

RADYASYON BİYOFİZİĞİ

Radiation Biophysics

Dr. A. Ruhi Soylu

Radiation

- *Radiation biophysics* is shortly ‘**physics and chemistry of radiation and its effects on biological systems**’
- In physics, radiation is a process in which energetic particles or energetic waves travel through a vacuum, or through matter-containing media that are not required for their propagation.
- Two energies of radiation are commonly differentiated by the way they interact with normal chemical matter: ionizing and non-ionizing radiation.

But,

- The word *radiation* is often informally used in reference to *ionizing radiation* (i.e., radiation having sufficient energy to ionize an atom),
- Simply, the term *radiation* may correctly also refer to *non-ionizing radiation* (e.g., radio waves, heat or visible light).
- Don't forget: the particles or waves *radiate* (i.e., travel outward in all directions) from a source.

References

- Edward L. Alpen, Radiation Biophysics, 2nd Edition, Academic Press, 1998
- Max H. Lombardi, Radiation Safety in Nuclear Medicine, CRC Press LLC, 1999
- <http://www.osha.gov/SLTC/radiationionizing/introtoionizing/ionizinghandout.html>

Topics of the lecture

- Electromagnetic (EM) waves
- Structure of atom
- Sources of radiation and radioactivity
- Interaction of particles with matter
- Interaction of EM waves with matter
- Units and measurement
- Basic shielding concepts & radiation protection

Some examples for radiation source in hospitals

- Radiology
 - X-Ray
 - CT
- Nuclear Medicine
 - PET
 - Radioactive substances which emit particles and Gamma rays
- Radiation Oncology
 - X-Ray, Gamma Rays, radioactive substances
- Cardiology
 - Fluoroscopy, Angiography etc.

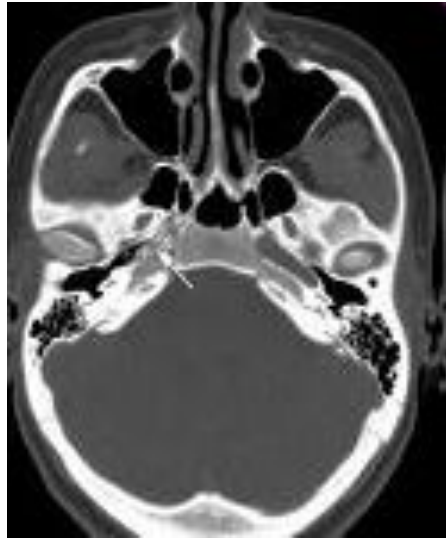
Some examples for radiation source in hospitals

- Radiology
 - X-Ray films: X-Ray attenuation
 - CT (=Computerized Tomography): X-Ray attenuation
- Nuclear Medicine
 - PET (=Positron Emission Tomography): Pozitrons, Gamma rays
 - Radioactive substances which emit particles and Gamma rays
- Radiation Oncology
 - X-Ray, Gamma Rays, radioactive substances
- Cardiology, Gastroenterology, Urology etc.
 - Fluoroscopy: an imaging technique that uses X-rays to obtain real-time moving images of the internal structures of a patient through the use of a fluoroscope
 - Angiography: the technique that uses X-rays to obtain images of blood vessels

X-Ray



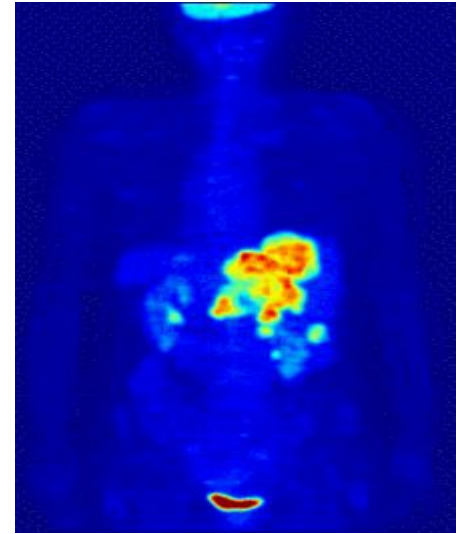
CT



Fluoroscopy



PET



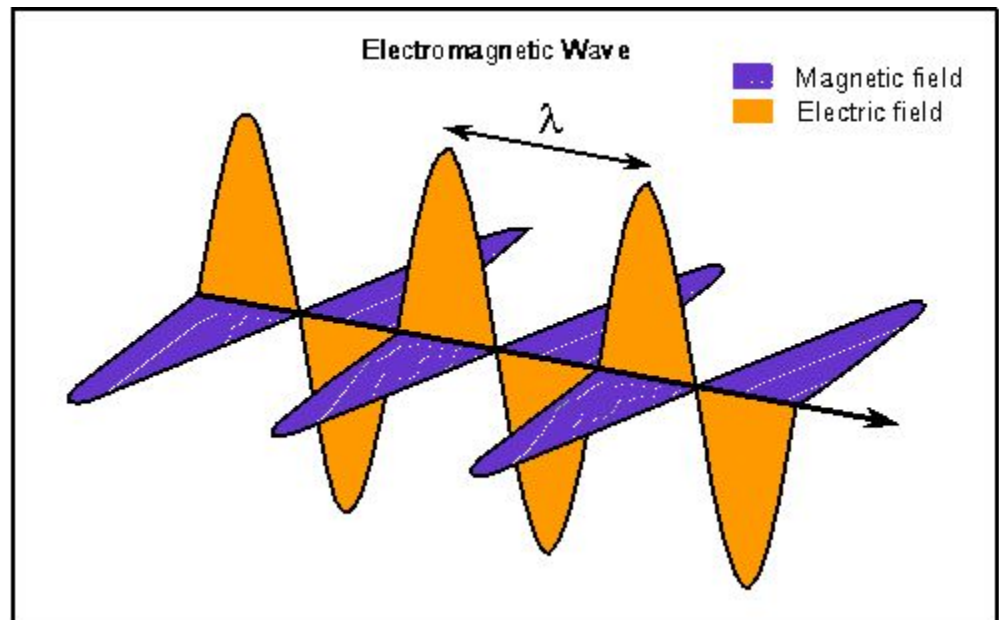
Electromagnetic (EM) Waves

- Electromagnetic waves are formed when there is a continuing process of an electric field developing a magnetic field and vice versa.
- An electromagnetic wave has both, electric as well as magnetic components.
- E, B and ‘propagation direction vector’ are perpendicular to each other.

$$\frac{E_{\max}}{B_{\max}} = c$$

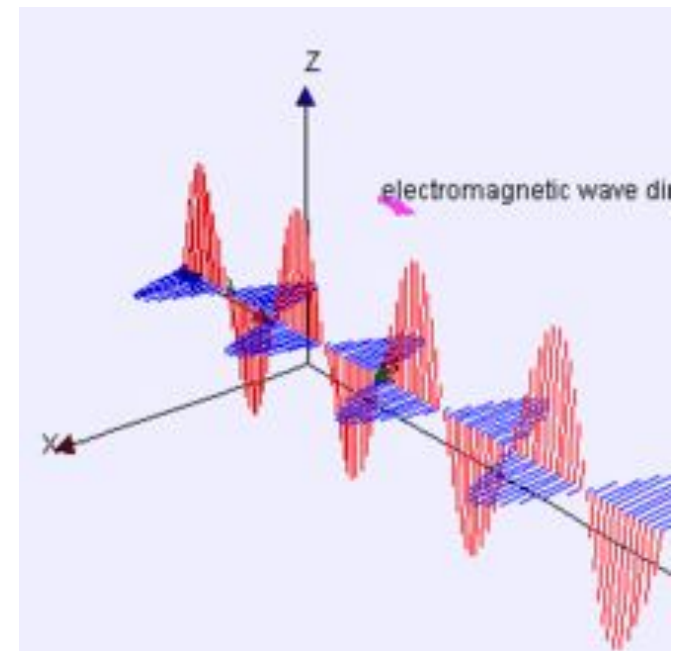
$$E = h \cdot f$$

$$\lambda = 1/f$$

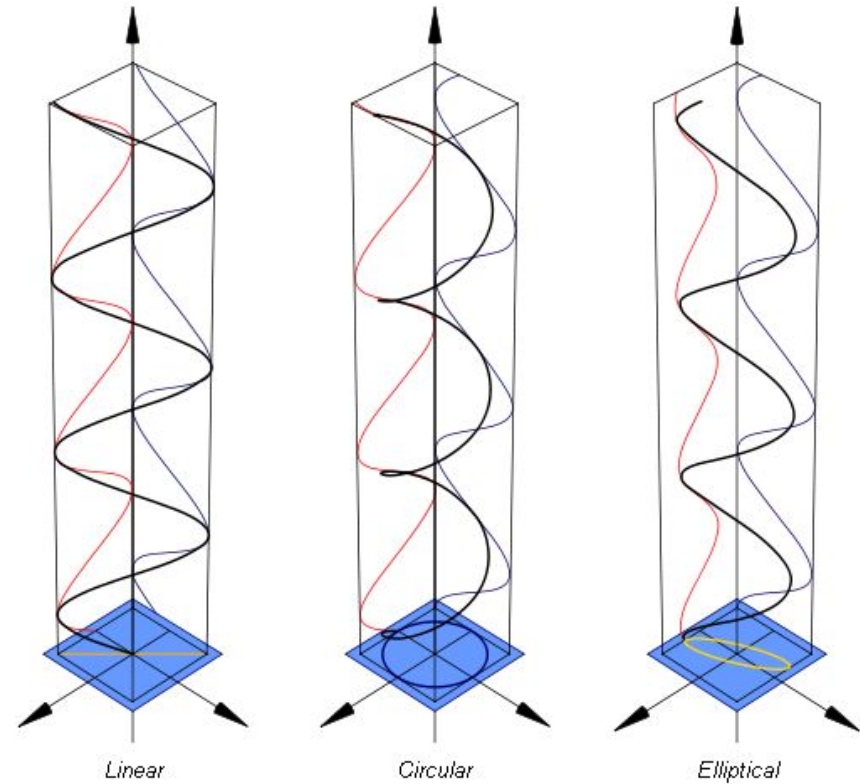
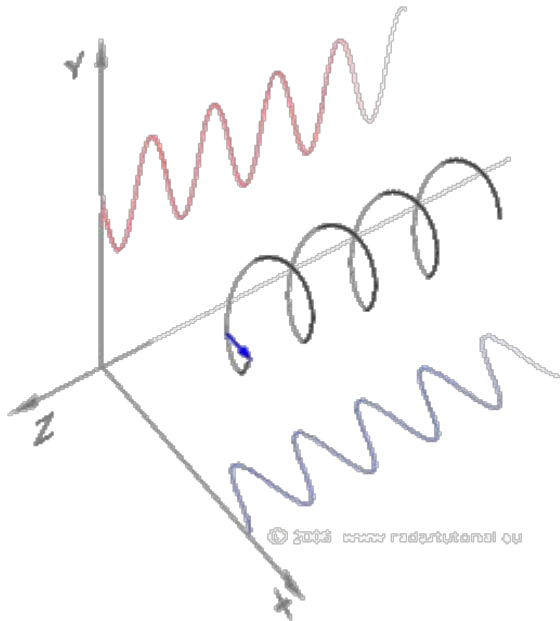
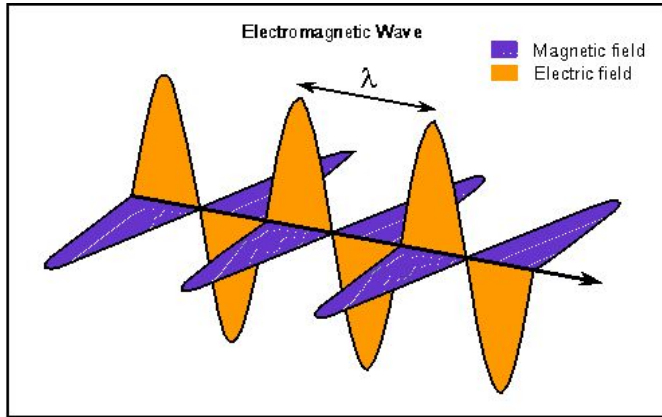


Electromagnetic (EM) Waves

- In physics, the term light sometimes refers to electromagnetic radiation of any wavelength.
- Photon: basic unit of EM waves.
- 5 primary properties of EM Waves are
 - **intensity,**
 - **frequency or wavelength,**
 - **polarization,**
 - **Phase, etc.**



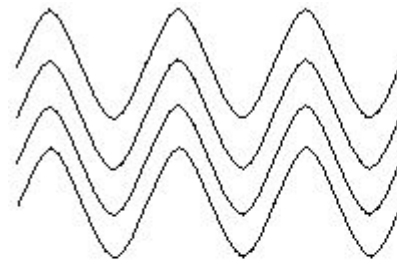
EM waves: Polarization



Tip of E determines trajectory

EM waves: frequency, intensity

- Intensity and Energy
- $c = \lambda \cdot f$ (speed of light = wavelength x frequency), $c \approx 300 \text{ Km/s}$
- $E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda$
 - E: energy of a photon,
 - h: planck constant, $6.626068 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

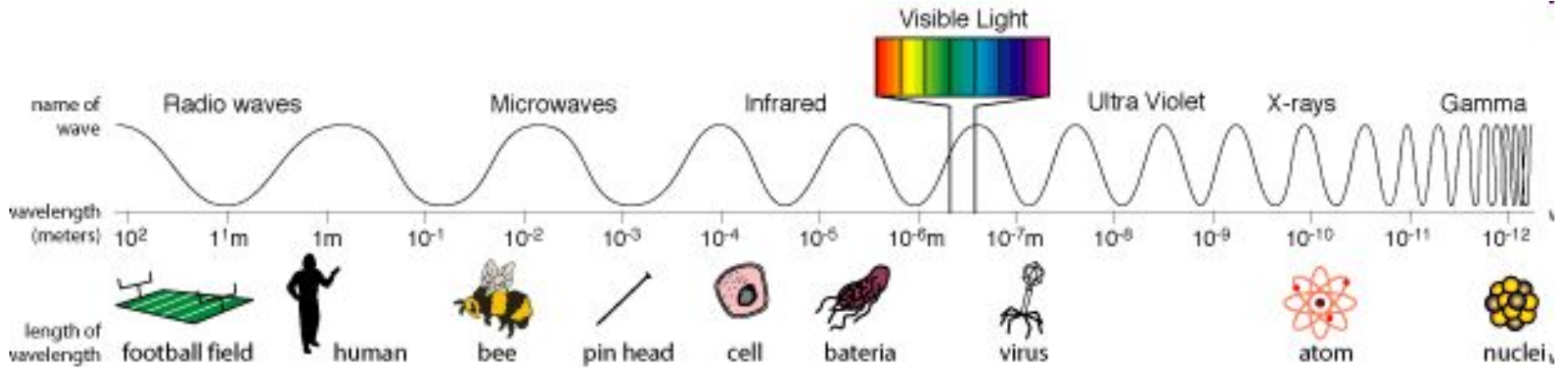


More Intense



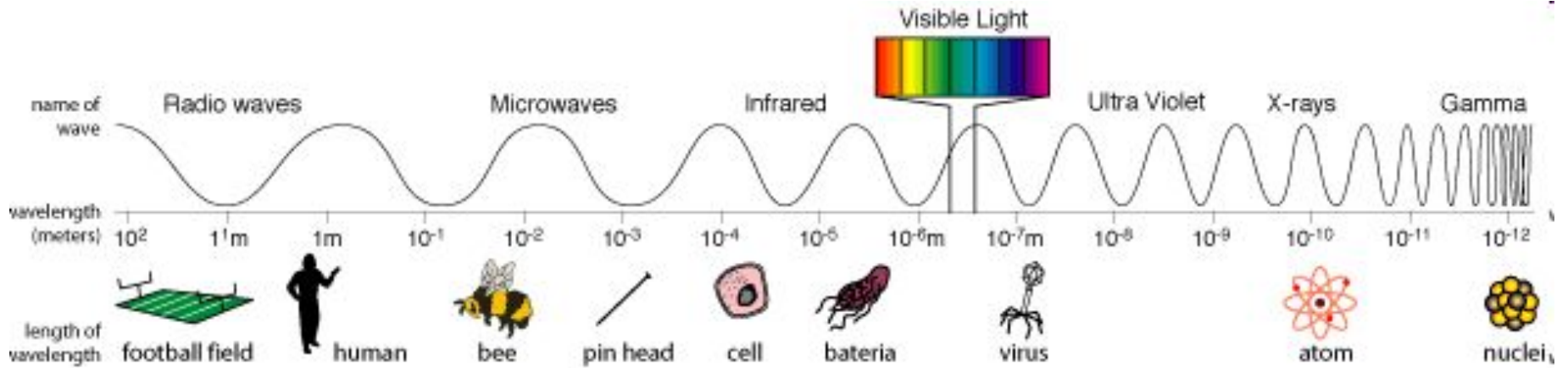
More energetic

EM Spectrum



Visible light: $\lambda \approx 380 \text{ nm}$ to $\approx 760 \text{ nm}$

EM Spectrum



Sources of ionizing radiation:

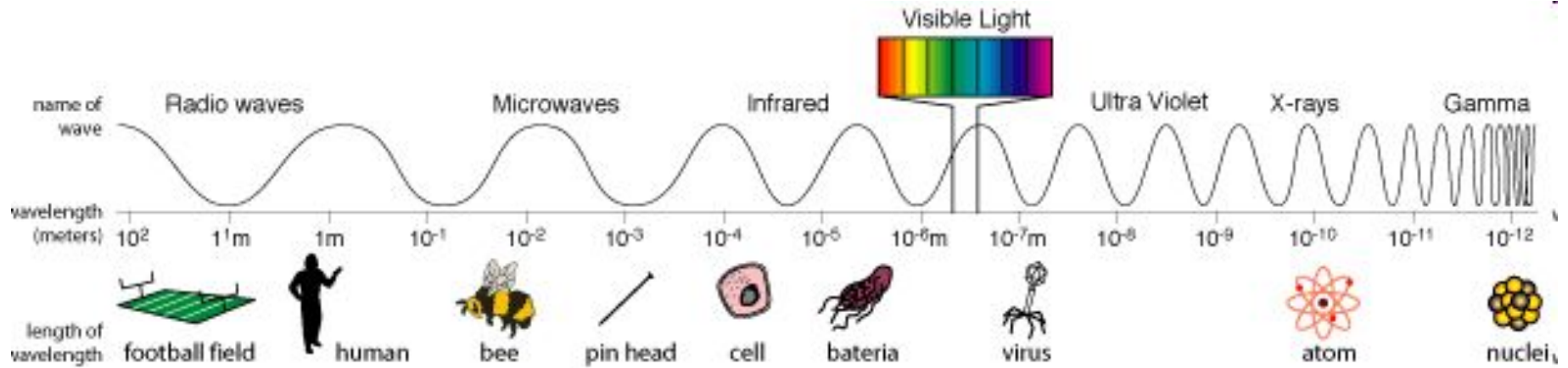
EM waves: (X-Rays, Gamma Rays)

Particles: Alpha, Beta (β^- or β^+), neutron, etc.



Symbols of ionizing radiation

EM Spectrum



- MRI >>> **Radio waves**,
- X-Ray f., CT, fluoroscopy, Angiography, Bone Densitometry (DEXA) >>> **X-Rays**,
- Nuclear Medicine >>> **Gamma Rays**
- Ultrasonography >>> **Sound waves** (mechanical waves, NOT electromagnetic)

Radioactive materials

- **Radioactive materials** are substances which **spontaneously emit** various combinations of ionizing particles (alpha and beta, ..) and gamma rays of ionizing radiation **to become more stable**. This process is called **radioactive decay**. **Radioisotopes** are isotopes (same number of protons but different numbers of neutrons) which are radioactive.

Radioactive Decay

- Particle
 - Alpha
 - Beta (B+, B-, Electron capture)
 - **Series Decay**: Radioactive parent decays to a "**daughter**" which may also be radioactive, therefore, is also simultaneously decaying. Resulting exposure is to the combination of both decays (and possibly additional daughters). Ex.: Radon
- EM waves
 - X-Ray
 - Gamma Rays

QUANTIFICATION OF RADIATION

- **Quantifying Radioactive Decay**
 - **Curie (Ci):** Ci is a non-SI unit of radioactivity, named after Marie and Pierre Curie. It is defined as $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10}$ decays per second.
 - **Becquerel (Bq):** One Bq is defined as the activity of a quantity of radioactive material in which one nucleus decays per second. The Bq unit is therefore equivalent to an inverse second, s^{-1} .
- **Quantifying Exposure and Dose**
 - Diagnostic purpose (roentgen, R)
 - Treatment purpose (radiation absorbed dose, rad; gray)
 - Protection (roentgen equivalent in man, rem; sievert)

Formulas for half-life in exponential decay

An exponential decay process can be described by any of the following three equivalent formulas:

$$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/t_{1/2}}$$

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

where

- N_0 is the initial quantity of the substance that will decay
- $N(t)$ is the quantity that still remains and has not yet decayed after a time t ,
- $t_{1/2}$ is the half-life of the decaying quantity,
- τ is a **positive** number called the **mean lifetime** of the decaying quantity,
- λ is a positive number called the **decay constant** of the decaying quantity.

The three parameters $t_{1/2}$, τ , and λ are all directly related in the following way:

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \tau \ln(2)$$

where $\ln(2)$ is the **natural logarithm** of 2 (approximately 0.693).

Radyasyon , **doğal (background)** ya da **insan-yapımı (artificial)** **radyoaktif kaynaklardan** meydana gelmiş olabilir ,
her ikisi de ;

___ **Elektromağnetik radyasyon**

___ **Parçacık tipi (partikül) radyasyon**

olarak iki şekilde sınıflandırılırlar.

BİRİMLER:

1 a.k.b. = ^{12}C atomunun kütesinin 1/12 de biri
1 a.k.b. = 1.6605×10^{-24} g

Enerji eşdeğeri:

$$E = mc^2$$

$$E = 1.6 \times 10^{-24} \text{ g} \times (3 \times 10^{10} \text{ cm/s})^2$$

$$E = 14.9 \times 10^{-4} \text{ ergs/akb}$$

1 ev : 1 elektronun 1 voltluk potansiyel farkını geçebilmesi için verilmesi gereken enerji miktarı.

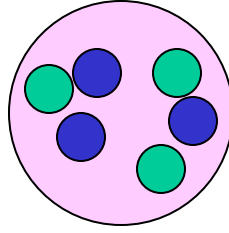
$$\text{Enerji (ev)} = 1 \text{ volt} \times \text{yük} = 1 \text{ v} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ coulomb}$$

$$1 \text{ ev} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ joules} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ ergs.}$$

$$1 \text{ a.k.b.} = (14.9 \times 10^{-4} \text{ ergs/akb}) / (1.6 \times 10^{-12} \text{ ergs/ev})$$

$$1 \text{ a.k.b.} = 931 \times 10^6 \text{ ev} = 931 \text{ Mev}$$

ÇEKİRDEK:



● Proton

● Nötron

Z: Atom nosu, çekirdekteki proton sayısını belirler.

N: nötron sayısı

A: Kütle numarası , çekirdekteki partiküllerin sayısını(i.e. neutrons and protons) tanımlar..

Çekirdek: A_ZX

Z , elementi belirleyen karakteristik bir sayı atom no' su olarak tanımlanır.

