

방사선 응용

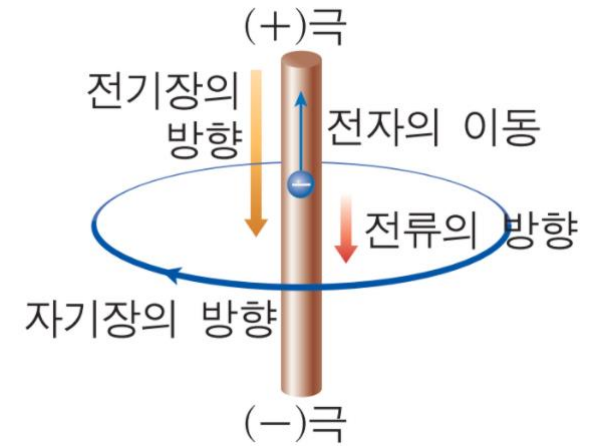
- 전자의 움직임

- **속도를 일정하게 유지**하면서 움직이는 전자

- 전류가 흐름
 - 시간이 바뀌어도 계속 일정한 **자기장이 생성**

- **속도가 변하면서** 움직이는 전자

- 속도(速度, velocity)가 변하는 것을 가속도(加速度, acceleration)라 부름
 - 시간에 따라 변하는 자기장이 생성
 - 시간에 따라 변하는 전기장이 생성
 - **전자기파가 생성**



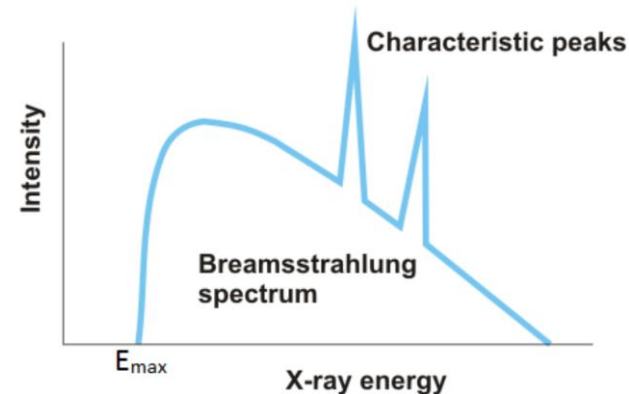
- 엑스선 발생

- (1) 전자의 가속 운동

- 연속 엑스선 (continuous x-ray) or Bremsstrahlung radiation (독일어)

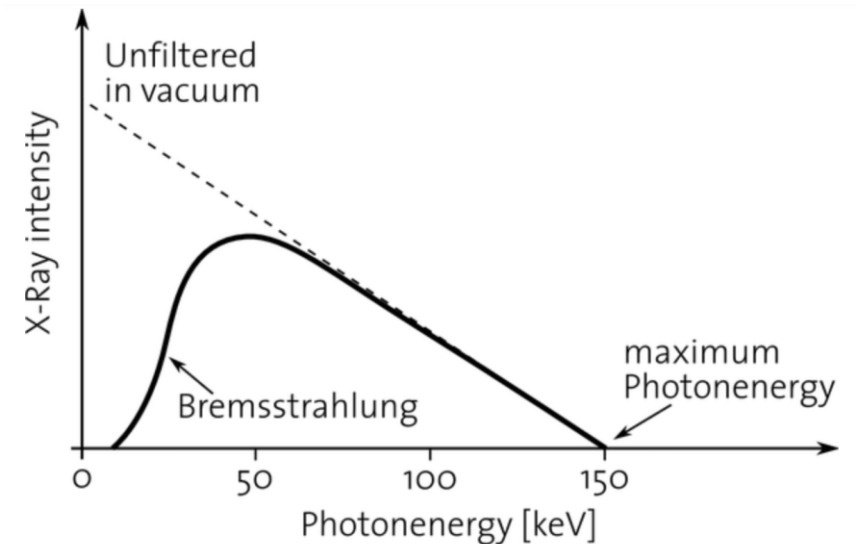
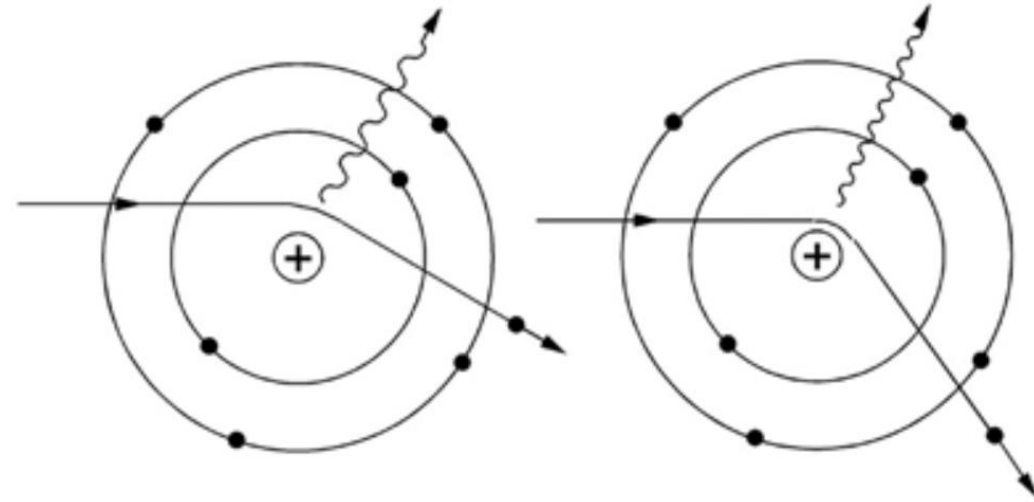
- (2) 원자 내(內) 궤도 전자의 에너지 차

