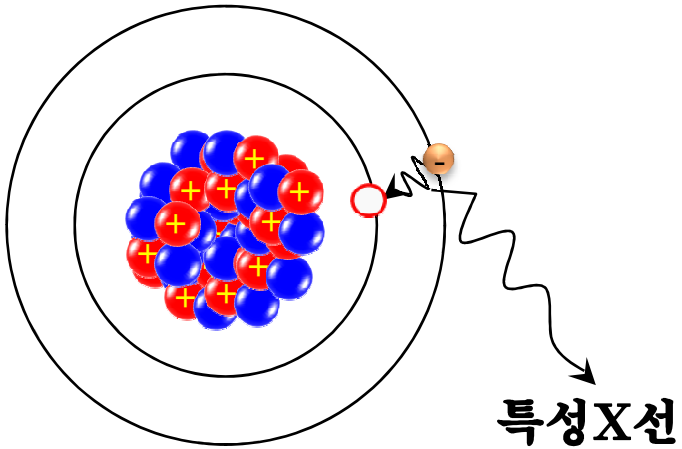
충 돌 손 실 궤도전자

탄 성 산 란 핵

핵 반 응 핵

www.nuclearacademy.com

# 방사선과 물질과의 상호작용 : 베타선충돌손실



특성X선

발생원 : 핵외
스펙트럼 : 선

모즐리법칙 $\nu = R(Z-\sigma)^2$

원자번호가 높은 원소일수록
특성X선의 진동수는 커진다.

물질내의 전자의 전리 또는 여기에 의한 후속적 발생현상

물질(원소)에 따라 고유하다.

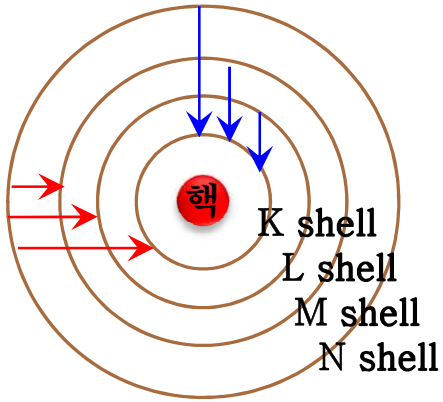
www.nuclearacademy.com

# 방사선과 물질과의 상호작용 : 베타선충돌손실

## 특성X선의 에너지크기 순서

$K_\alpha X < K_\beta X < K_\gamma X$

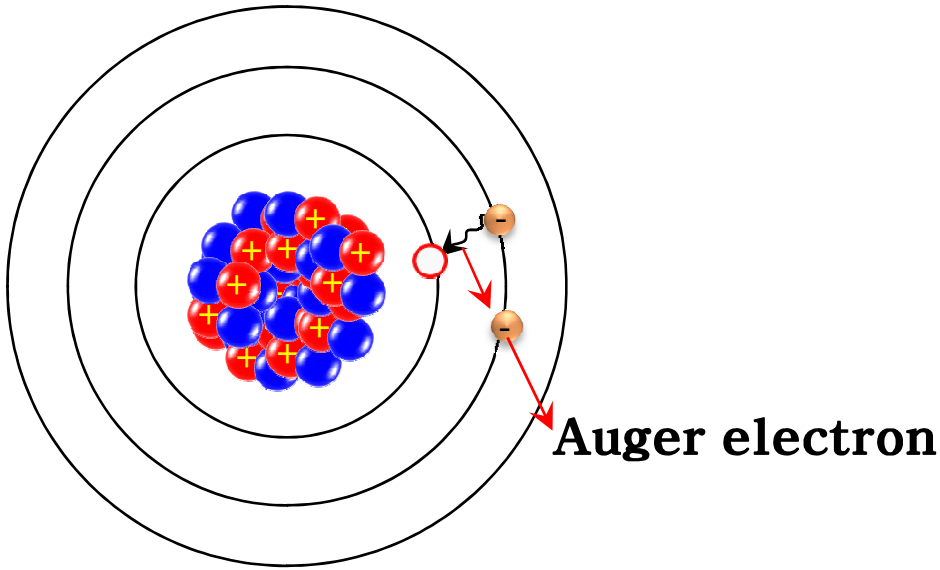
KX>LX>MX



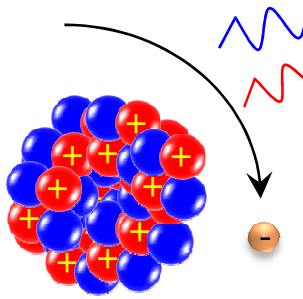
# 방사선과 물질과의 상호작용 : 베타선충돌손실

## Auger effect

특성X선(고유X선)이 궤도전자에 에너지를 주어 전자를 전리시키는 현상



# 방사선과 물질과의 상호작용 : 베타선제동복사



**제동복사선** : 핵의 쿨롱력의 영향

발생원 : 핵외
스펙트럼 :연속

**제동복사선=연속X선=백색X선=저지X선=Bremsstrahlung**

www.nuclearacademy.com

# 방사선과 물질과의 상호작용 : 베타선제동복사

## 제동복사 비율

**β선의 경우** $f_\beta = 3.5\times10^{-4}\, E_{max}\, Z$

(예)1 MeV 의 β선과 Pb의 상호작용

$f_\beta = 3.5\times10^{-4}\times1\times82 = 0.029 \fallingdotseq 3\ \%$

**전자선의 경우** $\dfrac{\text{방사손실}}{\text{충돌손실}} \approx \dfrac{EZ}{800}\ (f_e = 1\times10^{-3} EZ)$

(예) Pb이 전자선과 상호작용할 경우 비율이 같아지는 전자선의 에너지

$\dfrac{\text{방사손실}}{\text{충돌손실}} \approx \dfrac{E\times82}{800}$ $\therefore E \fallingdotseq 9.8$ MeV

# 방사선과 물질과의 상호작용 : 양전자소멸

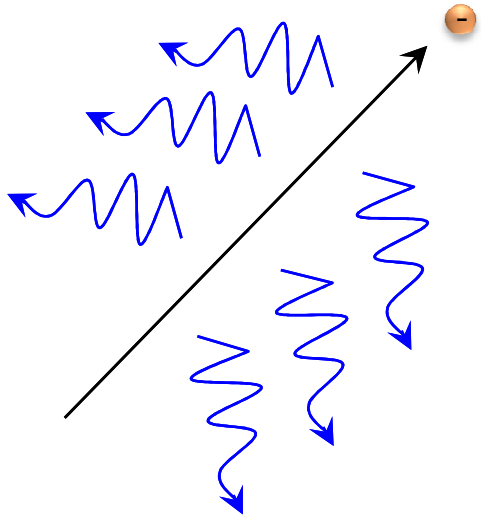
1.022 MeV의 소멸복사선 방출

양전자 생성기전 : $\beta^+$붕괴와 전자쌍생성

www.nuclearacademy.com

# 방사선과 물질과의 상호작용 : 베타선 체렌코프현상

**매질 내에서 β선(또는 전자)이 빛보다 빠르게 운동할 때 : 푸른색의 빛 방출**



β선 에너지의 약 0.1% 발생

스펙트럼 : 연속