Örnek: **Z=6** karbon atomu.

Nötr bir atomda, protonların sayısı atomun yörünge elektronlarının sayısına eşittir.

Aynı atom numarasına (**Z**) ,fakat farklı kütle numaralarına sahip (**A**) atomlar **izotoplar** olarak.adlandırılır.

${}^{11}\text{C}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{13}\text{C}$, ${}^{14}\text{C}$

Bağlanma Enerjisi : Çekirdeği meydana getiren nükleonların kütlesiyle çekirdeğin gerçek kütlesi arasındaki farkın, kütle farkının enerji eşdeğeri.

Kütle nosu **A** ve atom nosu **Z** olan her nötral atomun, **Z** tane ^1H atomuyla **(A-Z)** tane nötrondan oluştuğunu düşünürsek, bu durumda;

$$\text{Bağlanma Enerjisi} = \text{BE} = Zm_{\text{H}} + (\text{A} - \text{Z})m_{\text{N}} - M$$

m_{H} hidrojen atomunun kütlesi

m_{N} nötronların kütlesi

M nötral atomun kütlesi (periyodik tablodan okunan değeri)

Bir izotobu meydana getiren **parçacıkların ağırlıklarının toplamı W**, ölçülen izotopik **ağırlık M** ile karşılaştırılabilir, ve **bağlanma enerjisi** bulunur.

$$W = Zm_{\text{p}} + (\text{A} - \text{Z})m_{\text{n}} + Zm_{\text{e}}$$

$$\Delta m = W - M \text{ dir.}$$

($W > M$) gerçek ağırlık(izotopik) M , W dan daha azdır.

Bağlanma Enerjisi:

Çekirdeğin bileşenlerinin(nükleonların) kütlelerinden hesaplanan kütle değeri, çekirdeğin ölçülerek bulunan kütlesinden daha büyüktür.

Hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki farka **kütle farkı** denir.(**mass defect**) Bu fark, çekirdeğin içindeki partikülleri (nükleonları) birarada tutan enerji kaynağıdır.

Bağlanma enerjisi; kütle farkının enerji eşdeğeri.

Örnek: ${}^4\text{He}$ çekirdeğinin iki protonu ve iki nötronu vardır.

helium atomunun ölçülen kütlesi = 4.002604 a.k.b.

protonun kütlesi: $m_p = 1.007277$ a.k.b.

nötronun kütlesi: $m_n = 1.008665$ a.k.b.

elektronun kütlesi: $m_e = 0.00055$ a.k.b.

Tablodan atomik kütlelerin ölçülmüş değerlerini bulabiliriz. Elektronlar bağlanma enerjisine katılmazlar. Bu yüzden, nükleer kütleyi bulmak için, atomik kütlelerden toplam elektronların kütlesini çıkarmak gerekir.

helium çekirdeğinin kütlesinin ölçülen değeri

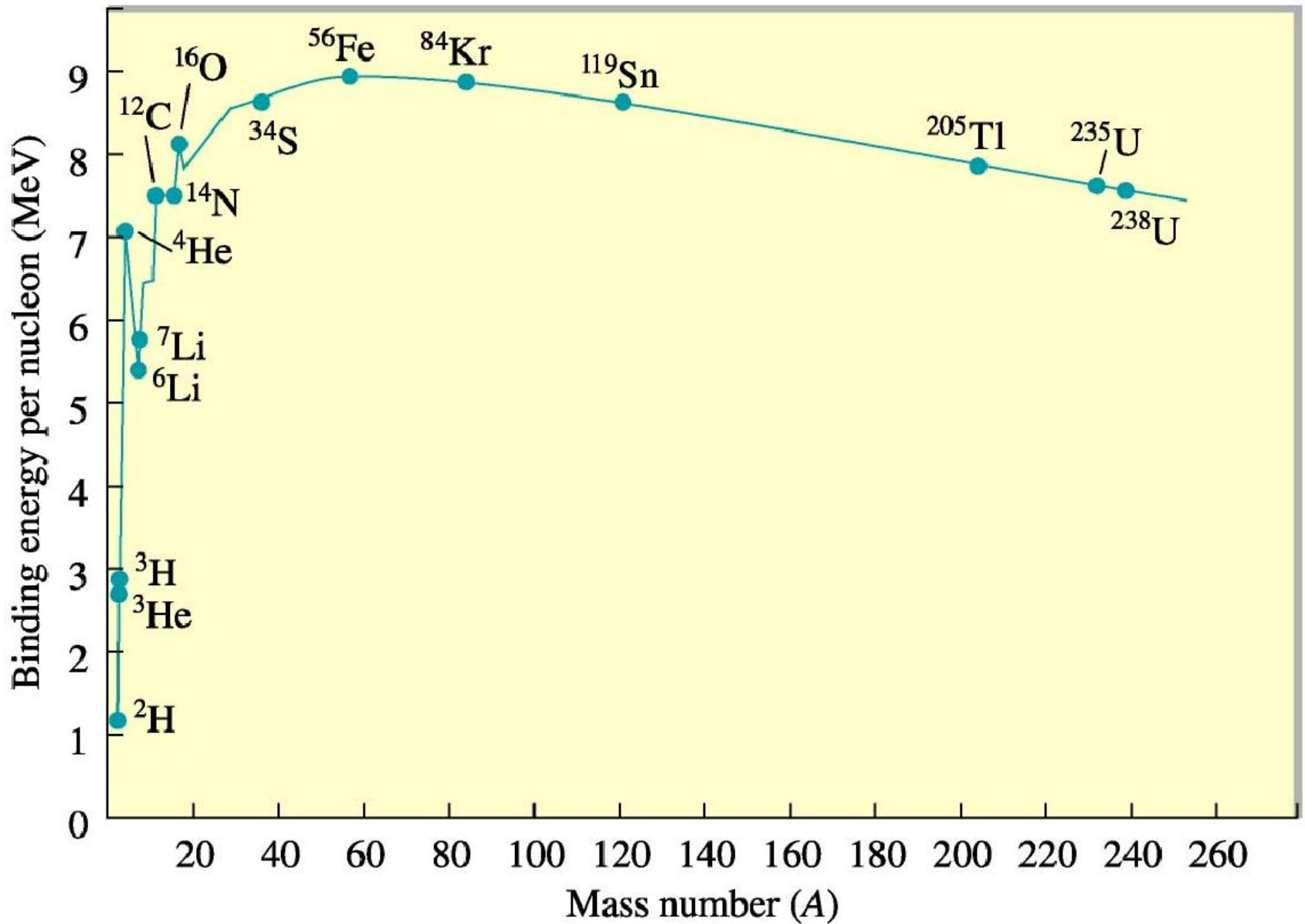
$$\begin{aligned} &= 4.002604 - 2 \times m_e = 4.002604 - 2 \times 0.00055 \\ &= \mathbf{4.001504 \text{ a.k.b.}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}^4\text{He çekirdeğinin hesaplanarak bulunan kütlesi} &= 2 \times m_p + 2 \times m_n \\ &= 2 \times 1.007277 + 2 \times 1.008665 \\ &= \mathbf{4.031884 \text{ a.k.b.}} \end{aligned}$$

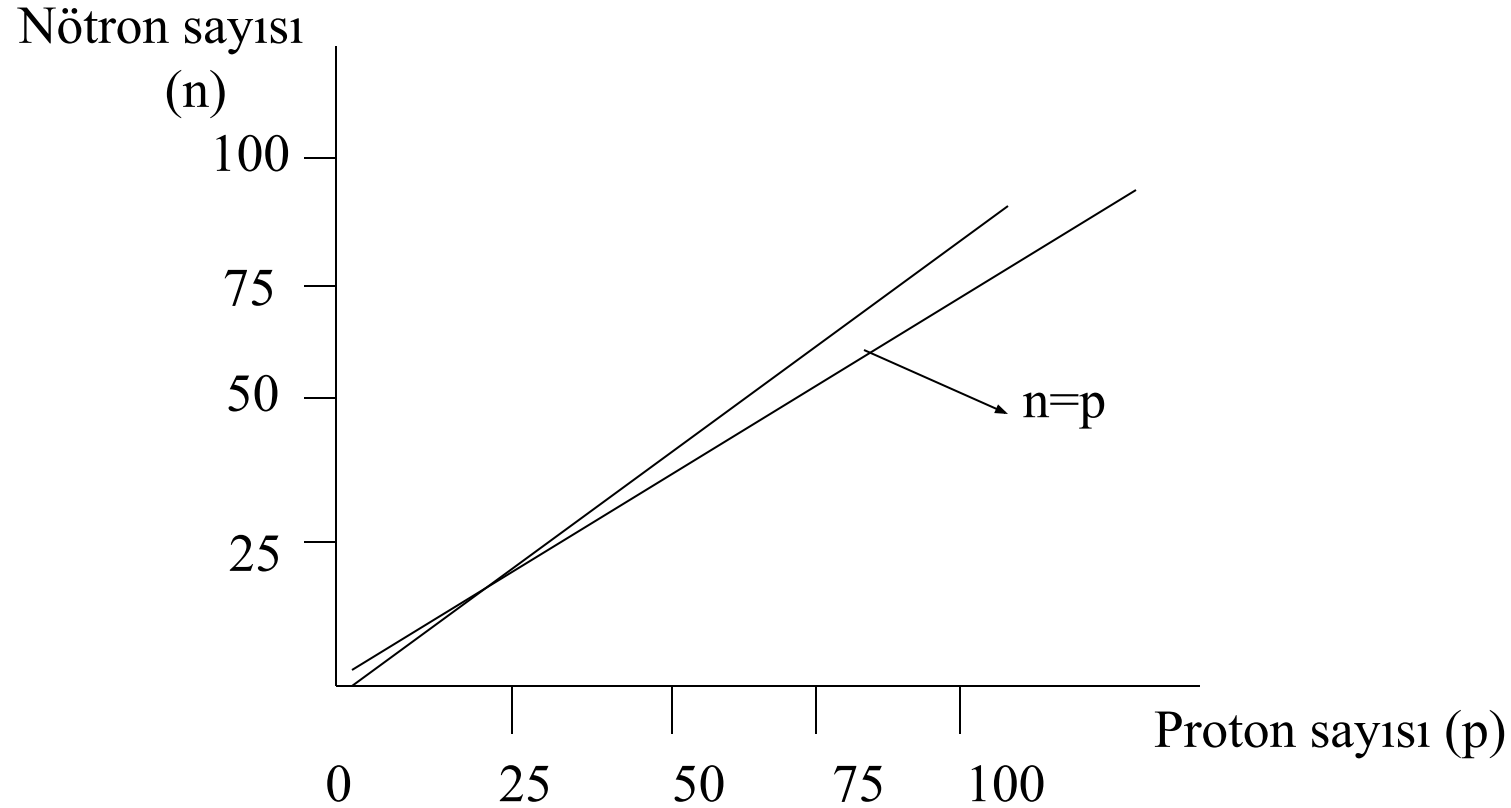
$$\mathbf{\text{Kütle farkı} = 4.031884 - 4.001504 = 0.03038 \text{ a.k.b.}}$$

$$\mathbf{\text{Bağlanma enerjisi} = 0.03038 \text{ a.m.u.} \times 931 \text{ Mev/a.k.b.} = \mathbf{28.3 \text{ Mev}}}$$

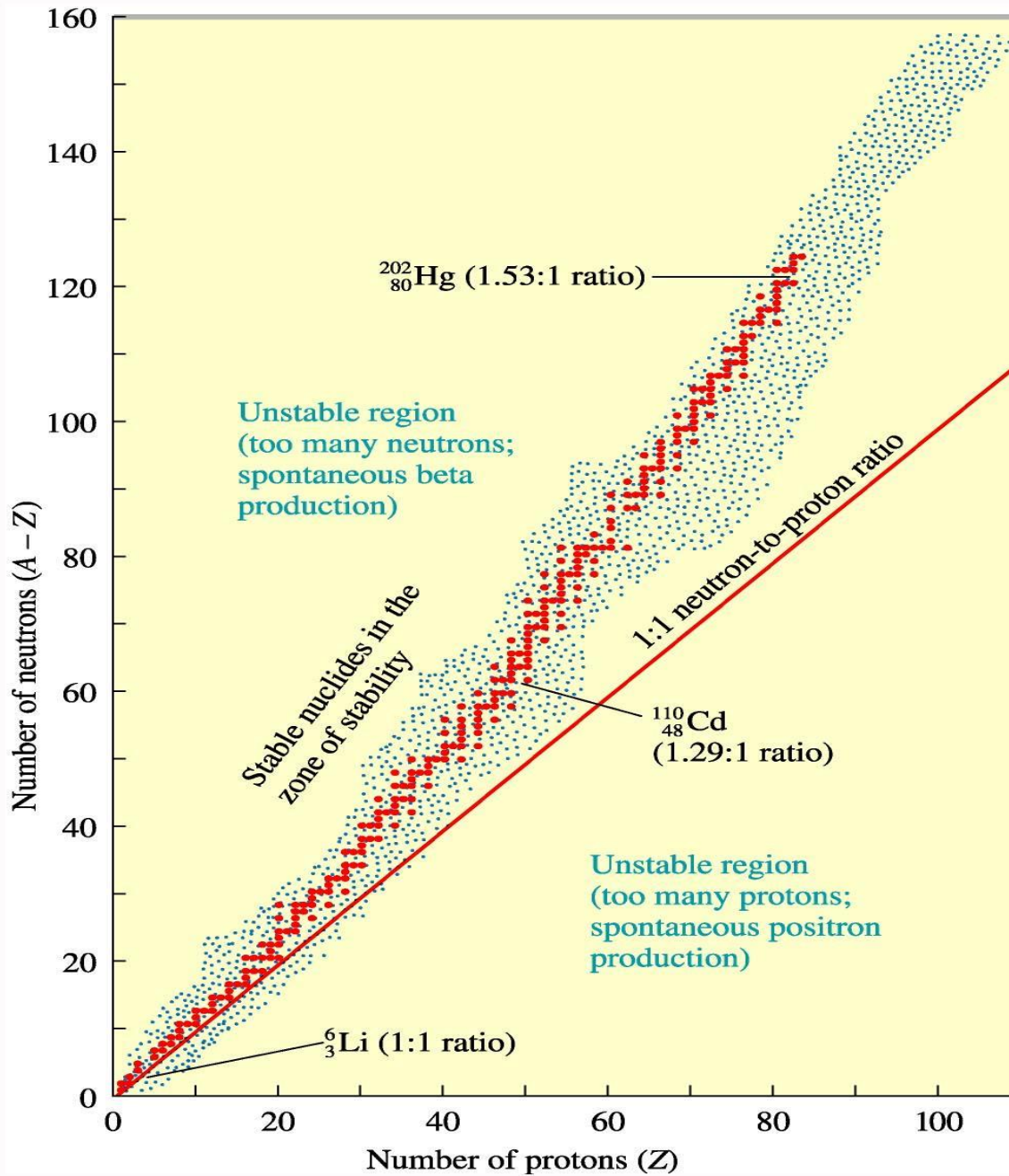
$$\mathbf{\text{Bağlanma enerjisi/nükleon} = 28.3 \text{ Mev}/4 = 7.07 \text{ Mev/nükleon}}$$

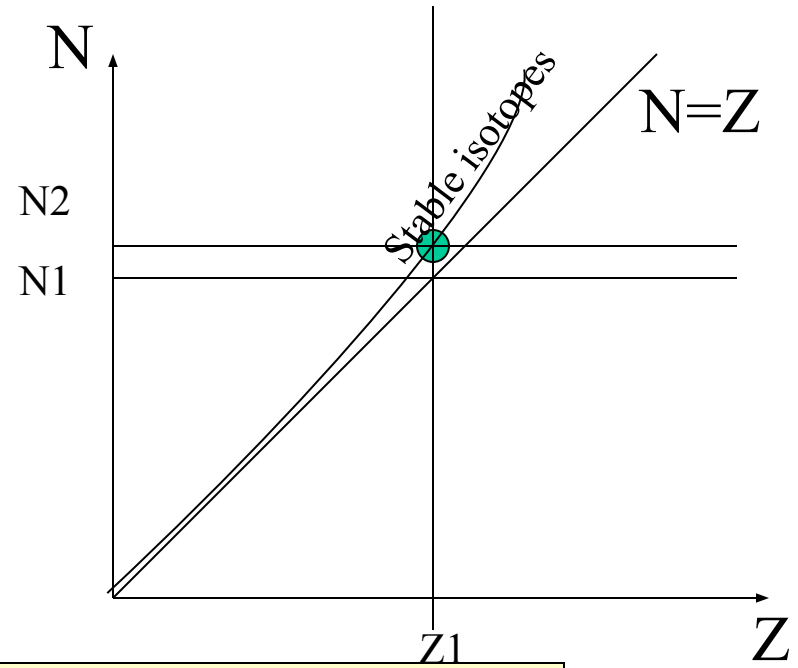
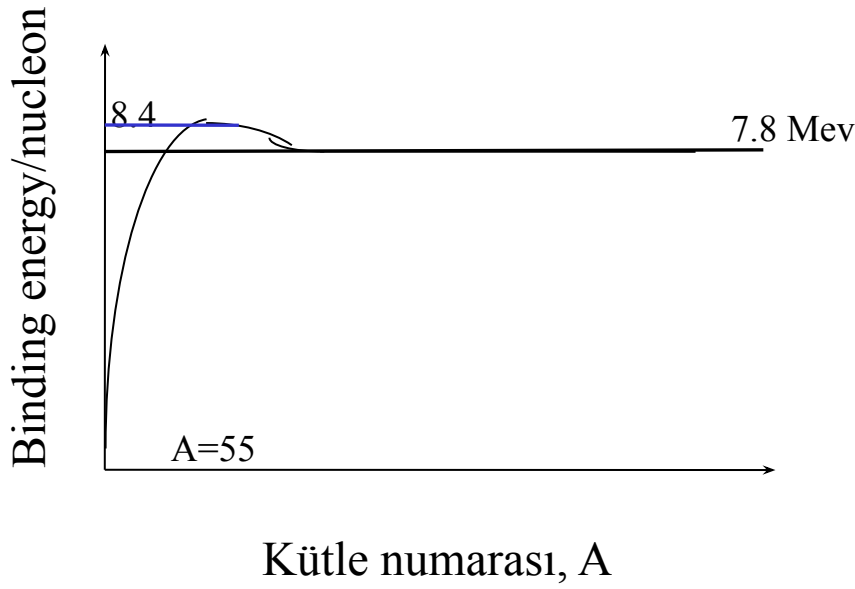


Nükleer Kararlılık Eğrisi



Kararlı izotoplar çok dar bir band üzerinde bulunurlar. Hemen bütün radyoaktif çekirdekler bu çizginin dışında kalırlar. Bu eğrinin eğimi başlangıçta 1 olacak şekilde giderken Z arttıkça artmaya başlar ve **nötron / proton** oranının gittikçe artmakta olduğunu gösterir. **Kararlı izotoplar dar bir band içinde uzanırken, nötron/ proton oranı da da eğer çekirdek kararlı ise belirli bir limit içerisinde kalmalıdır.**





Çekirdeğin içinde yüklü partiküller yalnızca protonlardır. Böylece pozitif yüklü protonlar birbirlerini iteceklerdir. Bu itme kuvvetine de bağlanma enerjisi ile karşı konulacaktır. Bu iki kuvvetin büyüklükleri eşitlendiği durumda ise çekirdek stabil durumda olacaktır.

Bağlanma enerjisi yüksek A sayıları için satürasyona uğrar. Düşük atomik numaralı elementler için, proton sayısı hemen hemen nötron sayısına eşit değerdedir. ve Bağlanma enerjisi proton'un Coulomb kuvvetini dengeler. (stabil isotoplar $Z=N$ çizgisi üzerinde). Fakat yüksek numaralı elementler için, Bağlanma enerjisi Coulomb kuvvetini dengeleyemez.. Stabil şartları sağlayabilmek için çekirdek de içinde daha fazla sayıda nötronu tutmaya çalışacaktır ki (şekilde yeşil nokta ile görülen)) ve eğri de böylece stabil izotoplar için $Z=N$ çizgisinin üst tarafında yer alır.

Izotop stabil değilse , parçalanmaya uęrayarak stabil duruma geçer:

Parçalanma Safhaları:

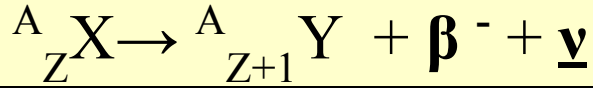
- 1. Negatron Parçalanması**
- 2. Pozitron Parçalanması**
- 3. Alfa Parçalanması**
- 4. Electron Yakalanması**

Negatron Yayınlanması: β^- decay:

Atomun stabil şartların üzerinde bir konumda bulunduğunu düşünelim.

$N/Z >$ stabil şartlar
 $n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}$ (antineutrino)

Çekirdekte bir nötron bir protona dönüşür, bir elektron ve antinötrino yayınlanır. Parçalanma sonunda oluşan çekidek daha az nötron ve bir fazla proton taşır. Böylece, bu yavru çekirdeğin atom numarası da bir birim artar.