- 특성 엑스선 (characteristic x-ray)



• 전자의 가속 운동에 의한 엑스선 발생

- 브레이크 잡다(brake) : 독일어 Bremse
- 방사선 (radiation) : 독일어 Strahlung
→ 제동 복사(制動 輻射, radiation by braking) :
Bremsstrahlung
- 무거운 원자핵 근처에서 입사 전자기 방향을 바꿀 때 제동 복사 발생
- 제동 복사 스펙트럼에 영향 미치는 요인
 - 입사 전자의 초기 속도
 - 전자에 30 kV, 40 kV, ... 등의 전압을 가함
→ 전자 에너지가 30 keV, 40 keV, ...
 - 원자핵 물질
 - 구리 ($_{29}\text{Cu}$), 몰리브덴 ($_{42}\text{Mo}$)
 - 탄탈럼 ($_{73}\text{Ta}$)



• 원자 내(內) 궤도 전자의 에너지 차에 의한 엑스선 발생

- 입사하는 전자 혹은 **Bremsstrahlung 엑스선**이 원자의 K궤도 전자를 원자 밖으로 내보냄
→ K 궤도에 전자가 있었던 위치가 비어 있는데 이것을 hole이라 부름 (그림1)

- hole에 전자를 채우는 방법은 다음 두 가지가 가능 (그림1)

- L궤도 전자가 채움 : $K\alpha$ 선(線, line)
- M궤도 전자가 채움 : $K\beta$ 선(線, line)
→ 특성 엑스선 방출 (그림3)

- 진단용 엑스선 발생장치 (그림2)