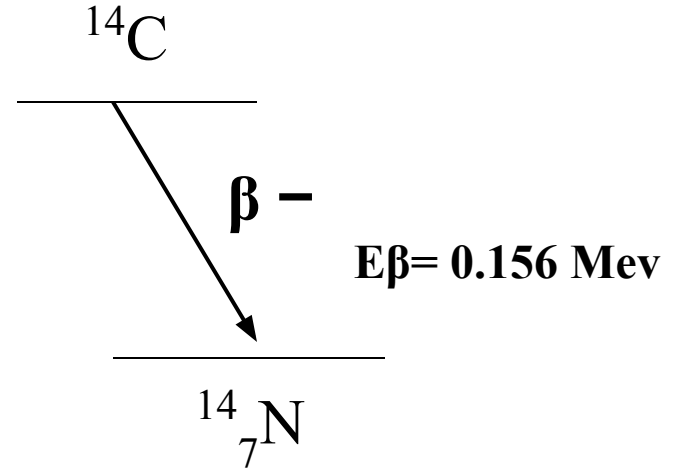
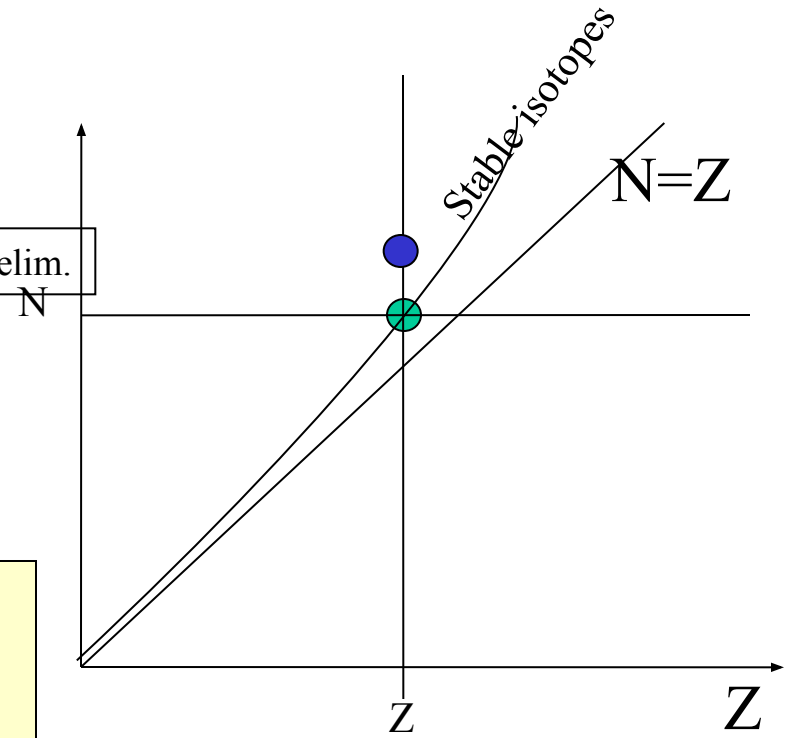
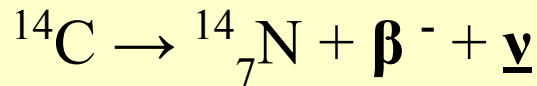


Example: ${}^{14}\text{C}$

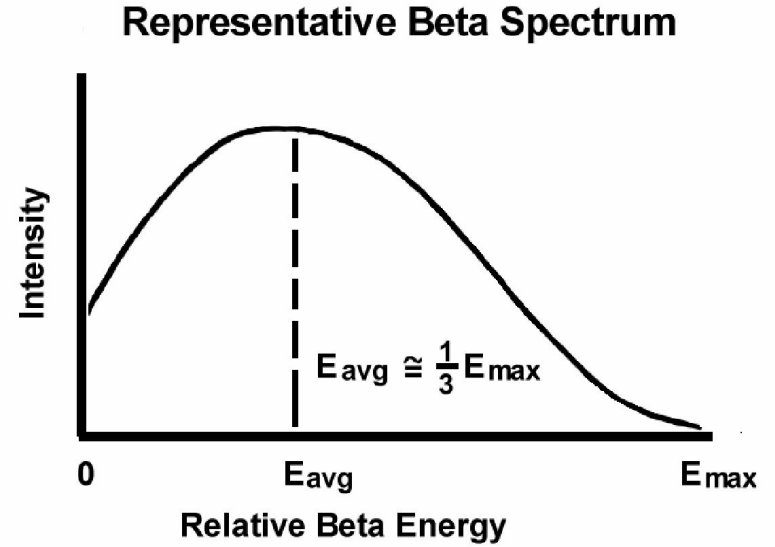
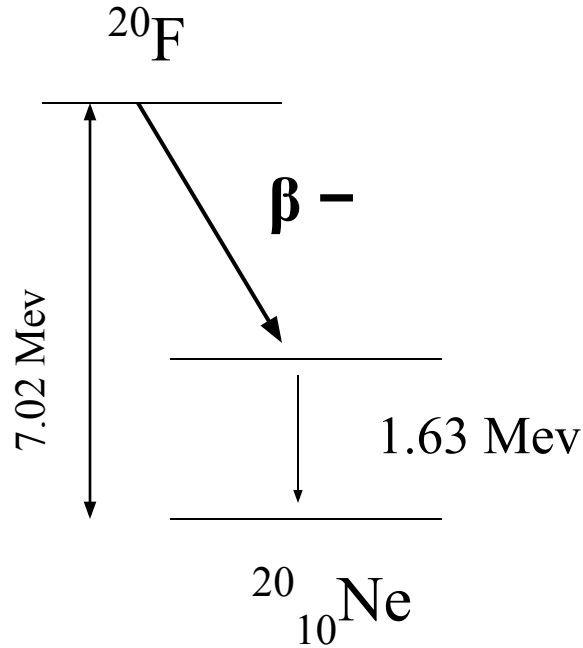
${}^{12}\text{C}$ nin Stabil izotobu

For ${}^{12}\text{C}$ $N/Z = 6/6 = 1$

For ${}^{14}\text{C}$ $N/Z = 8/6 > 1$



Örnek:



Maximum enerji = $7.02 - 1.63 = 5.39$ Mev

Bu enerji negatron ve antinötrino arasında paylaşılır.

Negatron bütün enerjiyi alırsa, antinötrinonun enerjisi sıfır olacaktır.

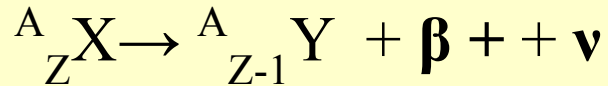
Aksine, antinötrino maximum enerjiye sahip olursa, negatronun enerjisi 0 olacaktır.

Positron yayınlaması: β^+ decay:

İzotobun stabil durumdan daha az nötronu varsa, (koyu mavi), böylece bir proton bir nötrona çevrilir, bir pozitif elektron ve bir nötrino yayınlanır. Oluşan yeni çekirdeğin proton sayısı bir azalır.

$N/Z <$ stabil durum

$p^+ \rightarrow n + e^+ + \nu$ (neutrino)

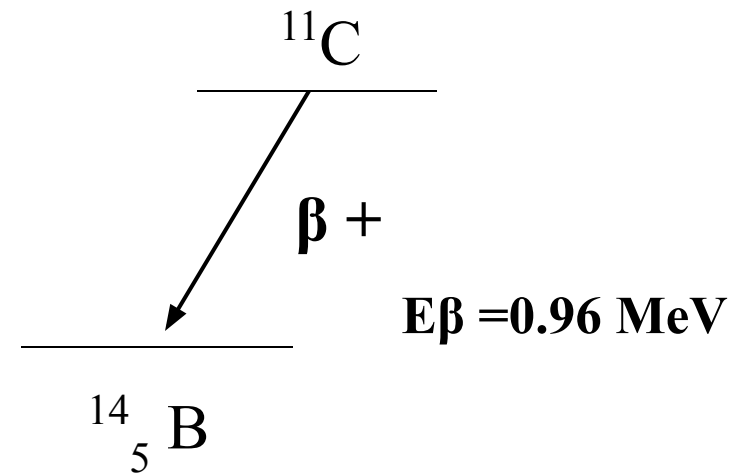
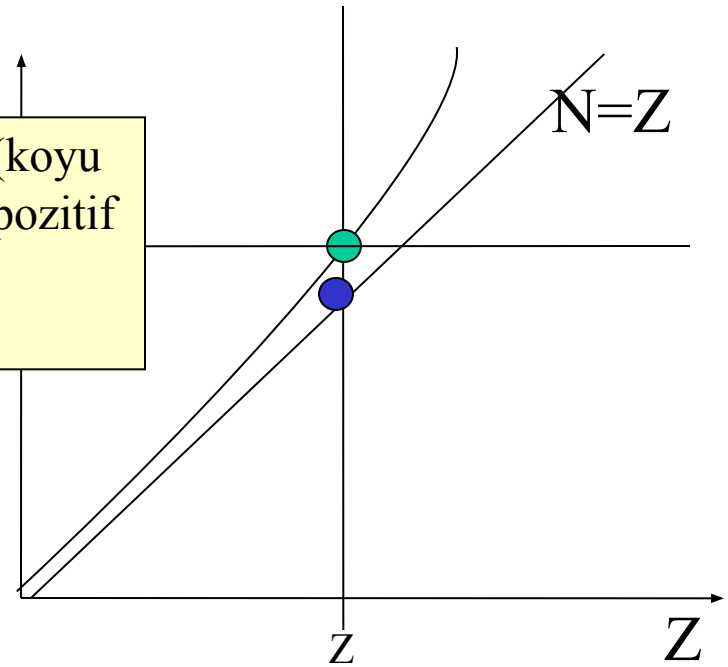
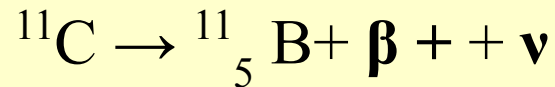


Example: ${}^{11}\text{C}$

C nun Stabil izotobu ${}^{12}\text{C}$

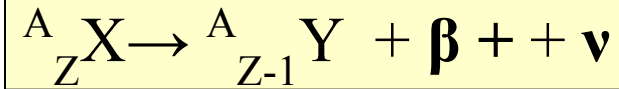
For ${}^{12}\text{C}$ $N/Z = 6/6 = 1$

For ${}^{11}\text{C}$ $N/Z = 5/6 < 1$



Positron yayınlanması:

β^+ decay:



$$\Delta m = m_a(X) - m_a(Y) - 2 \times m_e$$

Kütle farkının enerji olarak eşdeğeri de pozitron ve nötrino arasında Belirlenmemiş bir oranda paylaşılmaktadır.

Positron yayınlanması için şartlar:
(β^+ decay:)

Pozitron yayınlanması için iki şart bulunmaktadır.:

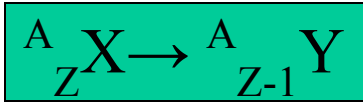
1. $N/Z <$ stabil şartlar
2. $\Delta m = m_a(X) - m_a(Y) - 2x m_e$

Elektron Yakalanması:

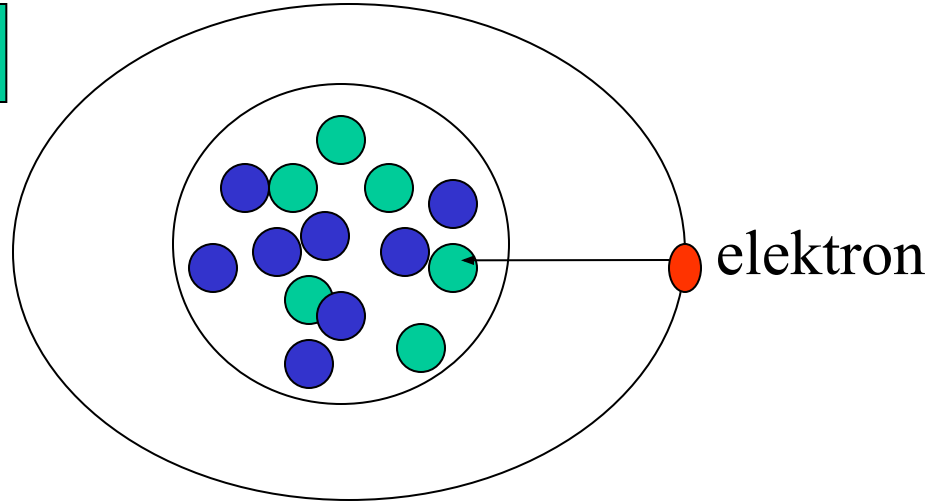
($N/Z < \text{stable condition}$) şartı sağlanıyor, fakat ($\Delta m = m_a(X) - m_a(Y) - 2x m_e$) şartı uygun değilse, bu durumda çekirdek kararlı seviyeye gelmek için elektron yakalar.

Elektron ve proton birleşerek bir nötron meydana getirirler.

Bu durumda reaksiyon sonunda, yeni çekirdeğin protonu bir azalır ve Z sayısı da böylece bir birim eksilir.



- proton
- nötron



Çekirdek 1. $N/Z <$ stabil durum

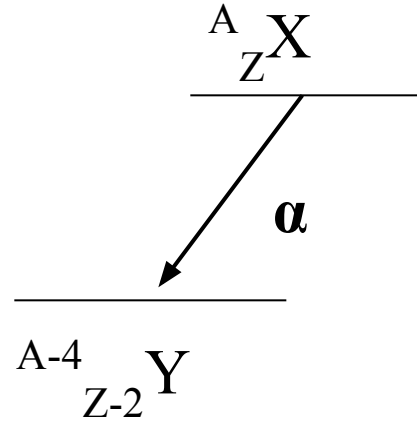
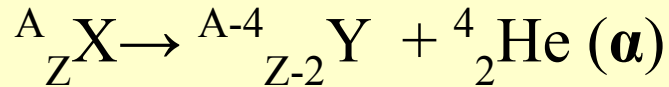
2. $\Delta m = m_a(X) - m_a(Y) - 2x m_e$

Şartlarının ikisini de sağlıyorsa parçalanma ya pozitron yayınlanması ya da elektron yakalanması şeklinde oluşur.

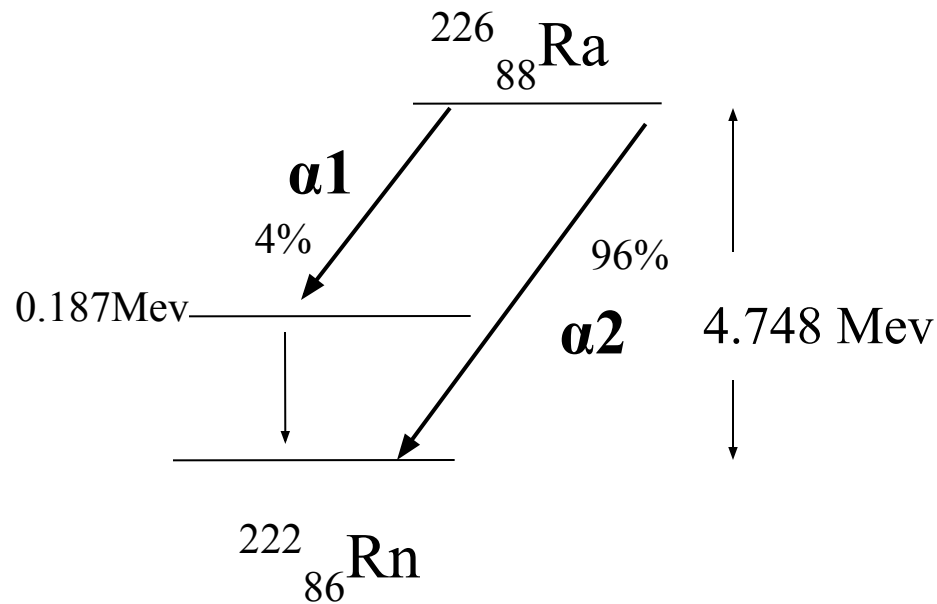
Çekirdek sadece birinci şartı sağlıyorsa bu durumda parçalanma yalnızca elektron yakalanması şeklinde olur.

Alfa (α) Parçalanması:

Yüksek atom numaralı elementler kararlı seviyeye tek bir partikül yayınlayarak inmezler, daha fazla sayıda partikül yayınlayarak inerler. Alfa parçalanmasında, çekirdekten iki proton ve iki nötron yayınlarlar.



Örnek:



$$E_{\alpha 1} = 4.748 - 0.187 = 4.56 \text{ MeV}$$

$$E_{\alpha 2} = 4.748 \text{ MeV}$$

X-Işınlarının Orijini

X-ışınları , x-ışını tübünde ,yüksek hızlı (ya da hızlandırılan) elektronların target atomlarının çekirdekleri veya elektronları ile etkileşmesi ile elde edilirler.

_ Etkileşim, yüksek hızlı elektronlar ile target atomlarının en iç yörünge elektronları arasında olursa, **karakteristik X-ışınları** meydana gelir.

_ Etkileşim, yüksek hızlı elektronlar ile target atomlarının yüklü çekirdekleri arasında gerçekleşirse bu durumda **Bremsstrahlung (braking radiation)** X-ışınları elde edilir.

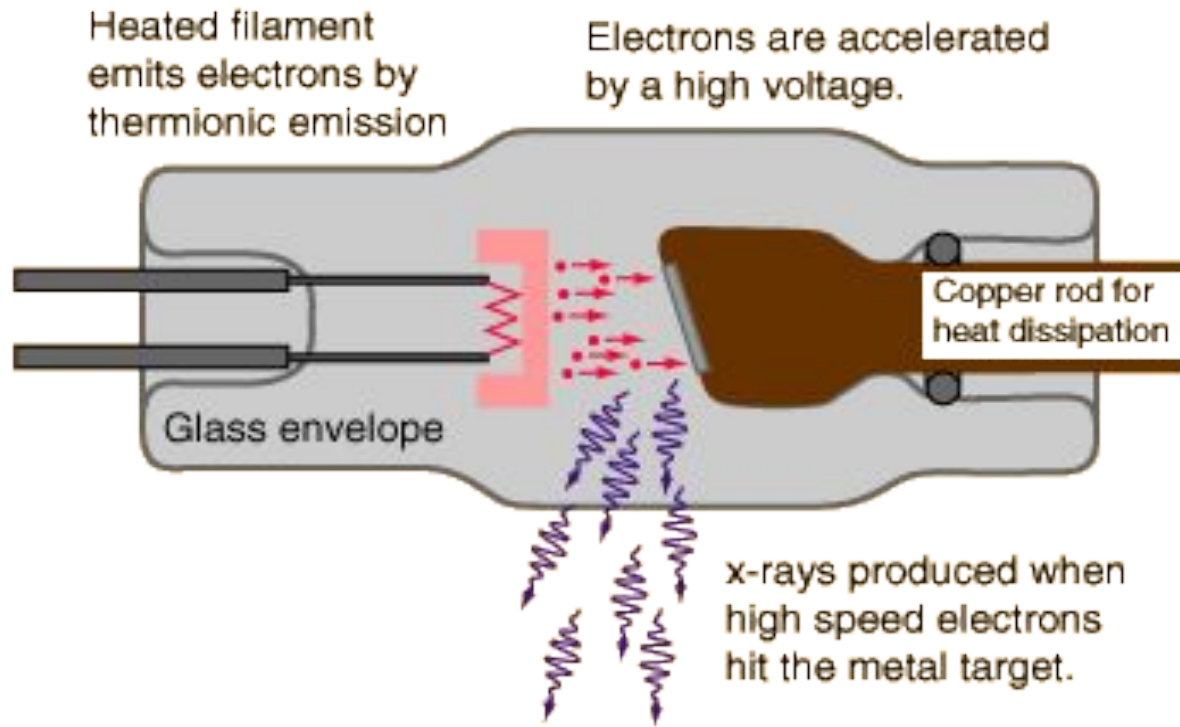
Elektron, ortam atomunun çekirdeğinin yakınından geçerken orijinal yolundan sapılarak X- ışını yayınlamak için yavaşlatılır.

Elektromagnetik teori ise elektrik yükünün hızının değişmesi ile (KE nin değişmesi) radyasyon yayınlanacağını söylemektedir.

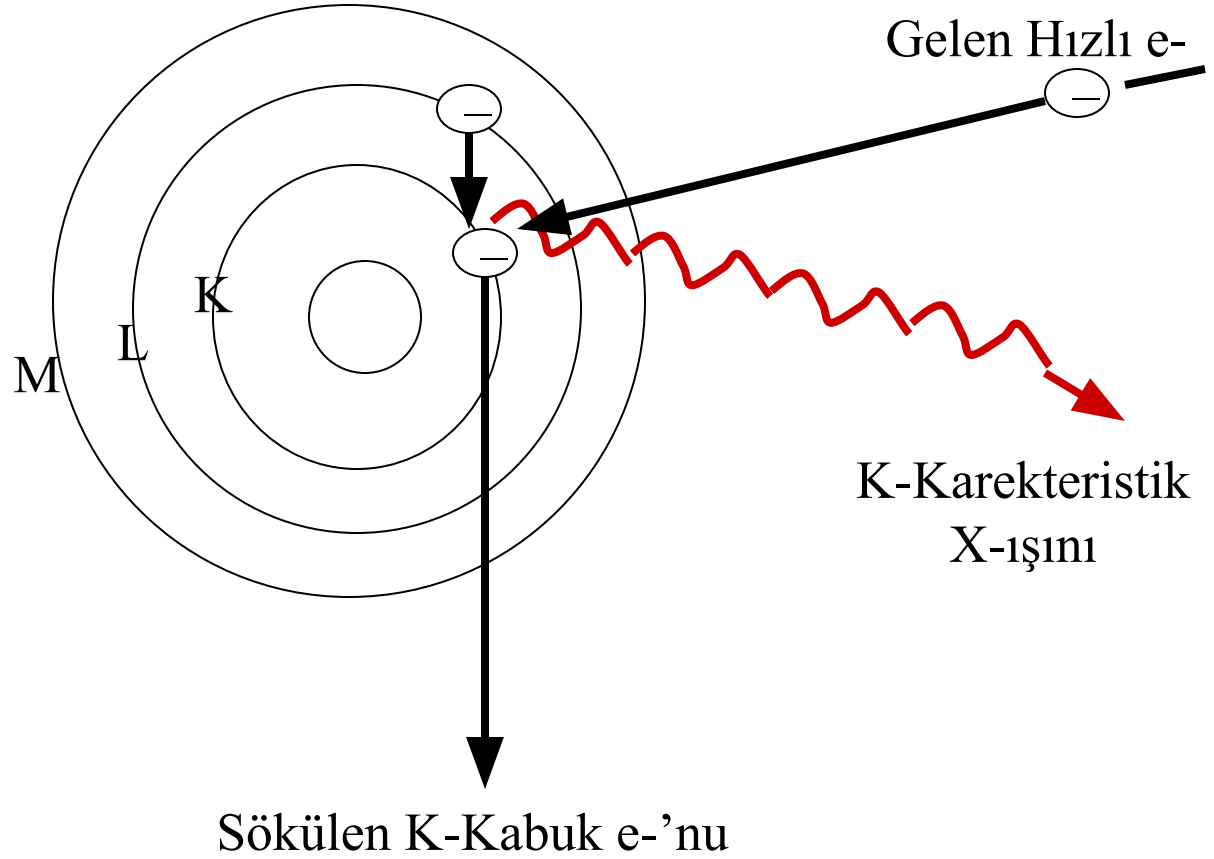
$$hf = KE_1 - KE_2 \quad KE_1 = \text{gelen radyasyon} \quad KE_2 = \text{saptırılan radyasyon}$$

$hf = \text{bremsstrahlung X -ışını}$

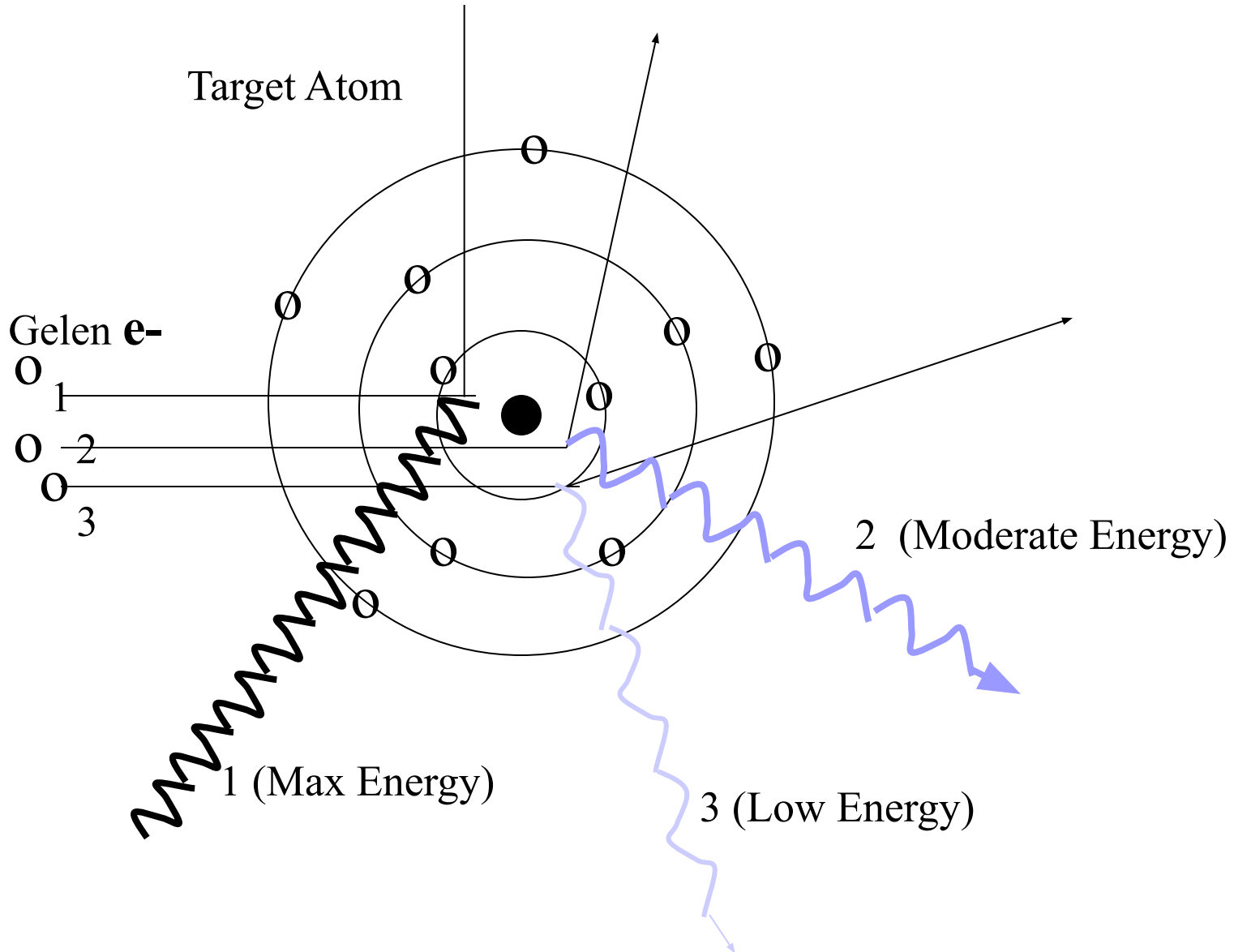
X_ Işını Tübü



Karakteristik X-Işınının Oluşumu



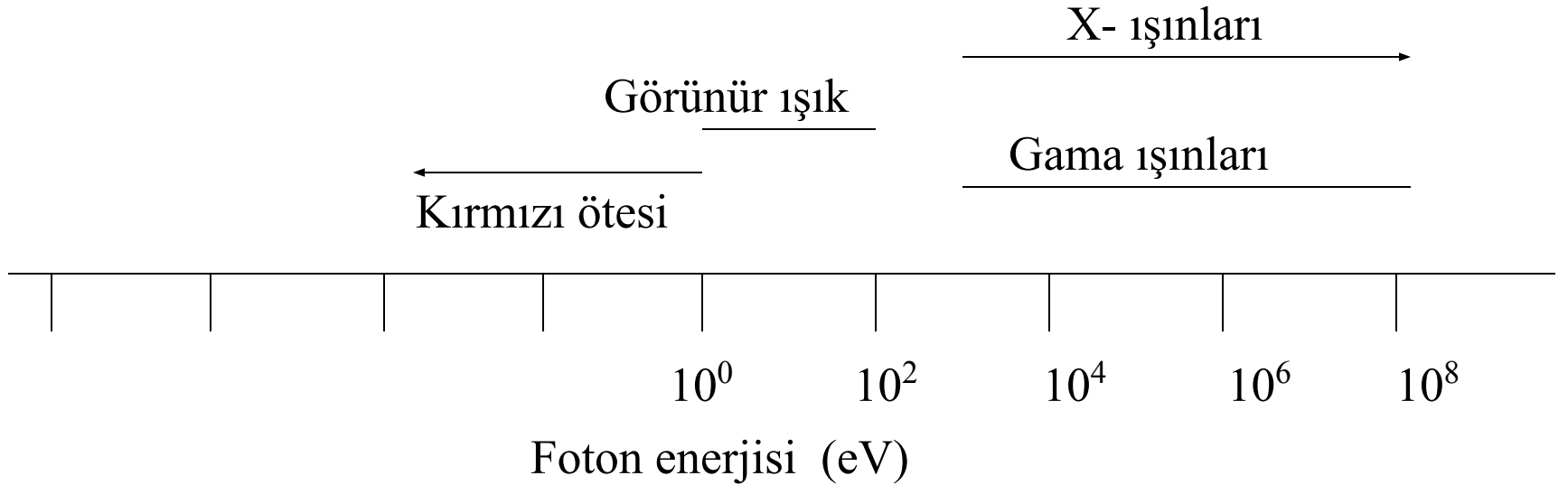
Bremsstrahlung radyasyonu geniş bir enerji spektrumuna sahiptir.



Gama Radyasyonları:

Radyoaktif parçalanma proseslerinde, oluşan çekirdek uyarılmış durumda bulunabilir.(kararsız durumda) Elektromagnetik radyasyon ise bu kararsız durumdan kararlı seviyeye geçildiğinde yayınlanmaktadır.

Gama ışınlarının elektromagnetik spektrum içindeki yeri görülmektedir.



X ve gama ışınlarının elektromagnetik spektrumda aynı bölgede yer aldıkları görülür.

Gama ışınları nükleer değişimler sonucu meydana gelirler. X ışınları ise çekirdek dışındaki elektronların inter reaksiyonları ile ortaya çıkarlar.

X ve gama ışınları daha çok **dalga özellikleri** ile tanımlanırlar. Bu radyasyonları aynı zamanda **foton veya enerji kuantaları** olarak da tanımlamak daha uygun olmaktadır.

$E = hf$ Foton adı verilen bir elektromagnetik enerji paketciğinin enerjisi

$h = 6.62 \times 10^{-34}$ Joule.sn (Planck sabiti)

Frekansı yüksek ve dalga boyu küçük olan fotonların enerjileri yüksektir.

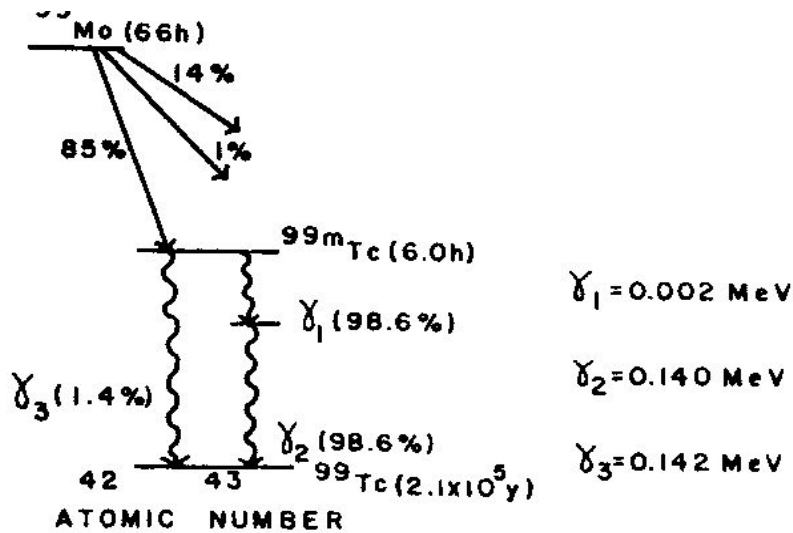
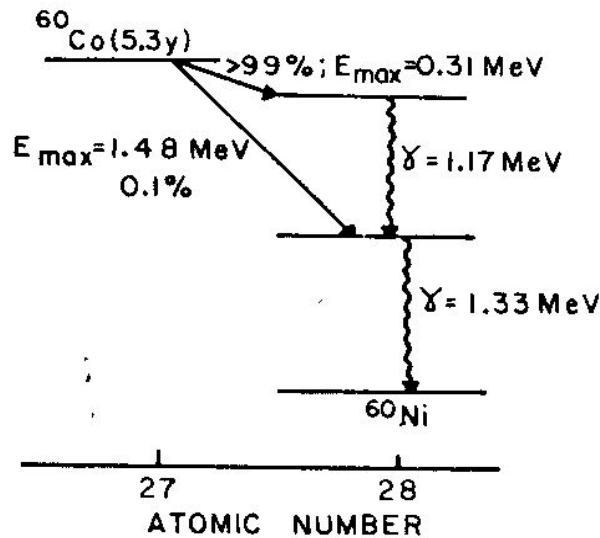


Fig. 2-6.—Simplified radioactive-decay scheme for ⁹⁹Mo.

gamma transition is preceded either by electron capture or by emission of an alpha particle, negatron or positron. Often, gammas are ejected

Fig. 2-7.—Radioactive-decay scheme for ⁶⁰Co.



Radyoaktif ışınların madde ile etkileşimi:

Etkileşim, radyasyonun parçacık ya da elektromanyetik dalga tipinde oluşuna bağlı olarak değişir.

Partikül Tipleri:

- i. Ağır parçacıklar: Alfa ışınları, hidrojen izotopları
- ii. Negatronlar /protonlar
- ii. Nötronlar

Electromanyetik Dalgalar:

- i. X-ışınları
- ii. Gamma ışınları

Parçacık Tipleri:

i. Ağır parçacıklar: Alfa ışınları, hidrojen izotopları

Etkileşim alfa parçacığının hızına, i.e. onun enerjisine bağlıdır.

Enerjisi 4 Mev olan alfa partikülünü düşünelim.

$$E_{\alpha} = 4 \text{ Mev}$$

$$E_{\alpha} = mv^2/2$$

$$1 \text{ Mev} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ ergs}$$

$$m_{\alpha} = 6.6 \times 10^{-24} \text{ g}$$

$$4 \times 10^6 \text{ ev} \times 1.6 \times 10^{-12} \text{ ergs} = 6.6 \times 10^{-24} \text{ g} \times v^2/2$$

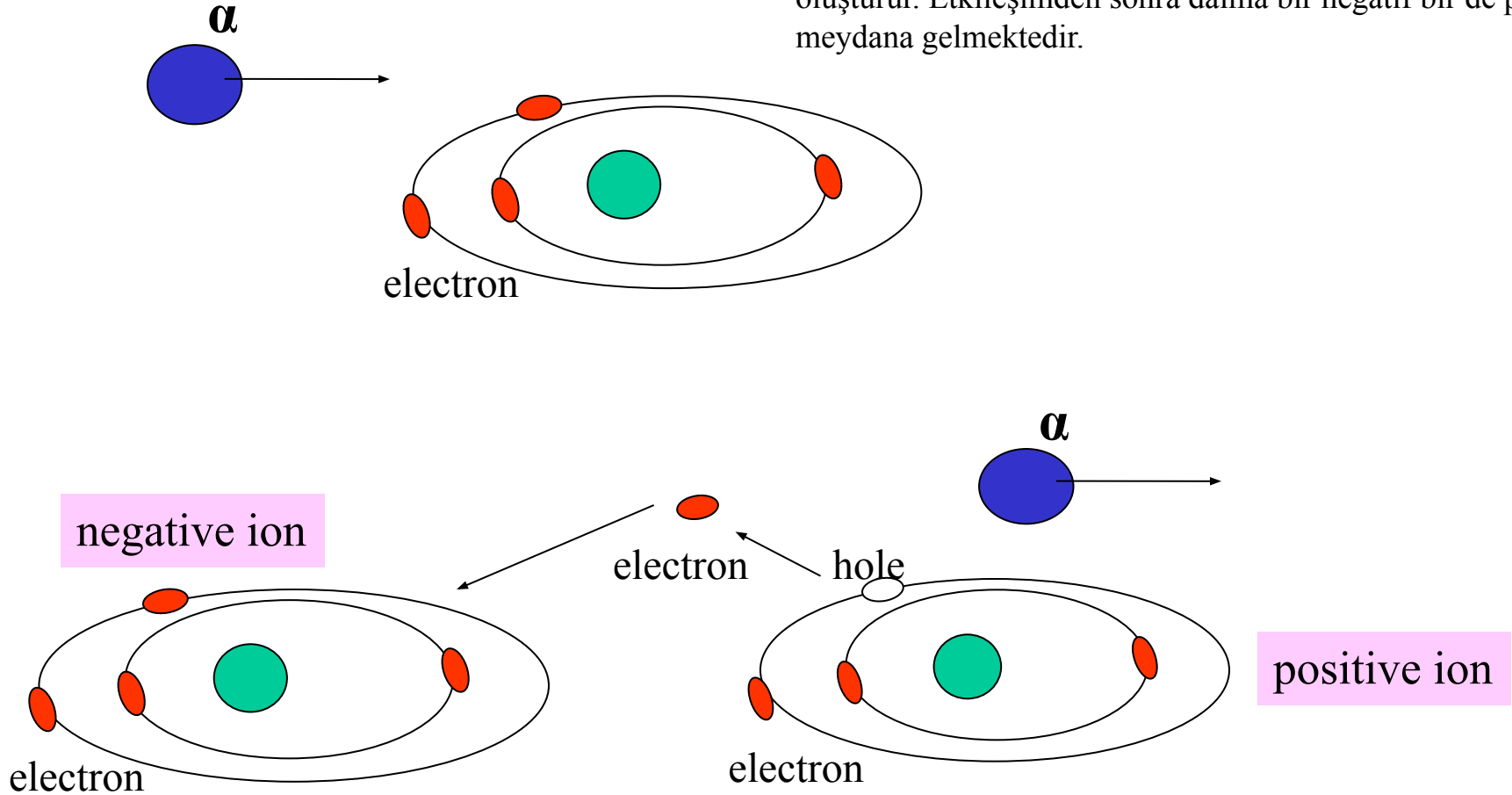
$$v = 1.4 \times 10^9 \text{ cm/s (alfa partikülünün hızı)}$$

Alpha particle'nün hızı küçük partiküllerin hızı ile karşılaştırıldığında (ışık) daha küçüktür.

$$c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$$

Yörünge elektronları ile etkileşim:

Etkileşimden sonra, yörünge elektronu atomdan arkasında boşluk (hole) bırakarak ayrılacaktır. (i.e. Pozitif iyon)
.Fırlatılan bu elektron ortam ile etkileşecektir.Bütün enerjisini kaybettiğinde de nötral bir atoma bağlanarak, negatif iyonu oluşturur. Etkileşimden sonra daima bir negatif bir de pozitif iyon meydana gelmektedir.

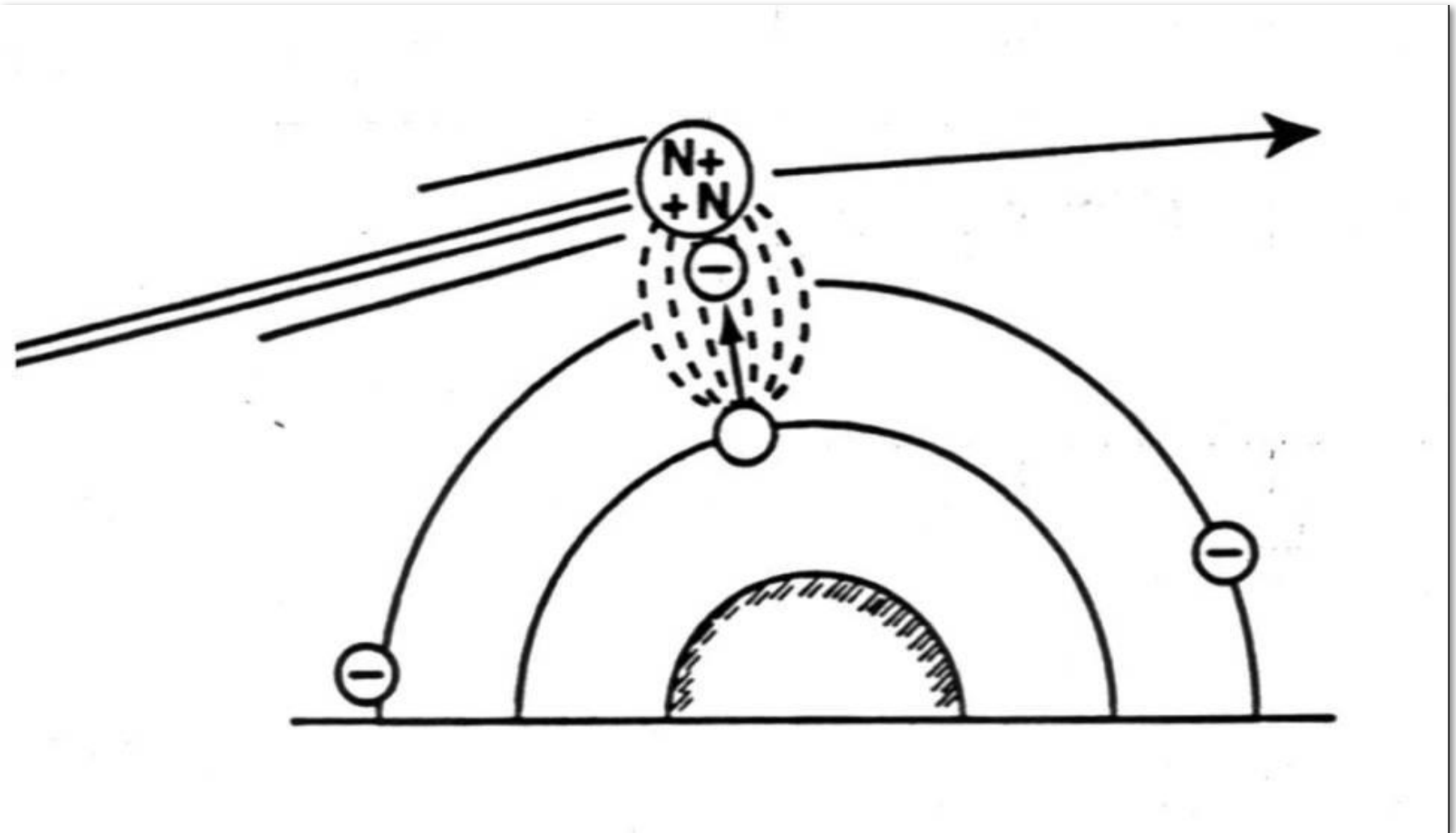


Alfa partikülleri elektronlardan daha ağır oldukları için, yörünge elektronları ile çarpıştıktan sonra bile kendi düzgün yollarından sapmazlar..

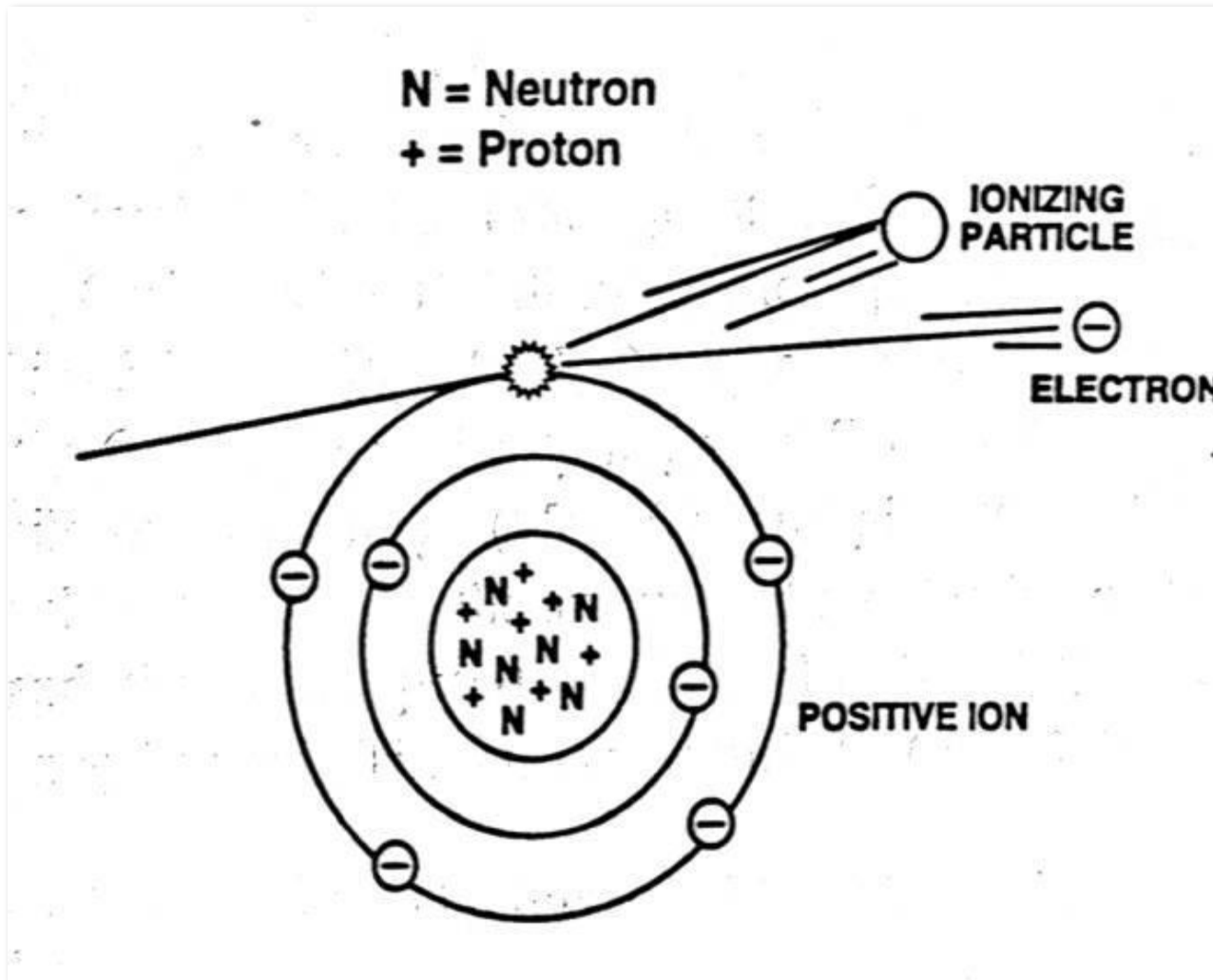
- ** Atomdan fırlatılan elektron ortamın diğ er atomları ile etkileşir.
- ** Her etkileşim sırasında elektron bir miktar enerji kaybeder.
- ** Bütün enerjisini kaybettiğinde de bir atom ile birleşerek negatif iyonu meydana getirir.
- ** **Etkileşimin sonunda pozitif ve negatif iyonlar meydana gelir.**

Birbiri ardına gelen etkileşimlerden sonra, alfa partikülü enerjisini kaybettiğinde, ortamdaki iki serbest (resting) elektron ile birleşerek helium atomunu oluşturur.

Excitation



Ionization



Electron removal by

Lineer Enerji Transferi

Radyasyonların iyonizasyon meydana getirerek madde ile etkileşimleri sonucunda kaybettikleri enerji için **spesifik iyonizasyondan (SI)** söz edilir; absorblayıcı ortamdan bahsederken de **lineer enerji transferini (LET)** 'i tanımlamak gerekir.

SI : Yüklü parçacıkların aldığı yol boyunca **birim uzaklık başına meydana getirdiği iyon çifti sayısıdır.**

Alfa parçacıklarının SI, havada 30.000 IP/cm - 70.000 IP/cm (iyon çifti/cm) olmaktadır.(Yavaş hareket eden büyük kütleli parçacıklar olduğu içindir.)

LET: Lineer Enerji Transferi : Yüklü parçacığın aldığı yolun birim uzunluğu başına bıraktığı ortalama enerji miktarıdır.

$$\text{LET} = (\text{SI}) \times (\text{W})$$

W= Bir iyon çifti oluşturabilmek için gerekli enerji miktarıdır.