- 수 십 kV 전압을 사용 → 전자 에너지 수 십 keV

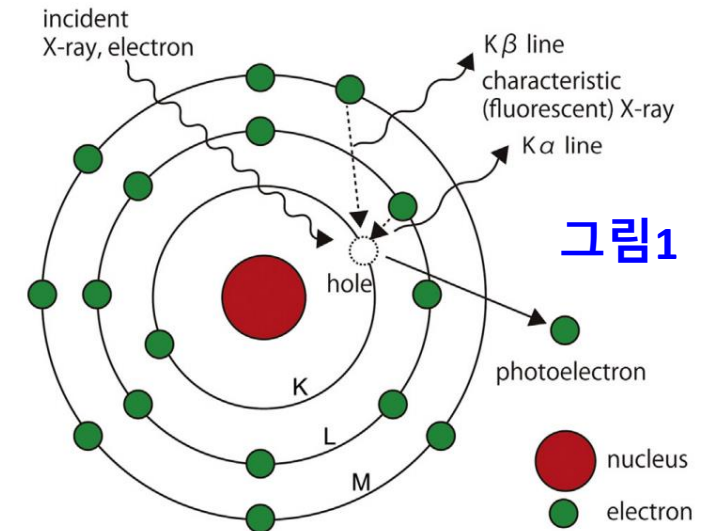


그림1

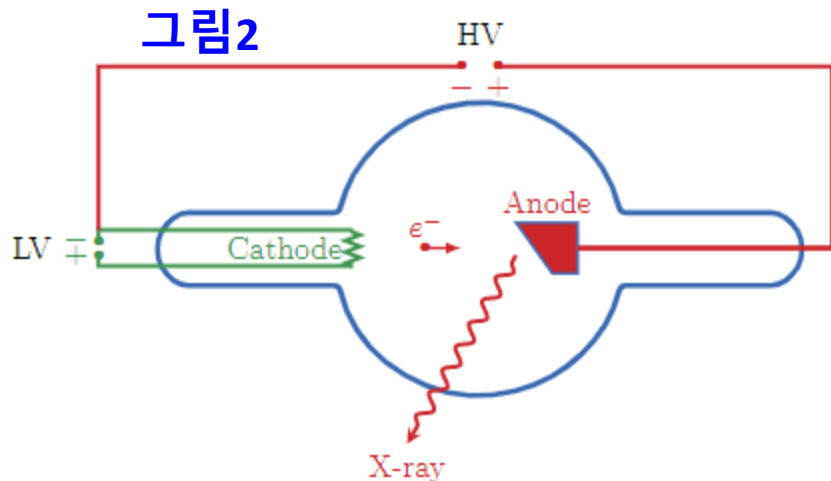


그림2

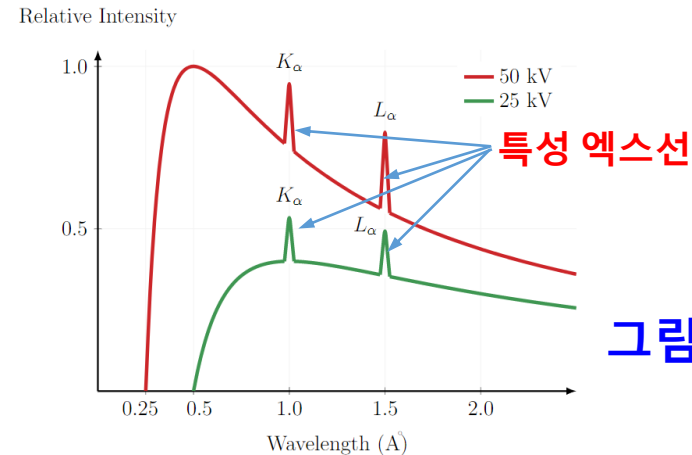


그림3

- 선형 가속기 (線形加速器, linear accelerator (linac))

- 방사선 **치료용 엑스선** 발생장치

- 전자 에너지 ~ 10 MeV

- 도파관(導波管, waveguide)에서 전자 가속 원리 (그림1)

- 전자총 (電子銃, electron gun)에서 다발(bunch)로 전자 방출

- RF port로 마이크로파 입사 (3 GHz)

- 가속 동공(accelerating cavities)에 의해 마이크로파 정상파 형성

- 마이크로파에 의해 전자 다발이 가속

- 도파관 길이 1 츠 → 약 150 kV

- 15 MeV 전자 운동 에너지 도파관 길이 : 1m

- Bremsstrahlung 엑스선 타겟

- 원자번호가 큰 물질을 타겟으로 사용

- 텅스텐(tungsten, W), 탄탈륨 (tantalum, Ta)

- 타겟에 가속된 전자가 입사

- 제동 복사(Bremsstrahlung) (그림2)