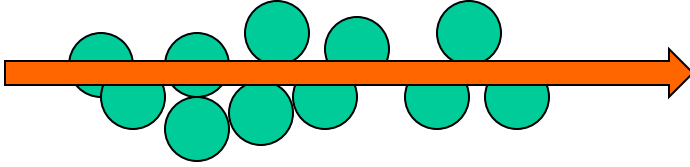
W = 33.7 eV - 34 eV olarak verilmektedir.

SI = spesifik iyonizasyon sayısıdır. (IP/cm)

$$\text{LET} = (\text{IP/cm}) \times (\text{eV/IP})$$

LET = eV olarak bulunur.

Etkileşimden sonra
pozitif ve negatif iyonlar meydana gelir.



alfa partikülünün doğrultusu(yolu)

Spesifik iyonizasyon (SI): Aldığı birim yol başına meydana getirdiği iyon çifti sayısı.

Havada bir iyon çifti oluşturabilmek için, havanın absorbladığı enerji yaklaşık 34 ev tur.

Lineer Enerji Transferi (LET): Partikülün birim yol başına ortama bıraktığı enerji miktarıdır. Aynı zamanda alfa partikülünün gittiği birim yol başına kaybettiği enerji miktarıdır.

$$\text{LET} = \text{SI} \times 34 \text{ ev}$$

$$\text{Uzaklık} = \text{Partikülün enerjisi} / \text{LET}$$

Spesifik iyonizasyon ortamın yoğunluğuna bağlı olduğu kadar alfa partikülünün enerjisinede bağlıdır.

Yumuşak dokunun yoğunluğu, havanın yoğunluğunun 1000 katı kadardır. Böylece dokudaki spesifik iyonizasyon havada olduğundan çok daha fazladır. Buna rağmen, alfa partikülleri yumuşak dokuda yalnızca birkaç mikrondan daha fazla ilerleyememektedir.

ÖRNEK:

Bir numuneden yayınlanan 4.78 Mev enerjili alfa partiküllerinin spesifik iyonizasyonları 60 000 i.p./cm.dir.Alf partiküllerinin lineer enerji transferini ve havada gidebilecekleri uzaklığı bulunuz.

$$\text{LET} = \text{SI} \times 34 \text{ ev}$$

$$\begin{aligned} \text{LET} &= 60.000 \text{ i.p./cm} \times 34 \text{ ev/i.p.} = 2040000 \text{ ev/cm} \\ &= 2.04 \times 10^6 \text{ ev/cm} = 2.04 \text{ Mev/cm} \end{aligned}$$

Parçacık havada 1 cm yol aldığıında 2.04 Mev değerinde enerjiyi kaybetmektedir.Bu miktar enerji ortam (hava) tarafından absorbe edilecektir.

$$\text{Range} = \text{Energy of the particle} / \text{LET}$$

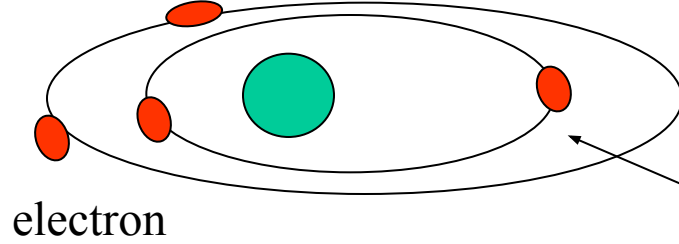
$$\text{Range} = 4.78 \text{ Mev} / 2.04 \text{ Mev/cm} = 2.39 \text{ cm havada.}$$

β^- and β^+ partiküllerinin madde ile etkileşimi:

- 1) yörünge elektronları ile olan etkileşim
- 2) çekirdek ile etkileşim.

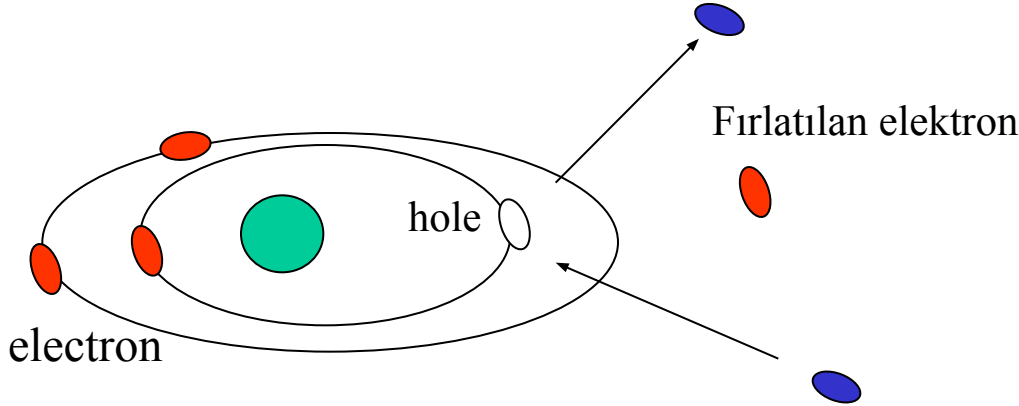
1) Yörünge elektronları ile olan etkileşim

Negatronlar ve protonlar yörünge elektronu ile direkt olarak çarpışırlar. Çarpışmadan sonra atomun bir elektronu azalır. Böylece pozitif iyon oluşur.

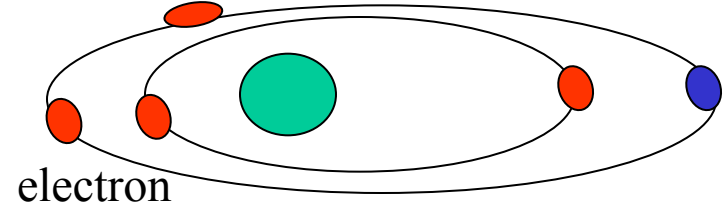


Beta partikülleri negatronlarsa, ortamın atomlarının elektronları ile çarpışırlar. Bir dizi etkileşimden sonra bütün enerjilerini kaybederek nötr bir atoma bağlanırlar. Böylece negatif iyon meydana gelir.

(β^- / β^+ ,)



positive ion



negative ion

$$E_K = E - E_B$$

Çıkarılan elektron da ortamın atomları aynı negatronlarda olduğu gibi etkileşime girecektir. Bütün enerjisini kaybettiği zamanda nötr bir atoma bağlanarak. Negatif bir iyon oluşturacaktır.

Ortamdaki atomlarla beta partiküllerinin etkileşmesi negatif ve pozitif iyonların oluşması şeklinde olmaktadır.

Gelen partikül **pozitron** ise, bütün enerjisini kaybettikten sonra negatif bir elektron ile birleşir. Bu iki elektron birbirlerini yok eder ve onların kütleleri de elektromanyetik dalga olarak ortaya çıkar. Bu 0.51 MeV enerjili fotonlar birbirlerine zıt fakat aynı doğrultuda yollarına devam ederler.

$$E = 0.00055 \text{ akb} \times 931 \text{ Mev/akb} = 0.51 \text{ Mev}$$

$$2 \times 0.51 \text{ Mev} = 1.02 \text{ Mev}$$

Partiküller negatronlar ise, bu durumda, ard arda reaksiyonlardan sonra dinlenme durumunda (enerjisini tükettince) nötr bir atoma bağlanırlar.

Spesifik iyonizasyon(SI):

$SI = 45 / (v/c)^2$ burada, beta partiküllerinin hızı c ise ışığın hızıdır.

Negatron ve protonlar için SI : 45-150 I.p./cm

Gelen negatron/protonlar, absorblayıcının atom numarasının artması ile değişen bir probabiliteye bağlı olarak yörünge elektronları tarafından saçılmaya uğrar.

Negatronların/pozitronların kinetik enerjileri arttıkça etkileşim olasılığı da azalır.

$$\text{LET} = \text{SI} \times 34 \text{ ev/i.p.}$$

$$\text{Uzaklık} = E_{\text{max}} / \text{LET}$$

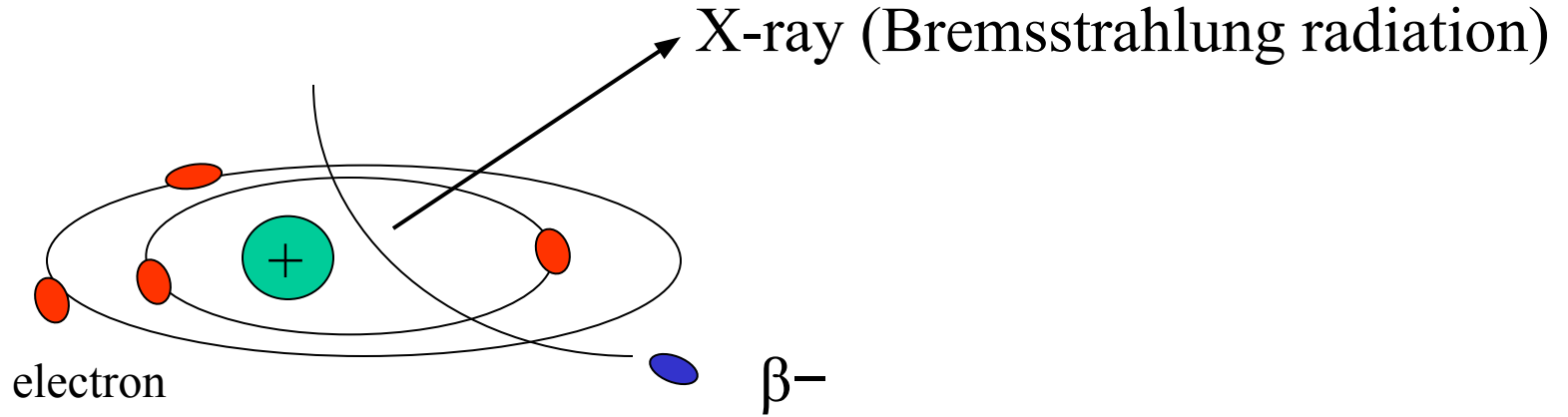
Beta partiküllerinin enerjisi sabit olmayıp 0 ile E_{max} , aralığında değişmektedir.

Beta parçacıklarının max uzaklıklarını söyleyebiliriz.

Maximum range of beta particles in tissue:

<u>radionuclide</u>	<u>E_{max} (Mev)</u>	<u>yaklaşık uzaklık</u>
^3H	0.018	6 μm
^{14}C	0.155	300 μm
^{35}S	0.167	300 μm
^{32}P	1.7	0.8 μm

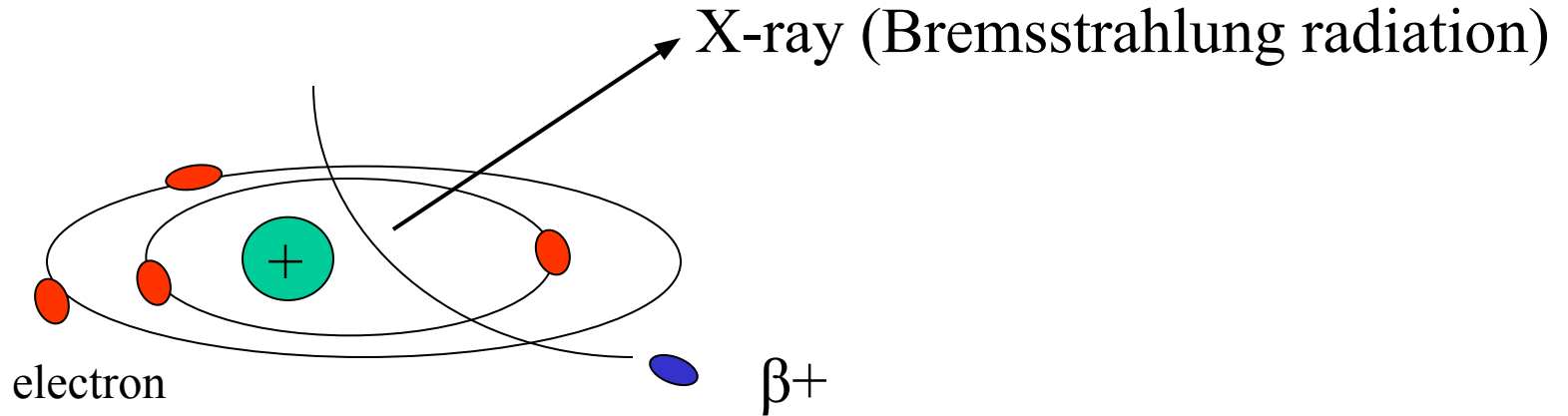
2) Çekirdek ile etkileşim (inelastik saçılma):



Herhangibir partikül hızlandırıldığı ya da yavaşlatıldığı durumda electromanyetik dalga yayınlar.

Negatronlar çekirdeğin yakınından geçerken hızlanacaklar ve çekirdekten uzaklaştıkları zamanda yavaşlayacaklardır. Bu yüzden enerjileri değişecektir. Böylece elektromanyetik dalga yayınlarlar. Negatronların hızları değiştiği için yaydıkları elektromanyetik dalganın, bütün enerji seviyelerine sahip sürekli bir spektrumu bulunacaktır.

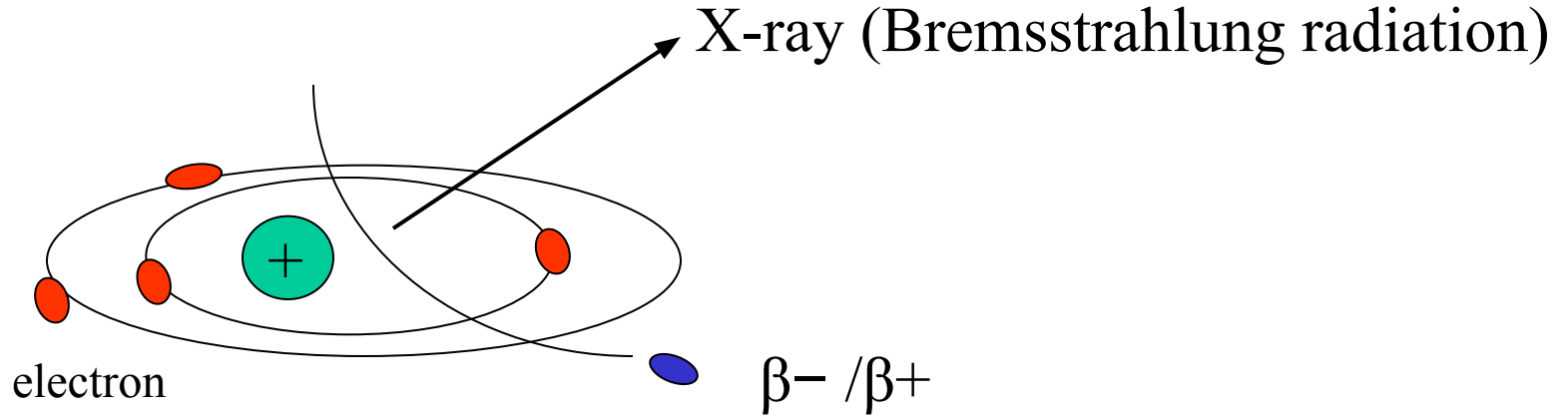
2) Çekirdek ile etkileşim (inelastik saçılma):



Pozitronlar çekirdeğin yakınına geldiklerinde yavaşlayacaklar, ve çekirdekten uzaklaşırken ise hızlanacaklardır. Böylece elektromanyetik dalga yayınlayacaklardır. Bu dalganın her enerji seviyesine sahip sürekli bir spektrumu bulunur.

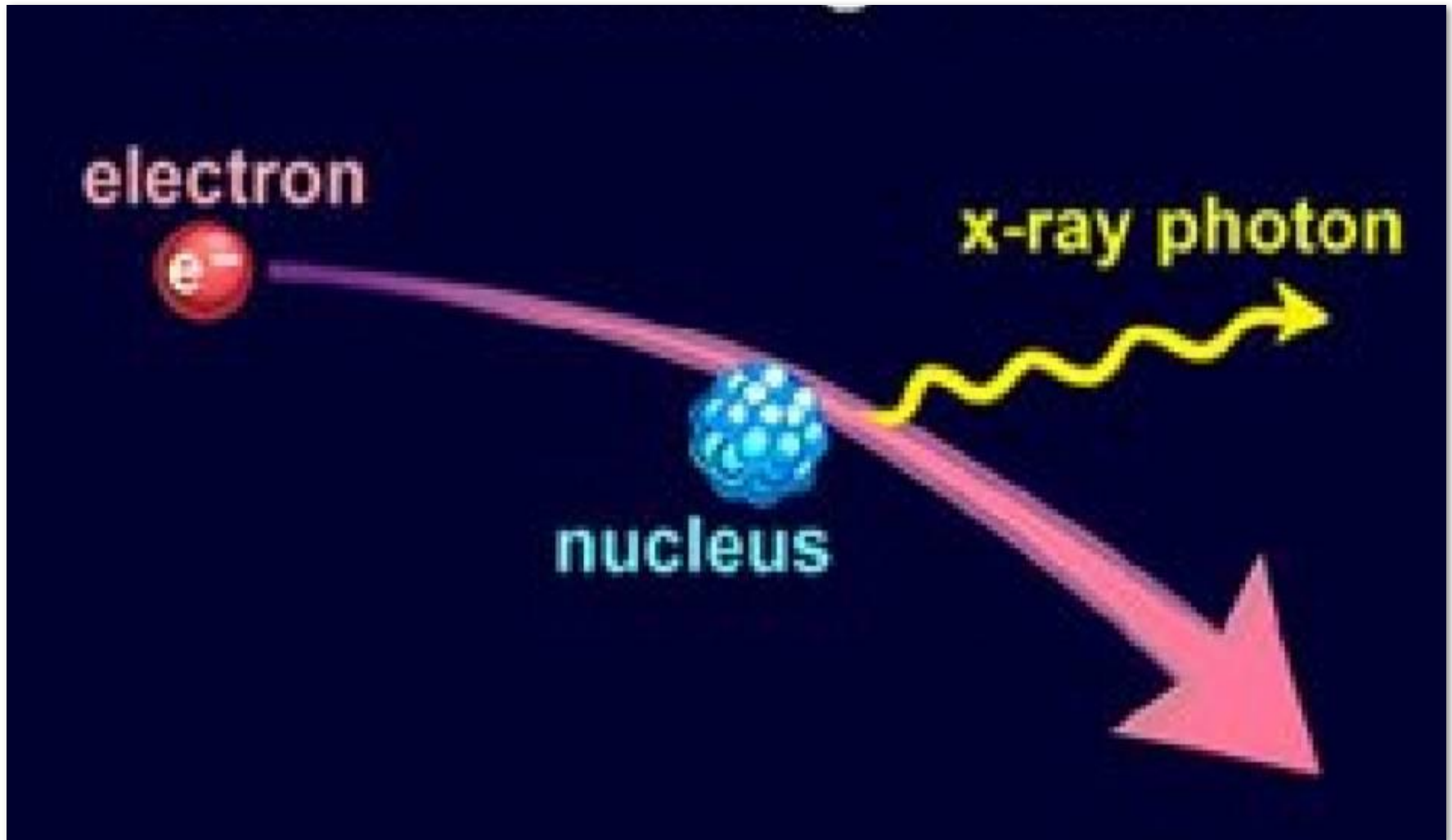
Probabilite, ortam atomlarının atom numaraları arttıkça ve beta parçacıklarının enerjisi de yükseldikçe artmaktadır.

2) Çekirdek ile etkileşim (inelastik saçılma):

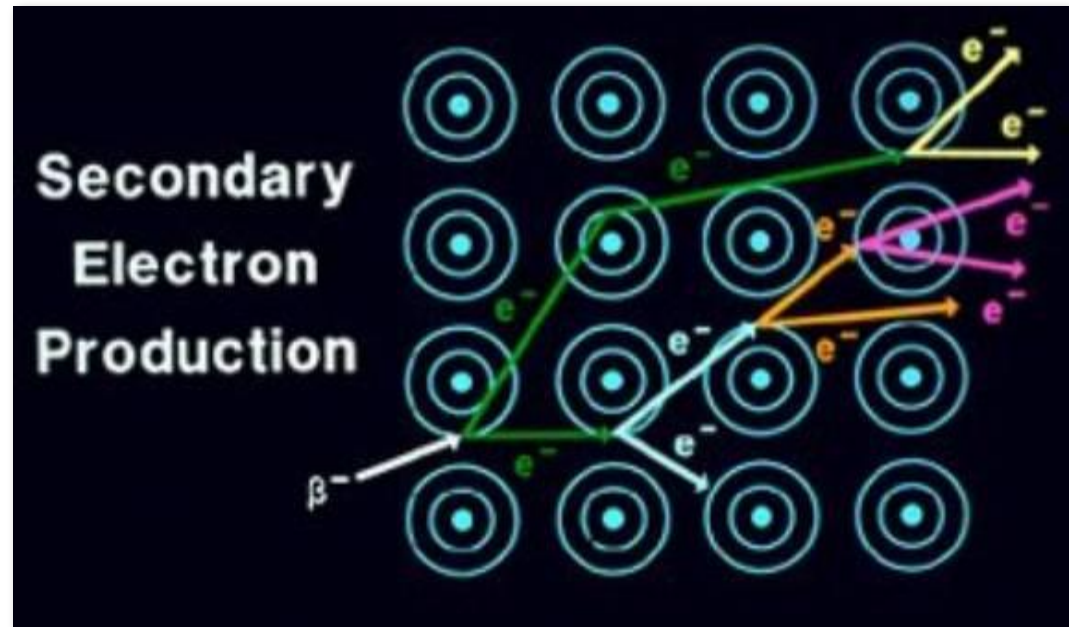
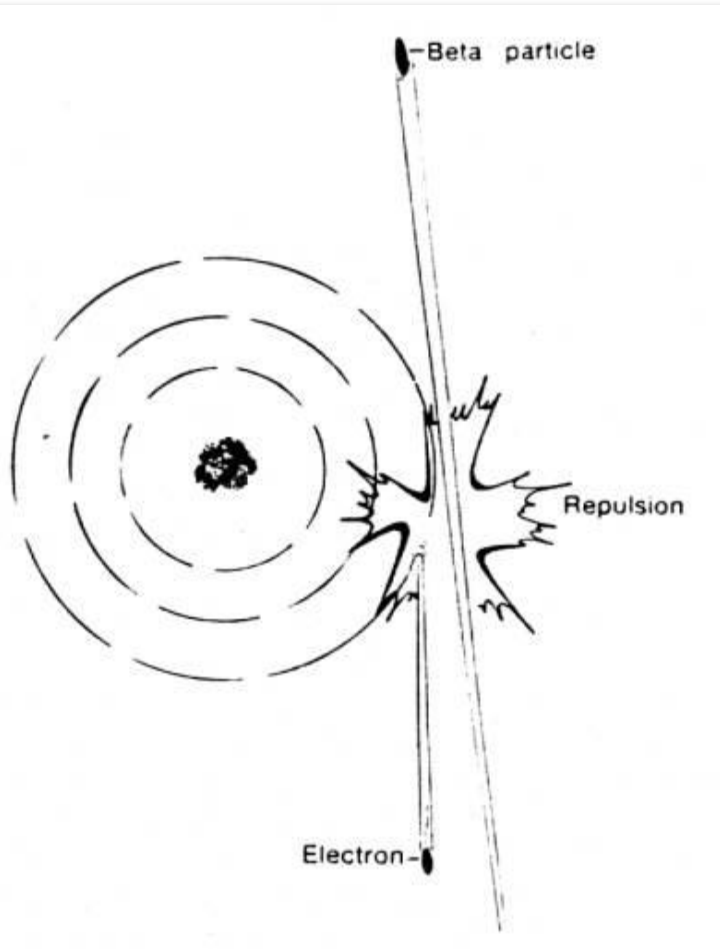


Çekirdek ile etkileşimin probabilitesi, ortamdaki atomların atom numaraları arttıkça ve beta partiküllerinin enerjisi arttıkça da artmaktadır.

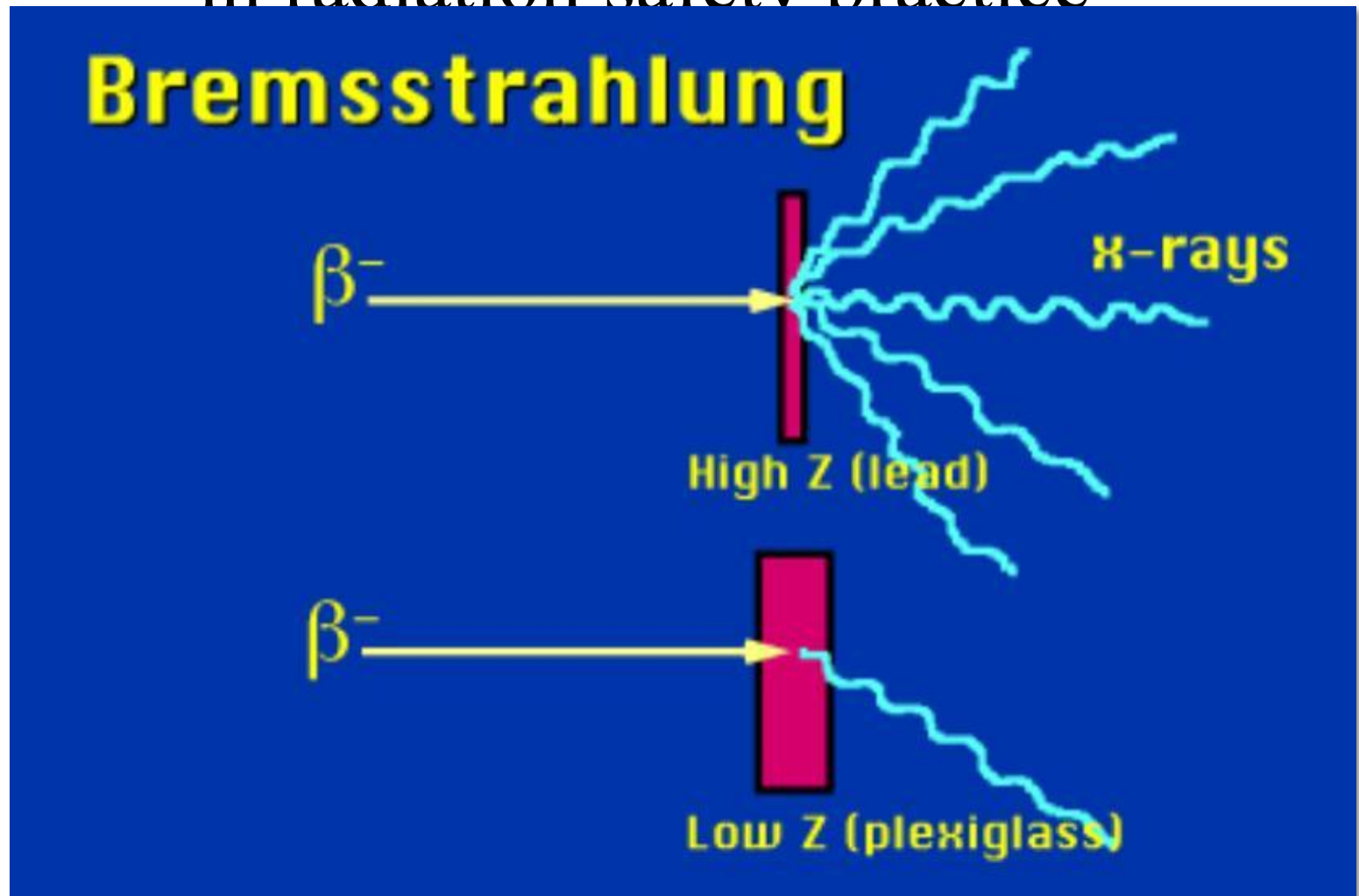
Bremsstrahlung radiation



Beta interaction with matter

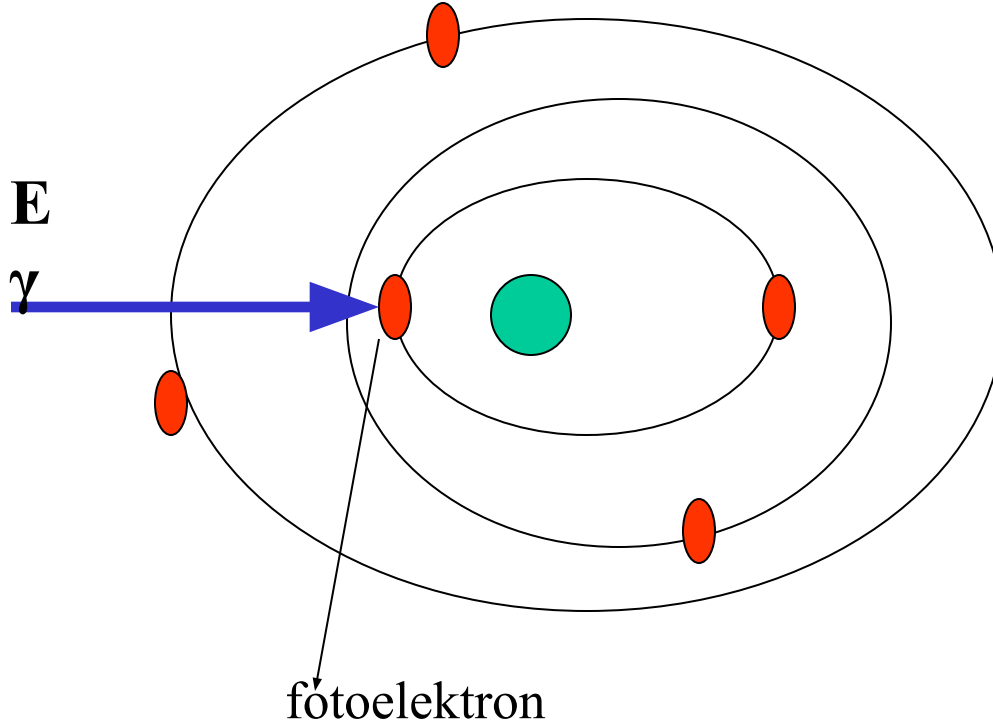


Importance of bremsstrahlung X rays in radiation safety practice



X veya gama (γ) ışınlarının madde ile etkileşimi:

1) Fotoelektrik Absorbsiyon:



$$E_{\gamma} = E_B + E_K$$

Foton tamamen kaybolur.

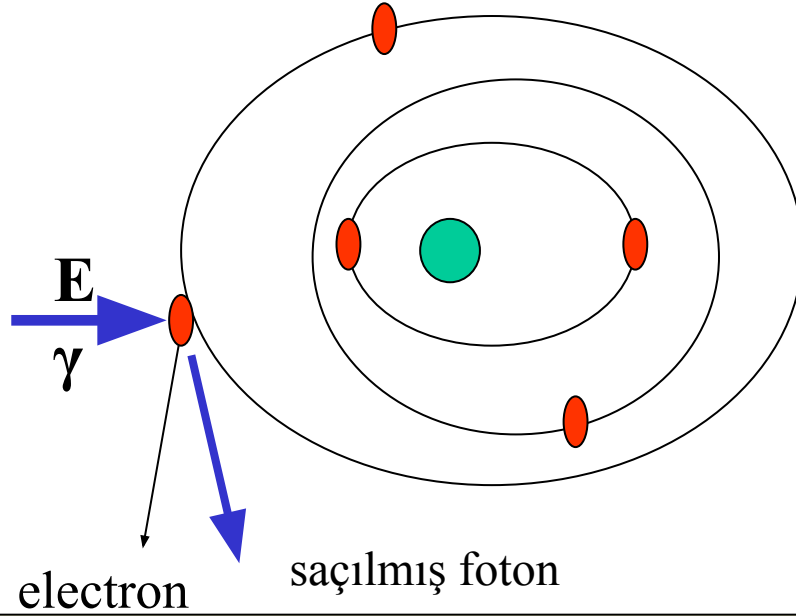
Foton yörünge elektronu ile etkileştiğinde bütün enerjisini o elektrona verir. Enerji kazanan elektron atomdan ayrılır, ve arkasında bir boşluk bırakır. Bu boşluk (hole) dış yörünge elektronlarından biri tarafından doldurulur. Bu sırada da x ışını yayınlanır.

Yörünge elektronu ile etkileşim olasılığı, fotonun enerjisi o elektronun bağlanma enerjisine eşit ya da biraz daha fazla olursa, maksimum değerdedir.

Fotoelektrik absorpsiyon olasılığı, absorblayıcı ortamın atom numarsına bağlıdır. Z^3 ye göre değişmektedir.

Böylece, düşük enerjili fotonlar fotoelektrik absorpsiyon şeklinde etkileşim yapmaktadırlar.

2) Compton Saçılması:

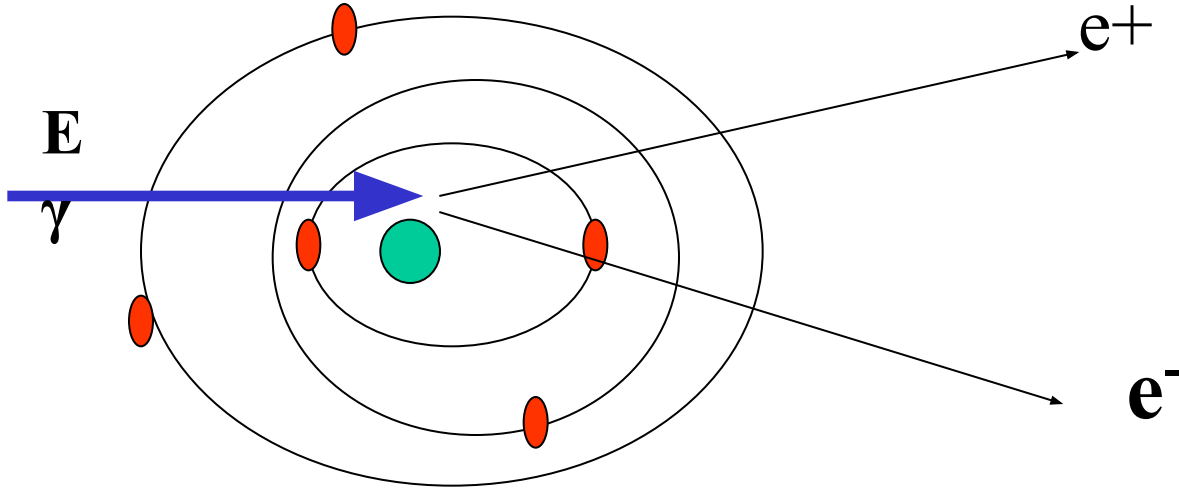


$$E_K = E_{\text{gel}} - E_{\text{saçılan}}$$

Foton atomun en dış yörünge elektronu ile etkileşir. Dış yörüngedeki elektronun bağlanma enerjisi sıfır olarak alınabilir. Bu yüzden elektronun yörüngeden atılması için enerji harcanmaz, fakat elektron enerji kazanır. Etkileşimden sonra foton da daha düşük bir enerji ile saçılarak yoluna devam eder. ($E_K = E_{\text{gel}} - E_{\text{saçılan}}$).

Etkileşim olasılığı, hemen hemen atom numarasından bağımsız olarak yalnızca elektron yoğunluğuyla değişir.

3) İyon Çifti Oluşumu:

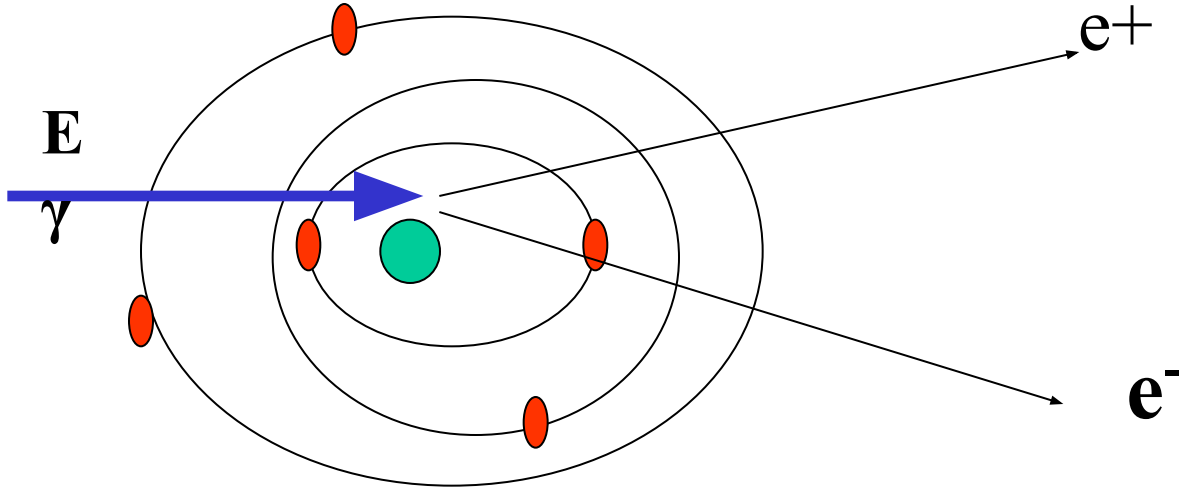


Foton çekirdeğin elektriksel alanı içinde ilerlerken biri negatif diğeri pozitif olmak üzere iki elektrona dönüşür.

$$\begin{aligned} \text{elektronların kütleleri} &= 2 \times 0.00055 \text{ akb} \times 931 \text{ Mev/akb} \\ &= 1.02 \text{ Mev} \end{aligned}$$

$$E_K = E_\gamma - 1.02 \text{ Mev}$$

3) İyon Çifti Oluşumu:



İki elektronun enerji eşdeğeri de 1.02 Mev tur. Bu yüzden gelen fotonun enerjisinin en az 1.02 MeV olması gerekir. Yüksek enerjili fotonlar iyon çifti oluşturarak etkileşirler.

Fotonun enerjisi 1.02 Mev tan daha fazla ise, bu fazla olan enerji elektronların kinetik enerjisi olarak kullanılır. Kinetik enerji iki elektron arasında tam eşit olarak paylaşılabilir.

$$E_K = E_\gamma - 1.02 \text{ Mev}$$

İyon çifti oluşturarak etkileşim olasılığı da, atom numarasına bağlıdır.

İyon çifti Oluşumu (Pair Production)

X ve gama ışınlarının $E_{\gamma} > 1.02 \text{ MeV}$ ya da en az $E_{\gamma} = 1.02 \text{ MeV}$ olursa; bu fotonlar absorblayıcı ortamda çekirdeğin yanından geçerken spontan olarak kaybolur, ve enerjisi e^+ , e^- (maddeleşmiş) şekilde görülür. Bu iki parçacığın kütleleri aynı olup yükleri farklıdır. İyon çifti meydana getirdikten sonra, (**positron e^+** ve **negatron e^-**) gelen fotona göre zıt yönlerde yollarına devam ederler, bu arada kinetik enerjilerininide (eksitasyon ve iyonizasyon ve bremsstrahlung ile) yüksek enerjili bir elektronun yaptığı gibi davranarak kaybederler. (*)

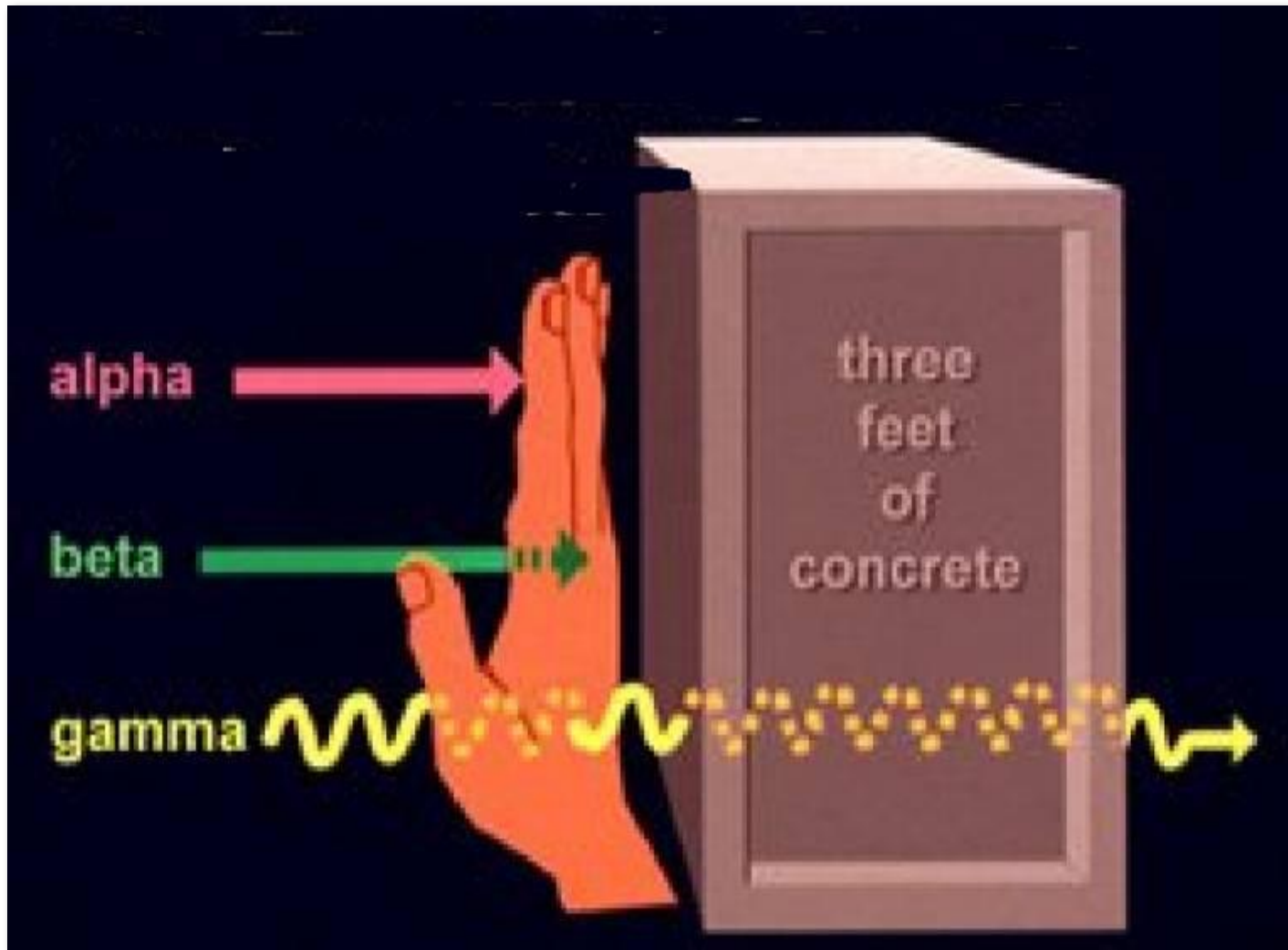
$$hf(\text{MeV}) = 1.02\text{MeV} + (E_k)e^- + (E_k)e^+$$

$$E_k(e^-) = E_k(e^+) = \frac{hf - 1.02 \text{ MeV}}{2}$$

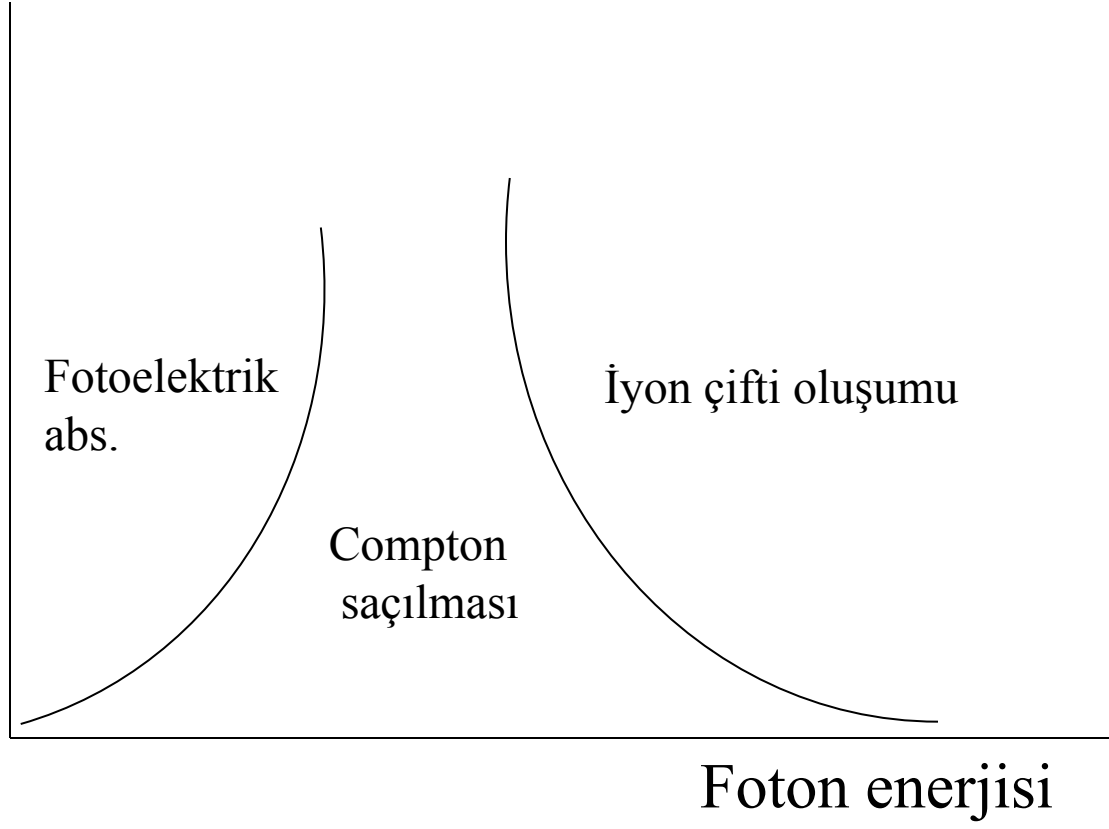
Pozitron bütün kinetik enerjisini bu şekilde harcadığında, bu defa ortamın bir elektronu ile birleşerek 0.51 MeV enerjili ve birbiri ile zıt yönde aynı doğrultuda giden iki foton(kuant) meydana getirir. Bu olay (Annihilation radiations ya da pair annihilations **çiftlerin yokolması** olarak adlandırılır.

(*) İyon çifti oluşturan fotonların enerjisi 1.02 MeV tan fazla değilse, (e^- , e^+) hareketleri için ilave kinetik enerjiye sahip olamayacağı için bu iki kütle tekrar birleşerek (annihilation) enerji kuantaları (0.51 MeV lik iki kuant) şekline dönüşürler.