- 수직 축은 log 스케일

- 특성 엑스선은 제동 복사에 묻힘

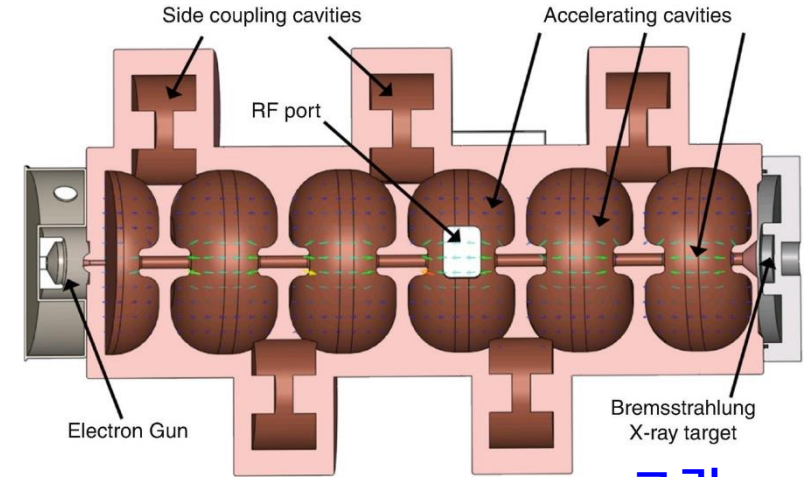


그림1

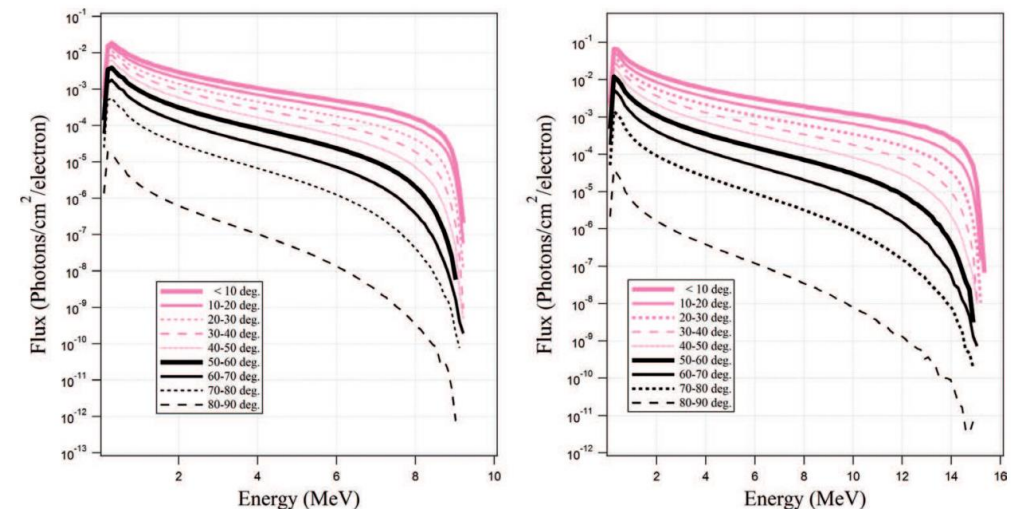
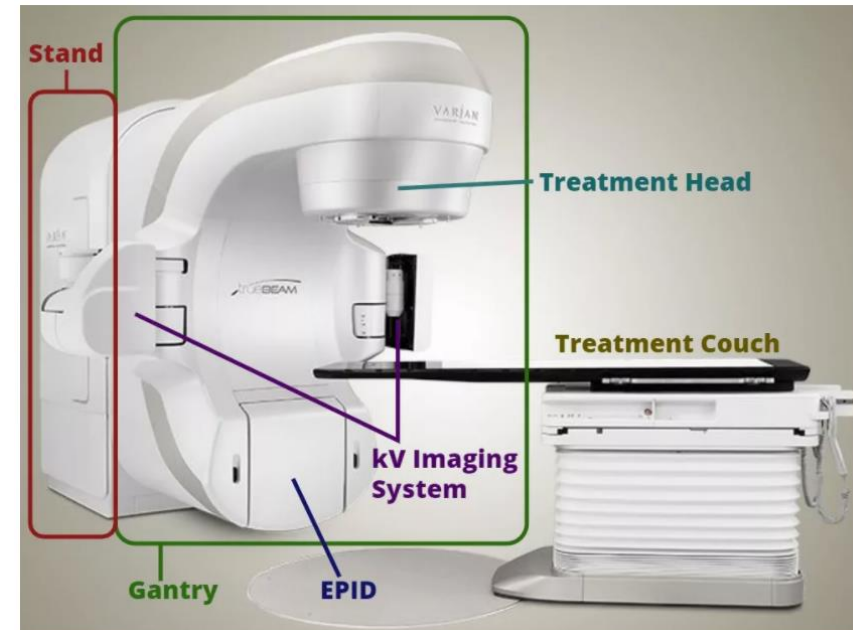
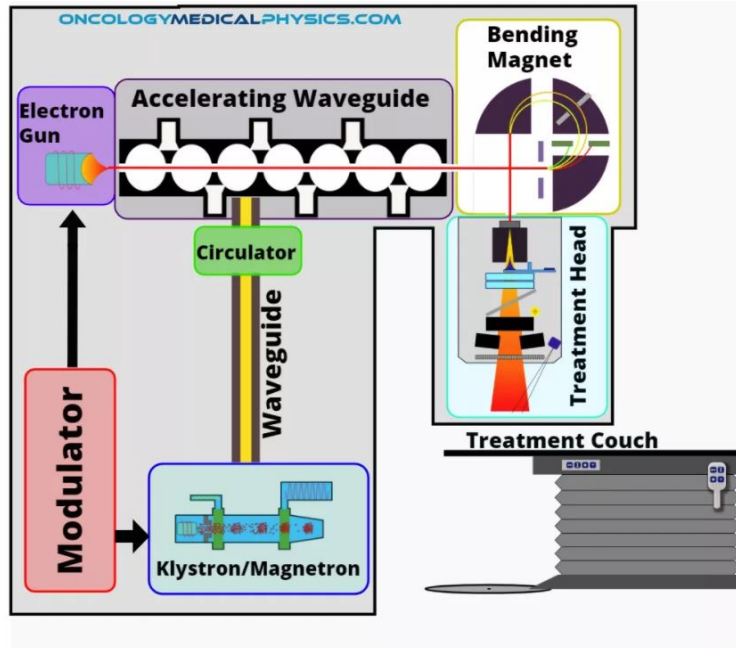