Penetrating power of radiation



Atomic number of absorber



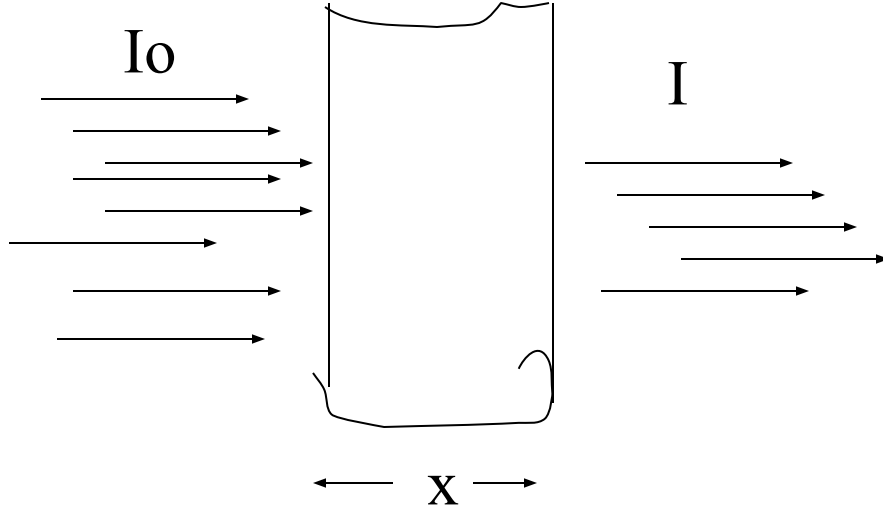
Fotoelektrik Absorpsiyon: Kemik, yumuşak dokunun absorbladığı enerjinin 5-6 misli fazla enerji absorblar.

Compton Saçılması: Kemik ve yumuşak doku aslında aynı miktarda enerji absorblar.

İyon çifti oluşumu: Kemik, yaklaşık olarak yumuşak dokunun absorbladığı enerjinin iki katını absorblar.

X ve γ :ışınının Zayıflatılması

Elektromanyetik dalga bir ortamda ilerlerken, fotoelektrik olay, Compton saçılması ve iyon çifti oluşturması prosesine göre absorblanacaktır. Böylece enerjisi de azalacaktır.



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

burada

I_0 , gelen foton sayısı (şiddet);

I , ortamı geçtikten sonraki fotonların şiddeti

x , maddenin kalınlığı(cm);

μ , zayıflatma katsayısı (1/cm).

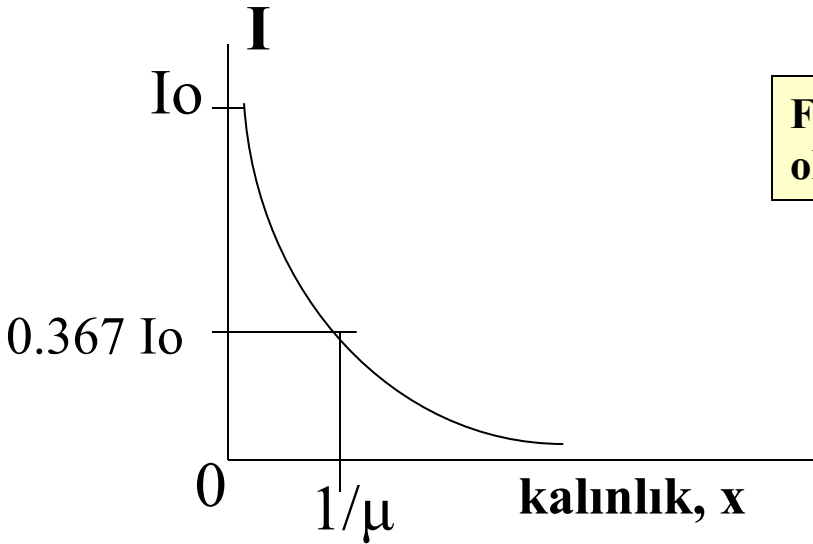
Fotonlar ortamda ilerlerken şiddetleri de eksponansiyel olarak azalacağı için formülde üstel bir terim vardır.

Eşitliğe göre:

$$x=0 \quad I = I_0$$

$$x=1/\mu \quad I = I_0 e^{-1} = 0.367 I_0$$

$$x \gg 1/\mu \quad I = 0$$



Böylece zayıflatma katsayısı, μ , bütün etkileşim katsayılarının toplamıdır:

μ =coefficient (katsayı) (photoelektrik proses+ Compton saçılması+ iyon çifti oluşumu + coherent scattering ..)

Diagnostik amaç için photoelectric process ve Compton saçılması ile ilgili katsayılar önemli olmaktadır.

diğer katsayılar ihmal edilebilir.

Zayıflatma katsayısı x veya gama ışınlarının enerjileri ile ve ortamın atom numarası ile değişir.

Aynı zamanda ortamın yoğunluğuna da bağlıdır.

Kütle Zayıflatma katsayısı (coefficient) = μ/ρ

Örnek:

2000 monoenerjetik fotondan oluşan ince dar bir ışın demetinin enerjisi 1 cm kalınlığındaki bakır plakadan geçirildikten sonra 1000 fotona inmektedir. Bu fotonlar için bakırın zayıflatma katsayısı nedir?

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad 1000 = 2000 e^{-\mu x}$$

$$\frac{1000}{2000} = e^{-\mu x} \quad \frac{1}{2} = e^{-\mu \cdot 1 \text{ cm}}$$

$$-\ln 2 = -\mu$$

$$\mu = 0.693 \text{ 1/cm}$$

Yarı Değer Kalınlık HVL

Şiddeti ilk değerinin yarısına indiren madde kalınlığı (μ : $x=HVL$ şiddet $I= I_0/2$).

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

x = yarı değer olduğunda ($x=HVL$)
 $I= I_0/2$

$$\frac{I_0}{2} = I_0 e^{-HVL \cdot \mu}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-HVL \cdot \mu}$$

$$HVL \cdot \mu = 0.7$$

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = \ln(e^{-HVL \cdot \mu})$$

$$\ln 1 - \ln 2 = -HVL \cdot \mu$$

$$-\ln 2 = -HVL \cdot \mu$$

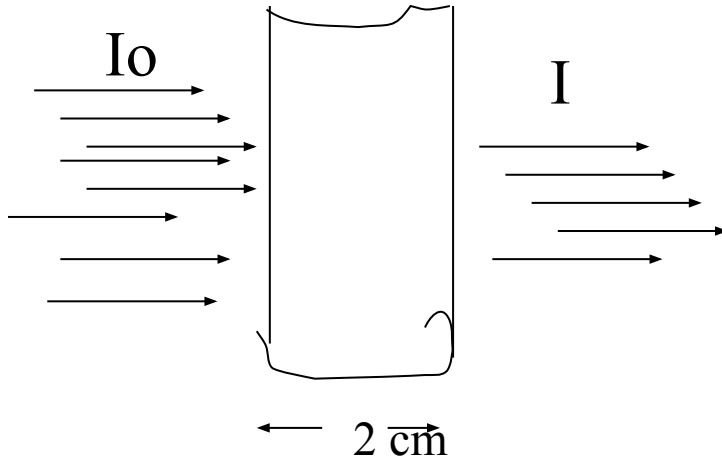
$$HVL \cdot \mu = 0.7$$

$$HVL = X_{1/2} = \ln 2 / \mu$$
$$\ln 2 = 0.7$$

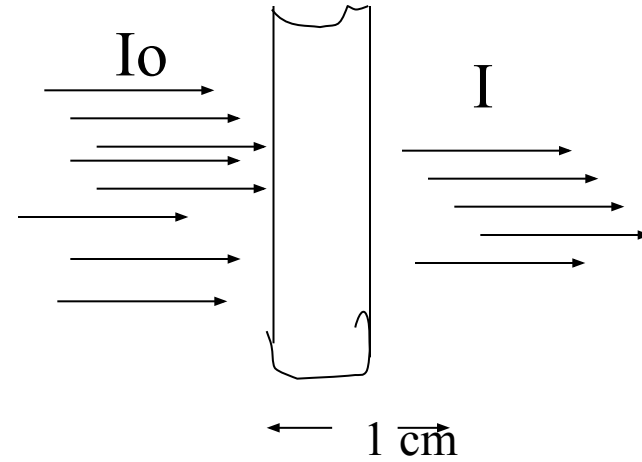
Yarı Değer Kalınlık:
quality of photons

Two different types of photons

First case



second case

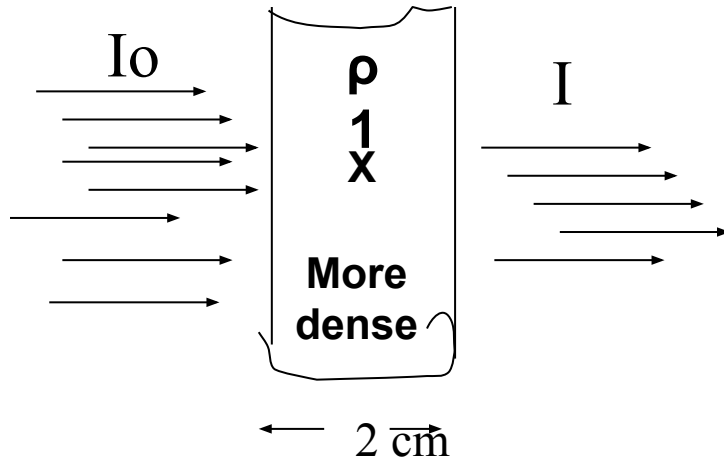


**Bariyerlerin aynı maddeden fakat farklı kalınlıkta yapıldığını düşünelim;
Geçen fotonların enerjilerini inceleyelim.**

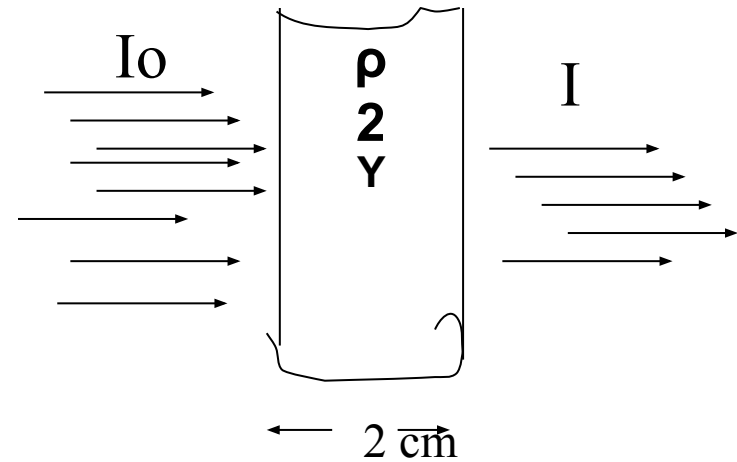
HALF VALUE LAYER:
quality of photons

Two different types of photons

First case



second case



$\rho_1 > \rho_2$; kalınlıklar aynı fakat yoğunluklar farklı,
Fotonların enerjilerini inceleyelim.

Tıpta kullanılan birimler:

- *Tetkik amaçlı (röntgen, R)
- *Tedavi amaçlı (radyasyon absorpsiyon dozu , rad; gray)
- *Önlem amaçlı (insanda radyasyon doz eşdeğeri, rem; sievert)

Radyasyon Birimleri:

Çeşitli tipteki radyasyonların (X ve gama gibi iyonlaştırıcı elektromağnetik radyasyonların ve alfa ve beta gibi yüklü parçacık türünde olanların) madde üzerindeki etkili miktarlarını (dozlarını) ölçmek için; bunların iyonlaştırıcı etkisini veya içinden geçtikleri madde ortamına transfer ettikleri enerjiyi dikkate alan iki tip birim tanımlanmıştır.

Herhangi bir radyasyonun 1kg'lık kütleyle 1 Joule'luk enerji transfer eden miktarına 1 Gray (Gy) denir. (System International (SI) birim sistemine göre)

1 Gray = 1 Joule/kg **1 Gray = 10^7 erg/ 10^3 gr** **1 Gray = 10^4 erg /gr**

Rad: 1 gr kütleyle 100 erg'lik enerji transfer eden radyasyon miktarı olmaktadır. (Eski birim sistemi) **1 Rad = 100 erg/gr**

Bu iki tanımdan;

1Gy = 100 rad

1 Gray = 1 Joule/kg dır.

Çekim Dozu : Röntgen

Absorblayıcı ortamda radyasyonun iyonizasyonuyla meydana gelen iyon çiftlerinin (IP lerin) toplam sayısı, radyasyon olarak etkileştikleri ortamda bıraktıkları enerji miktarı ile de orantılıdır.

Eğer ortam hava ise. Radyasyonun havanın birim kütlesi m ile etkileşerek meydana getirdiği iyonizasyonun (+ veya - yüklü iyonun) toplam yükü Q olmak üzere radyasyon çekim dozundan bahsedebiliriz. (X);

$$X = Q / m$$

Q: hem primer hem de sekonder IP leri içerir.

Radyasyon ekspozitörünün (çekiminin) SI birimlerle tanımı da : **Coul/kg dır.**Daha eski birimlerle ise **Röntgen** olarak verilmektedir. **(Traditional)**

$$1R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ Coul/kg olur}$$

1 cm³ hava = 0.001293 gr dır.

1 Röntgen , standart şartlarda : standart sıcaklık (0 °C) ve basınçta (1atm = 760 mmHg basıncında) 1 cm³ havada açığa çıkarılan 1 elektrostatik yük birimidir.

Röntgen yalnızca 3 MeV enerjiden daha düşük enerjili X ve gama radyasyonları için kullanılır.

Birim Sistemleri ve Dokunun Absorbladığı Doz:

Değişik türdeki Radyasyonların Toplam etkisi (Eşdeğer Doz):

Röntgen_ Exposure (Çekim Dozu)

Çekim, X ve gama radyasyonları tarafından havada meydana getirilen iyonizasyon miktarını tanımlar. **Birimi Röntgendir.**

Havanın 1 kg'mı başına meydana getirilen iyonların taşıdığı yük 2.58×10^{-4} Coul/kg dır. $e^- = 1.602 \times 10^{-19}$ coul

1 Röntgen için gereken iyon çifti sayısı (havada);

$$2.58 \times 10^{-4} / 1.602 \times 10^{-19} = \text{IP/kg Havada} = 1.61 \times 10^{15} \text{ IP/kg} \quad W = 5.4 \times 10^{-18}$$

Joule/IP dir (33.7 eV/cm)

$$= (1.61 \times 10^{15}) (5.4 \times 10^{-18}) = 8.69 \times 10^{-3} \text{ Joule/kg (Havada iyonlanma ile)}$$

Röntgen= 0.00869 Joule/kg olur. (Havada)

İnsan vücudunda (dokuda) depolanan enerji exposure (çekim dozu)

$$1 \text{ Röntgen} = 0.0096 \text{ Joule /kg (dokuda)} = 9.6 \times 10^{-3} \text{ Joule/kg}$$

Bu farklılıklar ve zorlukları kaldırmak için bir birim tanımlanmıştır.

Absorbe edilen doz : Rad

Herhangi bir ortamda her radyasyon türü için (X, gama ve yüklü ve kütleli parçacıklar için meydana gelen iyonlanma ile bırakılan enerjinin bir ölçüsüdür.

$$1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Joule /kg}$$

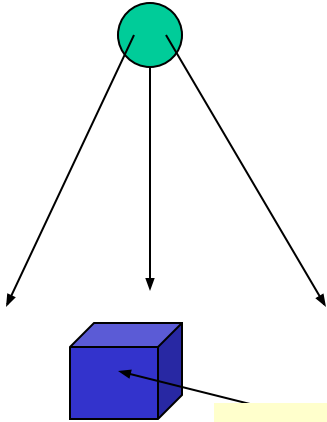
Radyasyon Çekim Dozu:exposure

*Tetkik amaçlı (röntgen, R)

Yalnız hava ortamı için geçerli olup diğer ortamlar için kullanılmaz.

Röntgen x veya γ ışınları için kullanılan bir birimdir.

örnek



Birim hacme giren
x ve γ ray ışınları iyon
meydana getirirler.

Tanımlarsak:

$$1 R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ columb/kg hava}$$

1 R radyasyona maruz kalan havada açığa çıkarılan enerji miktarını (joules cinsinden) hesaplayalım.

Bu belirlemeden:

$$\begin{aligned} 1 \text{ R} &= 2.58 \times 10^{-4} / 1.6 \times 10^{-19} \\ &= 1.61 \times 10^{15} \text{ ions/kg of air.} \end{aligned}$$

Havada bir iyon çifti oluşması için 34 ev gerekir.

$$\begin{aligned} &= 34 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ joules/ev/ip} \\ &= 54.4 \times 10^{-19} \text{ joules/ip} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ R} &= 1.6 \times 10^{15} \text{ ion pair/ kg hava} \times 54.4 \times 10^{-19} \text{ joules/ip} \\ &= 86.9 \times 10^{-4} \text{ joules/kg hava} \end{aligned}$$

$$1 \text{ R} = 0.869 \times 10^{-2} \text{ joules/kg hava}$$

1R radyasyona maruz kalan ortam tarafından absorblanan enerji miktarıdır.

Absorbe Edilen Doz:

Birimler: rad
Gray

1 rad ortama verilen 10^{-2} joules/kg enerji,
ya da 100 ergs/gr enerjidir.

1 Gray (Gy) = 1 joule/kg

1 Gray = 100 rads

μ_{air} = havanın absorpsiyon katsayısı ,
 μ_{med} = ortamın absorpsiyon katsayısı
 D_{air} = havada absorbe edilen doz ,
 D_{med} = ortamda absorblanan doz ,

$$D_{\text{med}} = (\mu_{\text{med}} / \mu_{\text{air}}) \cdot D_{\text{air}} \cdot X(R)$$

Ortam hava ise $(\mu_{\text{med}} / \mu_{\text{air}}) = 1$

ve

$$D_{\text{med}} = D_{\text{air}} \cdot X(R)$$

$$D_{\text{med}} = 0.869 \times 10^{-2} \text{ joules/1R} \cdot X(R)$$

$$X(R) = 1R,$$

$$D_{\text{med}} = 0.869 \times 10^{-2} \text{ joules}$$

$$D_{\text{med}} = (\mu_{\text{med}} / \mu_{\text{air}}) \cdot D_{\text{air}} \cdot X(R)$$

define f-factor = $(\mu_{\text{med}} / \mu_{\text{air}}) \cdot D_{\text{air}}$

$$D_{\text{med}} = f \cdot X(R)$$

$$D_{\text{med}} = f \cdot X(R)$$

hava için $f = 1$ yaklaşık $X = 1 R$.

<u>Energy (KV)</u> <u>applied between the cathode</u> <u>and anode of the x-ray machine</u>	f - factor (rad/R)			
	<u>air</u>	<u>water</u>	<u>muscle</u>	<u>bone</u>
100	0.87	0.91	0.94	3.1
250	0.87	0.96	0.96	1.42
400	0.87	0.97	0.97	1.11

$$D_{\text{med}} = f.X(R)$$

100 KV X-ışınları için:

Işınlama dozu $X(R) = 100 \text{ R}$ buradan

$$D_{\text{muscle}} = f.X(R) = 0.94(\text{rad/R}) \times 100\text{R} = 94 \text{ rads}$$

$$D_{\text{bone}} = f.X(R) = 3.1(\text{rad/R}) \times 100\text{R} = 310 \text{ rads}$$

400 KV X-ışınları için:

$X(R) = 100 \text{ R}$ then

$$D_{\text{muscle}} = f.X(R) = 0.96(\text{rad/R}) \times 100\text{R} = 96 \text{ rads}$$

$$D_{\text{bone}} = f.X(R) = 1.11(\text{rad/R}) \times 100\text{R} = 111 \text{ rads}$$

100 KV X-ışınları için kemik yumuşak dokuya göre üç misli daha fazla enerjiyi absorblamaktadır. Fakat 400 KV X-ışınlarında ise kemik ve yumuşak doku tarafından absorblanan enerji hemen hemen aynı miktarda olmaktadır. Bu durumda yüksek enerjili X-ışınlarının olduğu bir görüntülemeye de kemik ve yumuşak doku ayırd edilemeyebilir.

Radyasyonun insanda eşdeğeri :

$$D(\text{rem}) = QF \cdot D(\text{rad})$$

$$D(\text{sievert}) = QF \cdot D(\text{gray})$$

$$1 \text{ gray} = 100 \text{ rads}$$

$$1 \text{ sievert} = 100 \text{ rems}$$

Radyasyon Tipleri

QF

x-rays, gamma rays

beta part. $E_{\text{max}} > 0.03 \text{ Mev}$ 1

beta part. $E_{\text{max}} < 0.03 \text{ Mev}$ 1.7

neutrons, protons 10

alpha part. 20

ağır part. 20

Doz Eşdeğeri (Rem ve SI deki birimi Sievert)

Rad çok kullanışlı bir doz birimi olmakla beraber, aynı dozda fakat değişik türdeki radyasyonlardan absorbe edilen dozların vücuttaki etkileri aynı olmamaktadır. Bu nedenle değişik radyasyonların biyolojik sistemlere olan etkisini göstermek için farklı bir birim kullanılır.

Doz eşdeğeri (rem) = absorbe edilen doz (rad) XQF

QF =kalite faktörü, radyasyonun tipine bağlı bir harabiyet etkisini gösteren bir faktör olmaktadır.

SI birim sisteminde ise eşdeğer doz (Sievert) ile tanımlanmaktadır.