그림2

• 의료용 선형 가속기

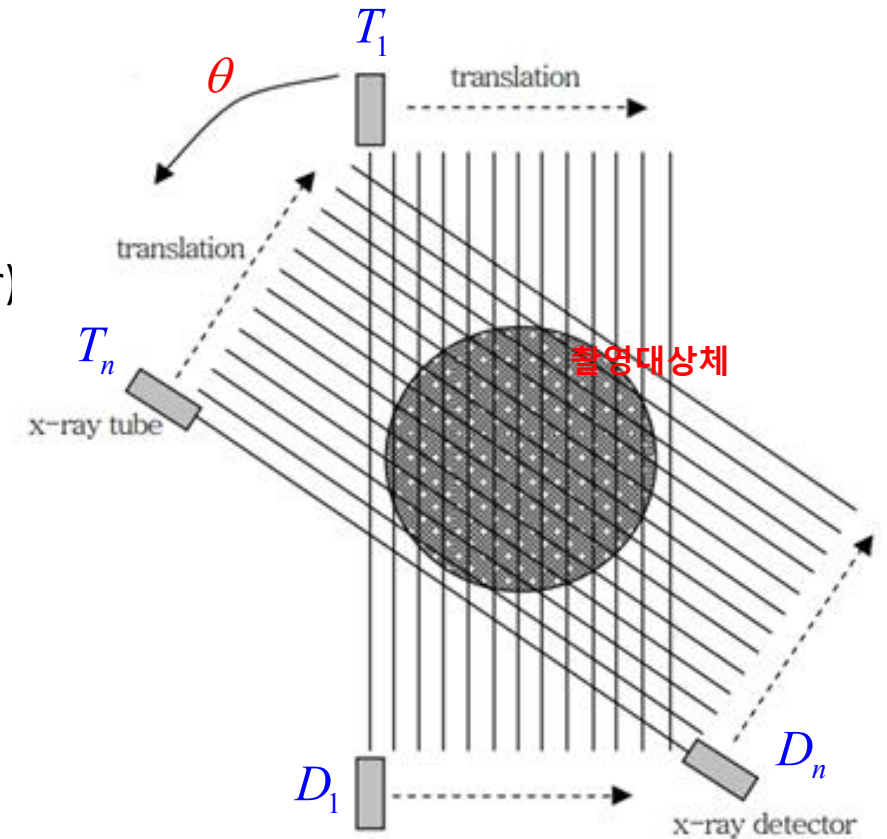
- 굽힘 자석 (bending magnet)
 - 도파관 (waveguide)에서 가속된 전자의 방향을 90° 혹은 270° 바꿔주는 장치
- 타겟
 - 치료 헤드(treatment head)의 맨 위에 위치
- 납(鉛, lead) 구조체 배열
 - 치료 부위 결정



- 컴퓨터 단층 촬영 (computized tomography, CT) 방식
 - 3D 영상

- 1세대 방식

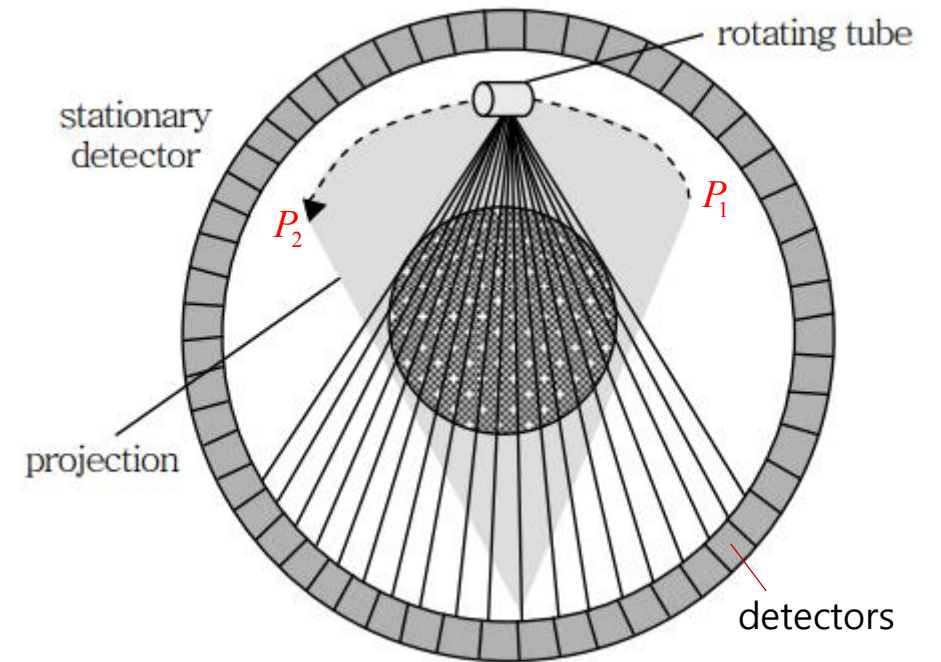
- 1972년 최초 CT scan 방식
 - 촬영대상체는 그림에서 가운데 있는 둥근 물체
 - (1) 엑스선 튜브(x-ray tube)와 엑스선 검출기 (x-ray detector)를 T_1 과 D_1 에 놓음
 - T_1 과 D_1 을 화살표 방향으로 일정하게 같이 움직이면서 엑스선 측정
 - (2) 튜브와 검출기를 충분히 작은 어떤 각도 θ 만큼 움직인 다음 T_n 과 D_n 에 놓음
 - T_n 과 D_n 을 화살표 방향으로 일정하게 같이 움직이면서 엑스선 측정
 - (3) 이제 각도 θ 만큼 돌려 위의 측정을 반복



- 컴퓨터 단층 촬영 (computized tomography, CT) 방식

- 4세대 방식

- 엑스선 검출기를 겐트리(gantry)에 한 바퀴 돌아가며 고정
 - 엑스선 튜브는 대상체에 부채꼴 모양의 엑스선을 주사하도록 설정
 - (1) P_1 에 엑스선 튜브를 놓고 엑스선을 주사
 - 모든 검출기에서 동시에 엑스선 촬영
 - (2) 이제 각도를 조금 바꿔 엑스선 주사
 - 모든 검출기에서 동시에 엑스선 촬영
 - (3) 이같은 방식의 촬영을 엑스선 튜브가 P_2 가 될 때 까지 수행
 - 이제 겐트리를 대상체에 대하여 나선방향으로 회전하면서 위의 과정을 반복함



- 컴퓨터 단층 촬영 (computized tomography, CT) 방식
 - MDCT (multi-detector CT) 방식
 - 4세대 방식 엑스선 튜브-검출기 세트를 4개 연결한 구조 (그림1 (a))
 - 겐트리가 나선운동하면 검사 시간이 $\frac{1}{4}$ 로 감소 (그림1 (b))
 - CT youtube 동영상
 - <https://www.youtube.com/watch?v=QzGmZzUoGrI>