Absorblanan doz ise Gray alındığında:

Doz eşdeğeri (Sievert) = absorbe edilen doz (Gy)XQF

1 Sievert = 100 rem olmaktadır.

QF	= x, gama ve beta için	1
	yavaş nötron	3
	hızlı nötron	10
	alfa partikülü	20

Örnek:

Bir kimse ani olarak ^{32}P den yayınlanan negatronlardan yaklaşık 10 mGy ortalama dozu almıştır. mSv cinsinden doz eşdeğeri ne olur?

$$\begin{aligned} D(\text{mSv}) &= 10 \text{ mGy} \times 1.0 \\ &= 10 \text{ mSv}. \end{aligned}$$

gamma ışınları için:

$$Q = 1 ;$$

$f(\text{rad/R}) = 0.97$ yumuşak doku için ve
1.1 kemik için

Böylece, yaklaşık olarak kemik ve yumuşak doku için $f=1$ ve

If exp. dose $X(\text{R}) = 1 \text{ R}$, buradan,
Rad cinsinden absorbe edilen doz

$$D(\text{rad}) = 1 \text{ rad}$$

$$D(\text{rem}) = 1 \text{ rem}$$

gama ışınları için:

$$Q = 1 ;$$

$f(\text{Gy/R}) = 0.0097$ (yumuşak doku) -
0.01 (kemik)

If $X(\text{R}) = 1 \text{ R}$,

$$D(\text{Gy}) = 0.01 \text{ Gy}$$

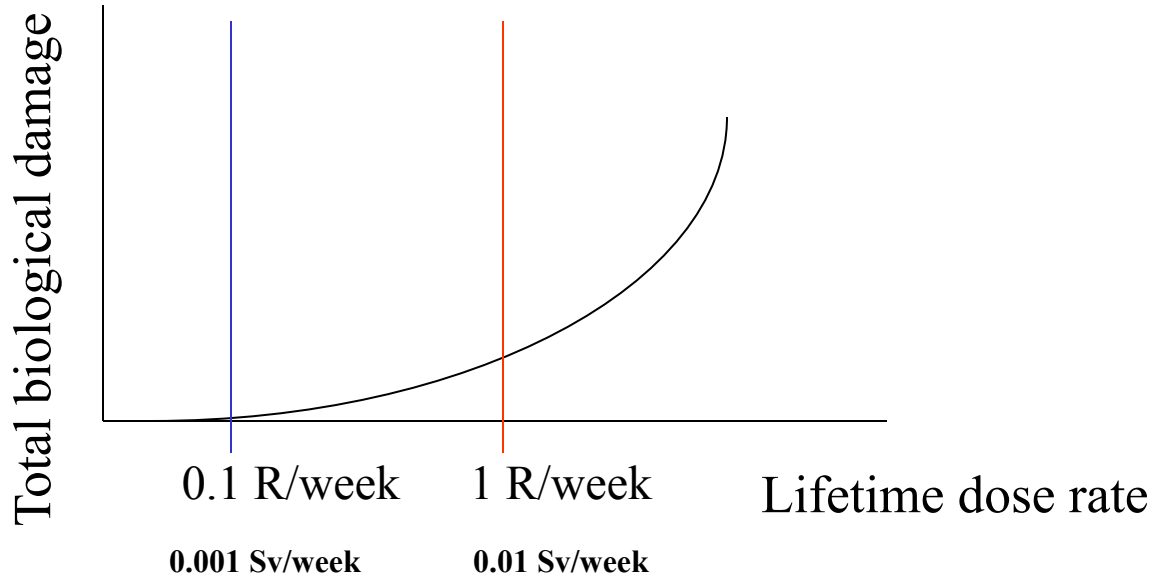
$$D(\text{Sv}) = 0.01 \text{ Sv}$$

1 R eşdeğeri 1 rem veya 0.01 Sv

Radyasyondan Korunma:

Amaç: Radyasyonun faydalı uygulamalarını önlemeye gerek duyulmadan toplum ve kişilere radyasyonun risklerinin kabul edilebilir bir seviyede kalmasını sağlayacak korunma standartlarını yerleştirmektir..

Toplam biyolojik hasar çeşitli etkilerin, örneğin, ölüm, genetik hasar, kısalan ömür süresi gibi faktörlerin toplamından meydana gelir.



Radyasyon ışınımının yarattığı bazı etkiler:

- * Radyasyonun cinsi ve miktarı
- * Işına maruz kalan vücut miktarı
- * Kişinin genel sağlığı
- * tıbbi uygulamanın kalitesi.

Işınlama (çekim) dozu oldukça yüksekse ise, bazı etkiler hemen görülürse de bazıları da birkaç gün içinde ortaya çıkar.
(acil etkiler).

Daha düşük çekim dozlarında ise, etkiler hemen birkaç gün içerisinde görülmez. **(gecikmiş etkiler)**.

National Commission on Radiological Protection (NCRP; USA)
International Commission on Radiological Protection (ICRP; UK)

Radyasyonla çalışanlar veya meslekleri gereği ışınli alanlardakiler için

Maksimum Müsaade edilen Doz (MPD): 5 rem/yıl (0.05 Sv/yıl)

MPD= 5x(N-18) (rem); N, yaş. Biriken doz

Genel Halk için:

0.5rem/yıl (0.005 Sv/yıl)

cumulative dose should not exceed **0.1 rem/year** averaged over a lifetime.

Ortamin Radyasyonu(background):

- * Doğal kaynaklar radyoaktif elementlerden oluşan kayalar.
- * Kozmik ışınlar(yükseklikle artmaktadır, 100-200 mrem/yıl)
- * Vücuttaki radyoaktif elementlerden alınan radyasyon.
40K (β, γ) 1.3×10^9 yıl

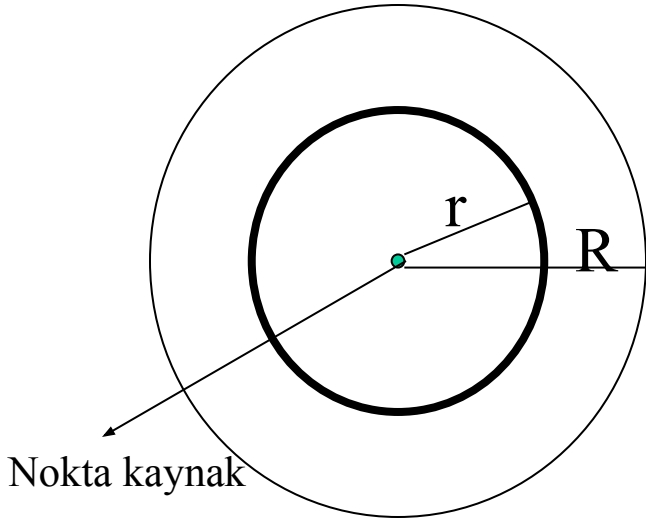
Eşdeğer doz hızı (mSv/yıl)

<u>Kaynak</u>	<u>bronchial epi.</u>	<u>Yumuşak doku</u>	<u>kemik yüzeyi</u>	<u>kemik iliği</u>
cosmic	0.27	0.27	0.27	0.27
terrestrial	0.28	0.28	0.28	0.28
inhaled	24.0	-	-	-
in the body	0.35	0.35	1.1	0.50
rounded				
total	25	0.9	1.7	1.1

Eksternal Gama Işını Yayan Kaynaklardan Korunma Mekanizmaları

- 1.Radyasyonlu ortamda kalma süresini azaltma (zaman)**
- 2.Radyasyon kaynağı ile ortamda bulunan kişinin arasındaki uzaklığın arttırılması (uzaklık)**
- 3. Radyasyonu absorblayıcı madde (ekran,bariyer) kullanılması (ekranlama)**

Radyasyon kaynağından olan uzaklığın arttırılması ile radyasyon şiddetindeki (enerjisindeki) azalma miktarı matematiksel olarak **ters kare kanununa göre hesaplanabilir.**



Radyasyon kaynağı yarıçapı r olan kürenin merkezinde nokta kaynak şeklinde bulunacak olursa, kürenin yüzeyi $4\pi r^2$ ve bu yüzeyden 1cm^2 lik alan başına yayılan enerji de

$1/4\pi r^2$ ile değişecektir.

Yüzeyi daha da genişletirsek yarıçap R olursa bu defa yayılan enerji $1/4\pi R^2$ ile değişecektir.

Nokta kaynaktan olan uzaklığın karesi ile radyasyon enerjisi ters orantılı olarak değişmektedir.

Yalnızca uzaklıkla radyasyon enerjisinin zayıflatılması yeterli olmaz. Bunun için ekranlamak (bariyer koyarak enerjinin azaltılması yada tutulması) gerekir. Bu amaçla kurşun veya diğer ağır metallerden yapılan tabakalar ekran olarak kullanılır.

Kullanılacak kurşun veya diğer madde tabakalarının **kalınlığı** da, **çekirdeğin özelliğine**, **gama radyasyonunun enerjisine**, o ortamda bulunan kişiden **uzaklığa**, gelebilecek ekspozüre (ışınlama) dozunun **süresine** ve **spesifik gama sabitine** Γ ya bağlı olacaktır.

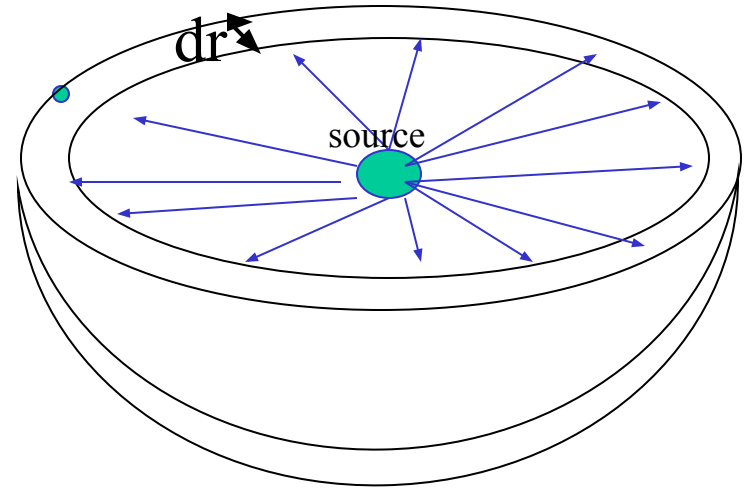
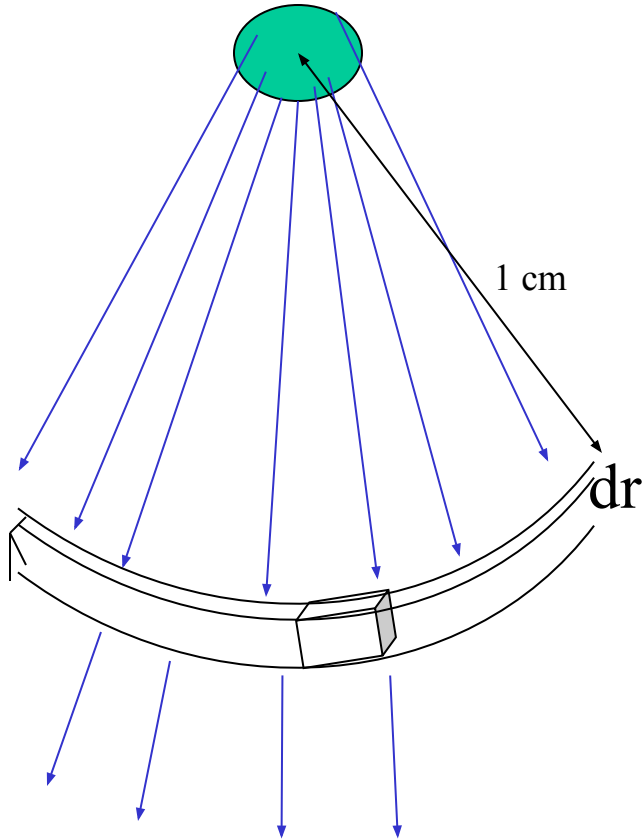
Eksternal Gama Işını Kaynağı:

Önceleri, radyoaktif maddelerin yayınladığı alfa ışını ve beta partiküllerinin kaynağı ve bulunulan konum arasında belirli bir uzaklık bulunuyorsa bu durumda ışınların tehlikeli olmadığı düşünülüyordu. Bununla beraber gama ışınları uzaklığa bağlı tahrip edici etkiler yaratabilmektedir. Çevremizde kullandığımız gama ışını kaynağı olabildiği gibi vücuda yerleştirilmiş tedavi amaçla kullanılan kaynaklar da bulunabilmektedir. Bu yüzden verilen bir uzaklıktaki ışınlama ya da çekim dozunu bilmek çok önemlidir.

Aktivitesi 1 mCi olan nokta şeklinde gama ışını kaynağının bulunduğunu düşünelim. Havada, ilerleyen gama (fotonlar) ışınları küresel olarak yayılırlar, şiddetleri de $1/r^2$ ile orantılı olarak azalır.

External Gama Işını Kaynağı:

1 mCi-nokta kaynak



Gama ışınları küresel olarak yayılır, şiddeti de $1/r^2$ ile orantılı olarak azalır.

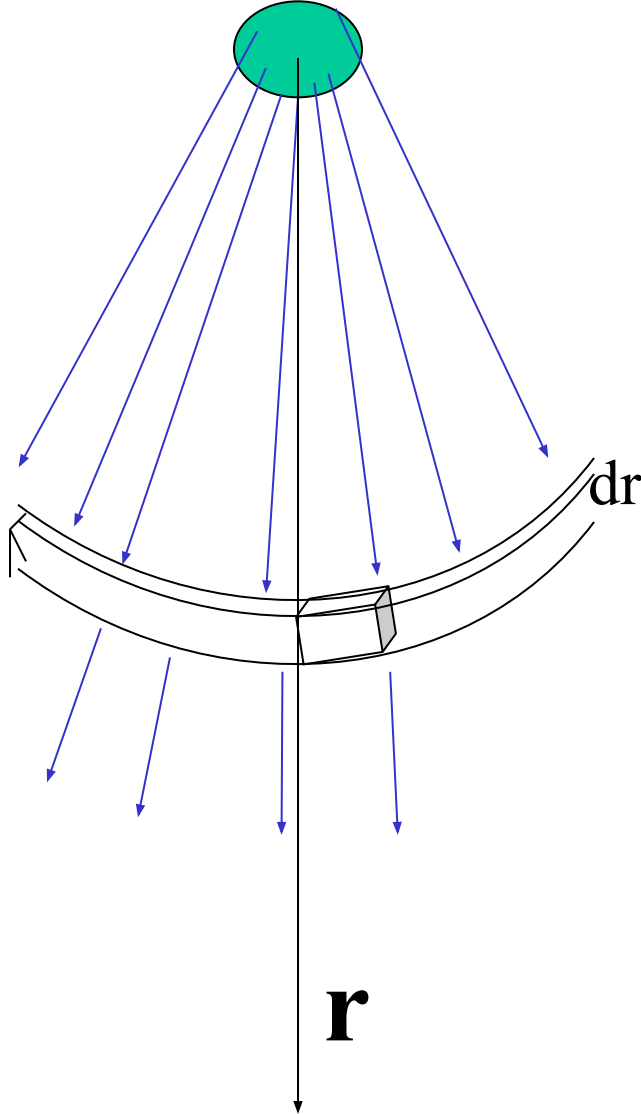
1 mCi aktivitedeki bir nokta kaynaktan 1 cm deki ışınlama hızı Γ olarak tanımlanır.

$$\Gamma = 1.51 \times 10^5 \cdot E_{\gamma} \cdot \mu R \cdot \text{cm}^2/\text{saat}/\text{mCi} \quad 1 \text{ cm de}$$

Nokta şeklinde radyoaktif numuneden 1 cm uzaklıkta $R \cdot \text{cm}^2 / \text{mCi} \cdot \text{saat}$ olarak verilen ışınlama hızı (çekim hızı), **Γ spesifik gama sabiti** olarak adlandırılır.

Herhangibir uzaklıktaki ışınlama (çekim) hızı:

1 mCi-nokta kaynak



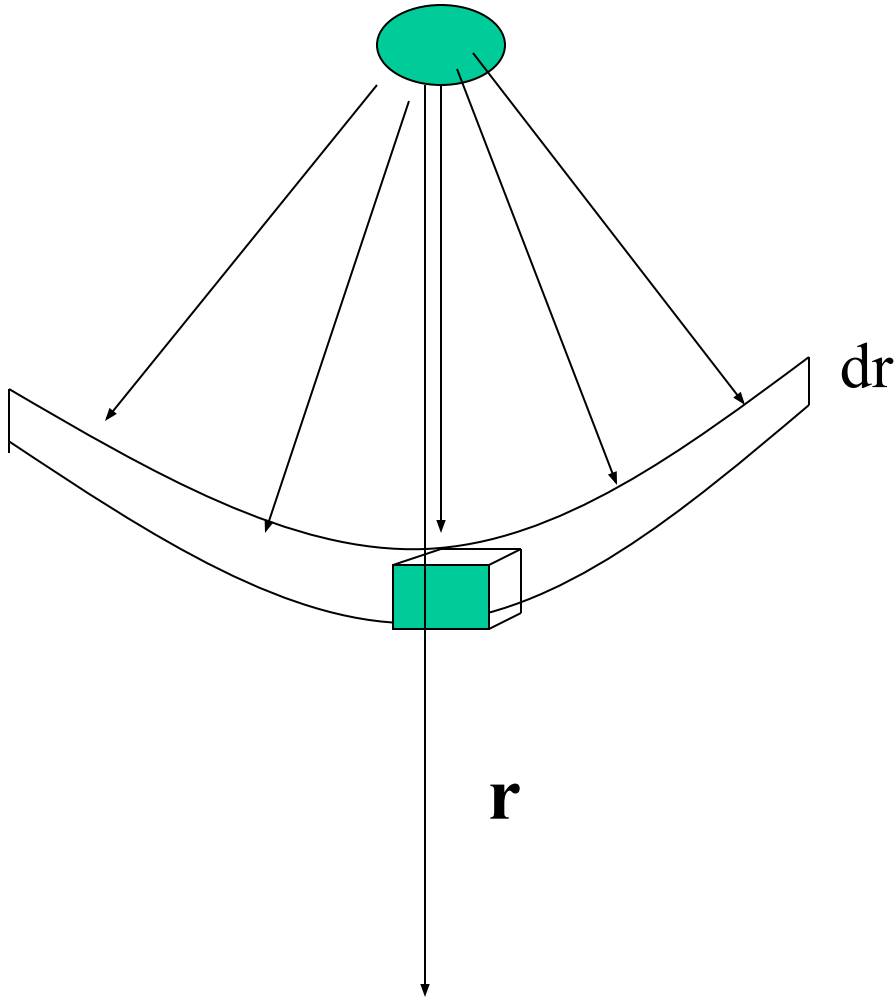
Fotonlar küresel olarak ilerledikleri için, herhangi bir uzaklıktaki şiddette $1/r^2$ ye göre azalacaktır. Çekim hızı da böylece $1/r^2$.ye bağlı olarak azalır. Herhangibir andaki çekim hızı numunenin toplam aktivitesine bağlı olacaktır.

İşınlama hızı = $\Gamma \cdot A / r^2$
A nın aktivitesi mCi alınırsa.

$r = \text{cm}$

Çekim Hızı

1 mCi-nokta kaynak

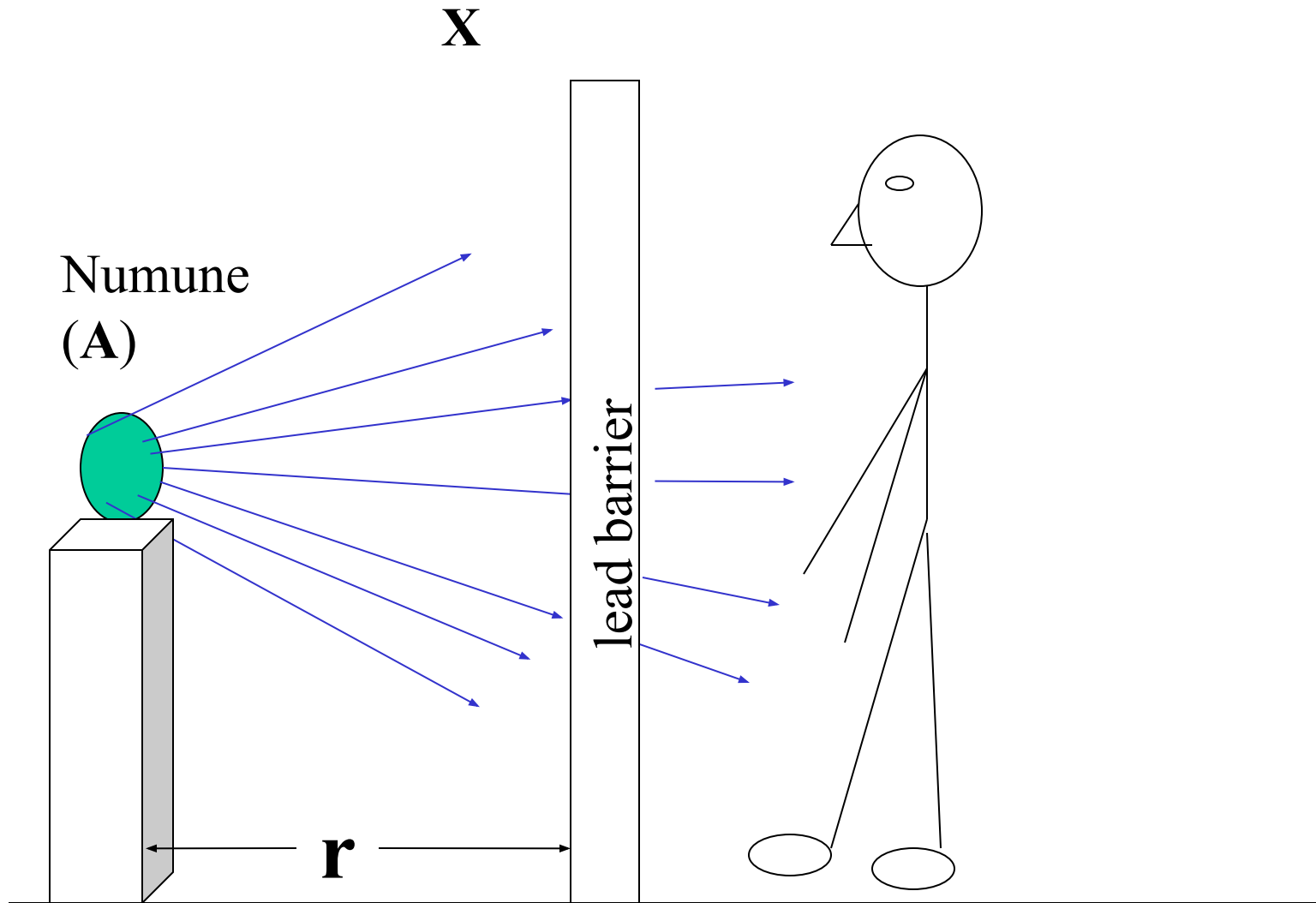


$$\text{Ekspoze hız} = \Gamma \cdot A / r^2$$

A kaynağın aktifliği mCi
cinsinden alınmaktadır.
 $r = \text{cm}$ olmaktadır.

Ekspoze hız = R/saat.
 $A = \text{mCi}$, $r = \text{cm}$
 $\Gamma = \text{R} / \text{mCi.saat.cm}$

Ekspoze Hız (Exposure rate)



Örnek:

Laboratuvarda, aktivitesi 20 mCi olan ^{24}Na tuzu bulunmaktadır. Bilindiği üzere ^{24}Na enerjileri 2.75 ve 1.37 Mev olan iki gama ışını yayınlar.

^{24}Na dan yayınlanan gama ışınları için spesifik gamma sabiti 1.9 R/saat.mCi olmaktadır.

-
- **Kaynaktan 40 cm uzakta radyasyon ekspozite dozu ne olacaktır?**
- **^{24}Na dan çıkan gama ışınları için yarı değer kalınlık 1.6 cm kurşundur. Zayıflatma katsayısını bulunuz..**
- **Ekspozite hızı müsaade edilen 2.5 mR/saat doz değerine düşürmek için kullanılan kurşun levhanın kalınlığı, ne olur?**

Örnek2:

^{198}Au için 1cm de spesifik gama sabiti $2.3 \text{ R.cm}^2/\text{saat.mCi}$ dir.

Radyoaktif altının aktivitesi 40 mCi olarak verilmişse,

-Kaynaktan 60 cm uzaklıkta ekspozite dozu hesaplayınız.

-Altının yayınladığı gama ışınlarının yarısını durduran kalınlık HVL 0.3 cm kurşundur. Bu gama ışınları için lineer zayıflama katsayısı ne olur?

-60 cm deki ekspozite hızı 2 mR/saat değerine indiren kurşun tabakasının kalınlığı ne kadardır?

Referanslar:

- 1. Edward L.Alpen
Radiation Biophysics Second Edition
Academic Press 1998.**

- 2. Max H. Lombardi
Radiation Safety in Nuclear Medicine
CRC Press LLC 1999.**