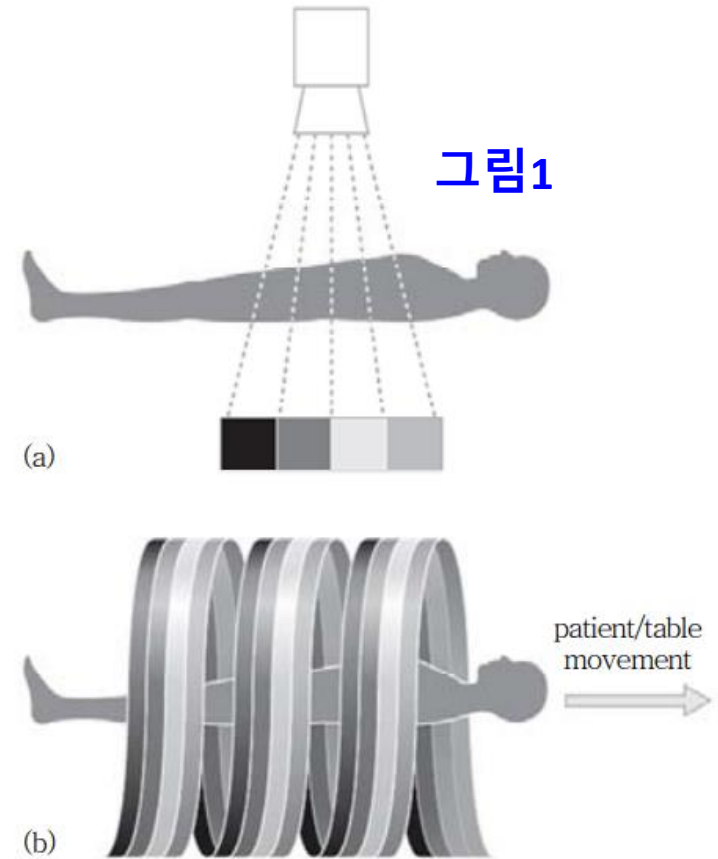


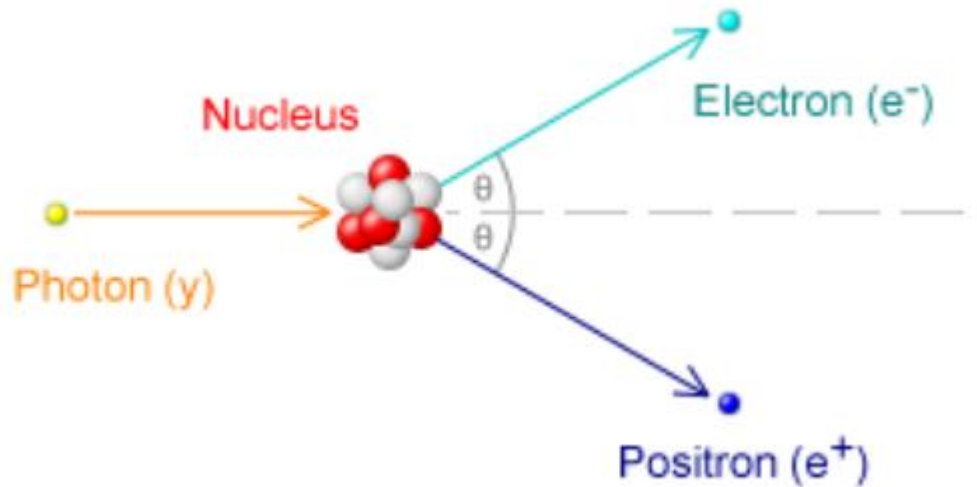
그림2



그림3



- 반물질 (反物質, anti-matter)
 - 원자의 구성하는 입자
 - 양성자 (proton), 중성자 (neutron), 전자 (electron)
 - 반물질
 - 입자와 모든 성질은 똑같고 전하 값은 반대인 반(反)입자
→ 반양성자, 반중성자, 양전자(陽電子, positron)
 - 우주의 탄생 순간(빅뱅)에 입자와 반입자는 같은 수가 생성됨
- 쌍생성 (雙生成, pair production)
 - 물질과 이에 대응하는 반물질이 감마선으로부터 만들어지는 현상
 - 감마선이 무거운 핵 근처로 입사하면 전자와 양전자가 방출



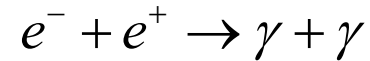
양전자가 만들어지는 또 다른 경우
핵반응의 결과물

- 쌍소멸 (雙消滅, pair annihilation)

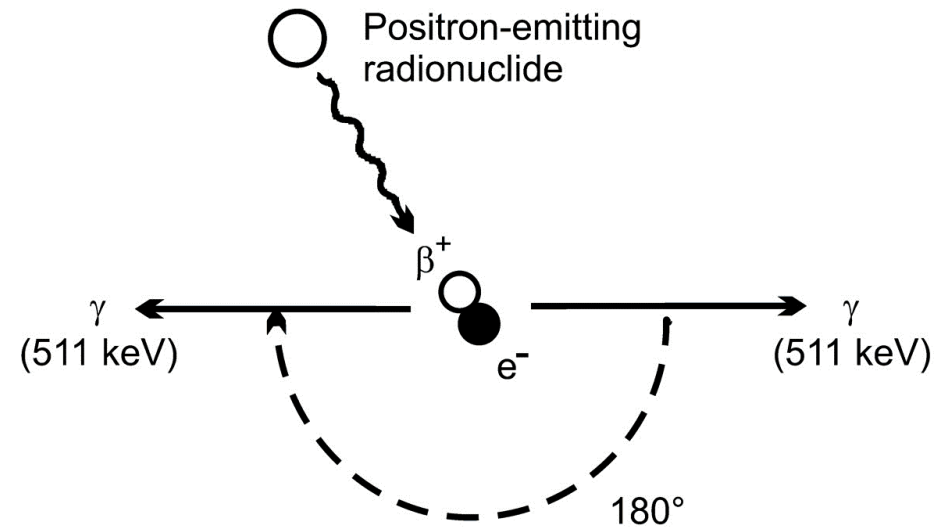
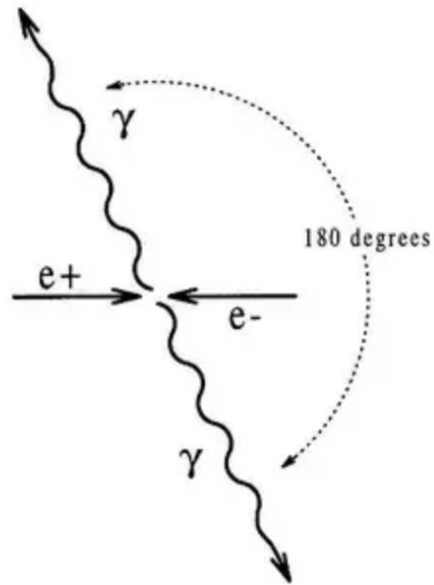
- 물질과 반물질이 만나면 이들은 없어지고 감마선이 만들어지는 현상

- 전자-양전자 소멸 (electron-positron annihilation)

- 전자와 양전자가 만나면 소멸하여 두 개의 감마선이 서로 반대방향으로 방출되는 현상



- 양전자 방출 단층 촬영 (PET, positron emission tomography)은 바로 전자-양전자 소멸을 이용



- 방사성 추적자 (放射性 追跡子, radioactive tracer, radiotracer)
 - 어떤 화합물에서 한 개 이상의 원자들이 방사성 동위원소 (radioactive isotope)로 대체된 화합물
 - 의료용으로 이용
 - 화합물이 암세포와 반응하는 화합물을 방사성 추적자로 만들면 암세포 주변에 방사성 동위원소로부터 방사선을 측정하여 암세포가 있는 위치 정보를 제공
 - 특히 방사성 동위원소에서 양전자 (陽電子, positron)가 방출되면 PET에 사용 가능
- PET에 사용하는 방사성 추적자
 - 추적자에 포함된 방사성 동위원소는 양전자를 방출해야 함
 - 이 방사성 동위원소는 진단 시간 정도의 반감기를 가져야 함
 - 자연에서 이 정도 짧은 반감기를 갖는 동위원소는 존재할 수 없음
→ 인공 방사성 동위원소로 만들어짐

- PET용 방사성 추적자

- 핵반응에 의해 양전자를 방출

- Carbon-11 반감기 : 20 분
 - Nitroge-13 반감기 : 9.97 분
 - Oygen-15 반감기 : 2분
 - Fluorine-18 반감기 : 109분
 - Gallium-68 반감기 : 67분
 - Zirconium-89 반감기 : 78.41시간
 - Rubidium-82 : 1.27분

그림3

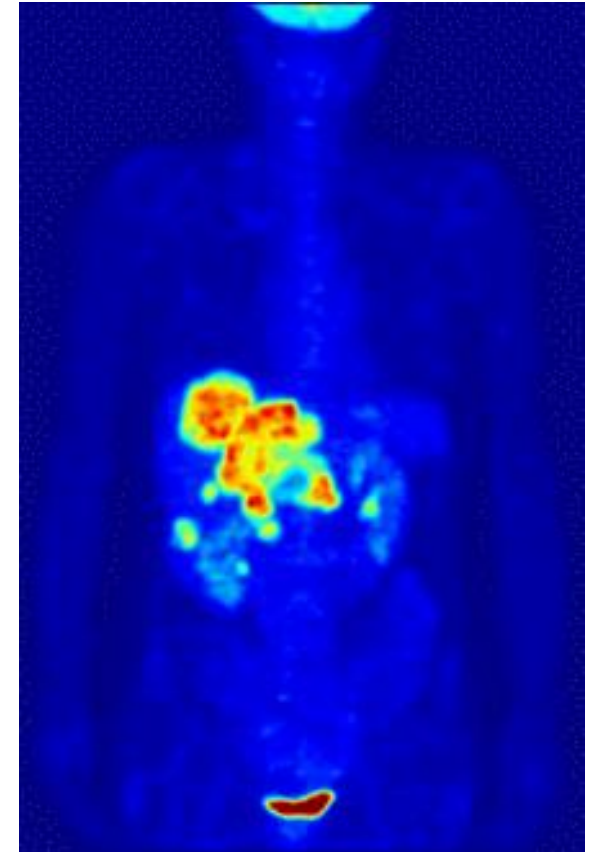


그림2

