



RADYASYON

Yrd. Doç. Dr. Aslı AYKAÇ

YDÜ Tıp Fakültesi

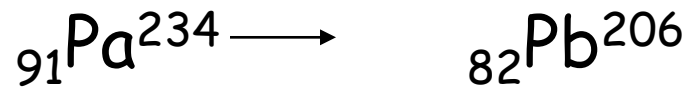
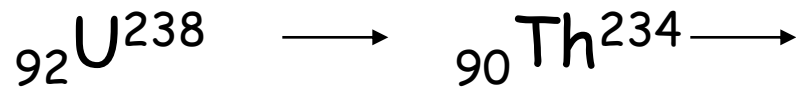
Biyofizik AD

Radyasyon uzayda ya da madde içinde parçacık ya da dalga biçiminde enerjinin yayılması olarak tanımlanır

Radyoaktivite

Doğal
(Uranyum-238)

Yapay
(Sezyum-137)



(Doğal Parçalanma)

Doğal radyasyon

- Kozmik ışınlar
- Yeryüzünün kendisi- kayalar, granit, radon gazı..
- İnsan vücudu- ^{40}K

Yapay radyasyon

- Nükleer reaktörlerden- ağır elementler n ya da e ile bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi sonucu radyasyon yayarlar
- Diagnostik – X ışını tüpleri

Doğal ve yapay radyasyonun her ikisinin de iki tipi vardır

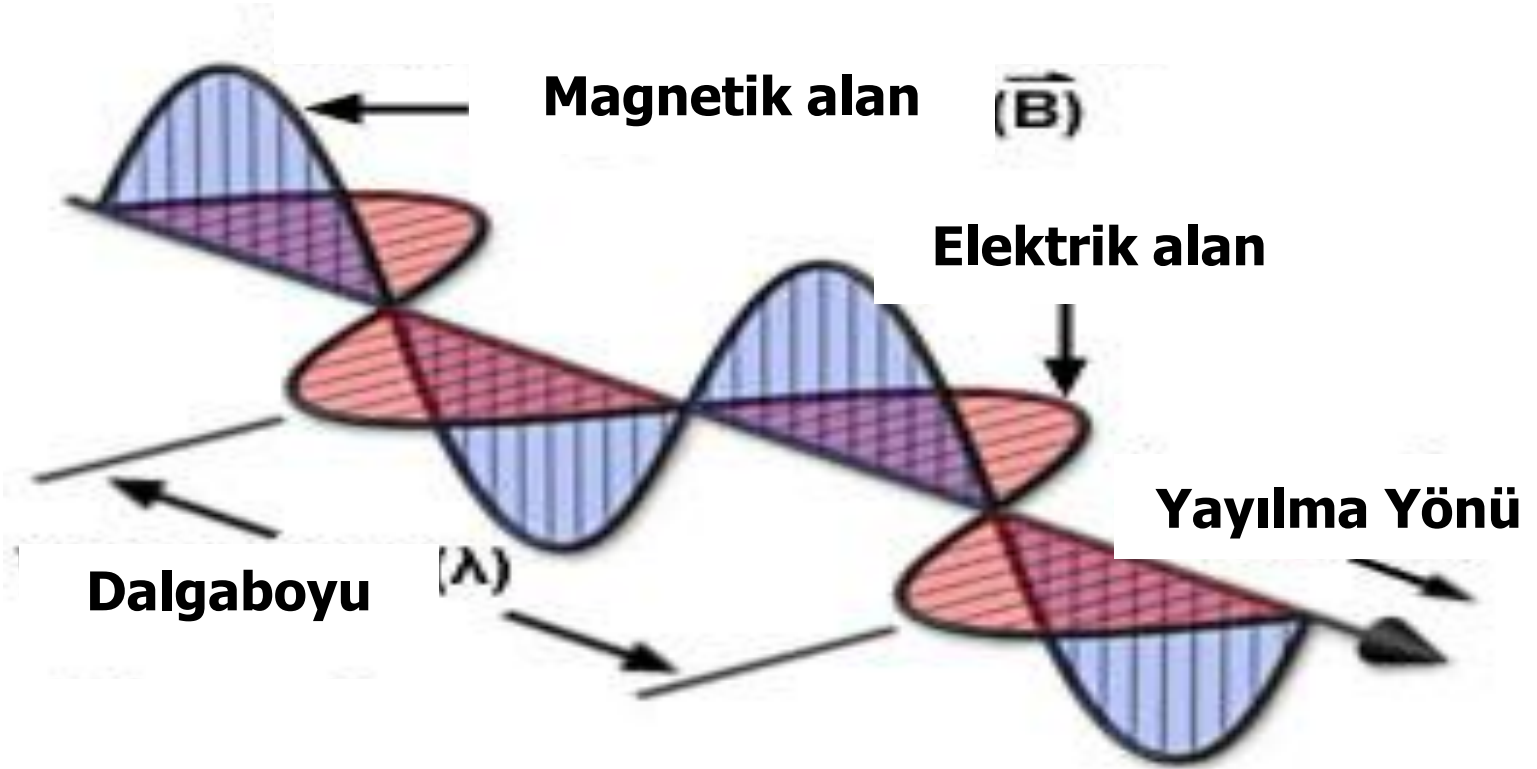


**Elektromagnetik
(Dalga) Tipi
Radyasyon**

**Parçacık
Tipi Radyasyon**

- Vücuttaki ortamlara girişleri, parçalanmaları ve şiddetleri farklıdır

Elektromagnetik Dalgalar

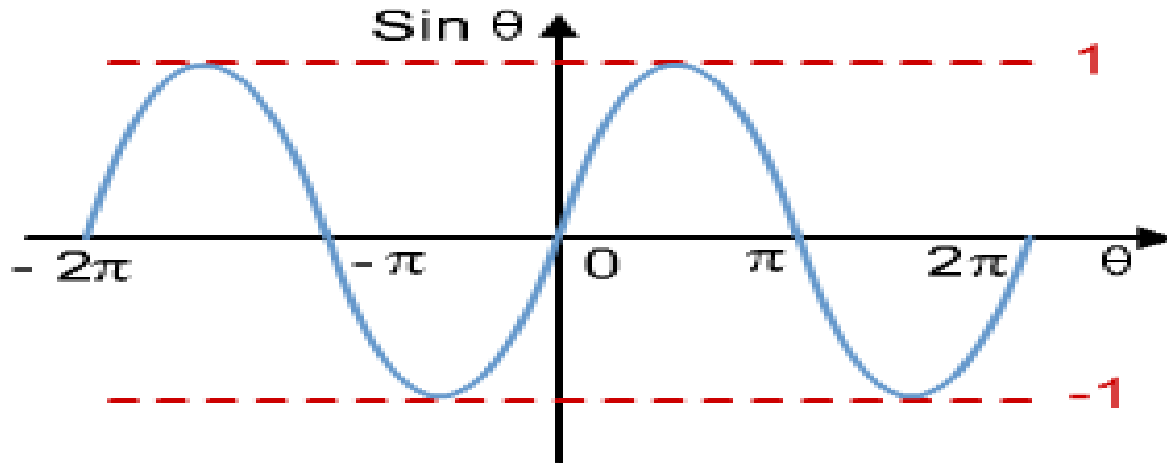


Elektromagnetik alan diyagramı

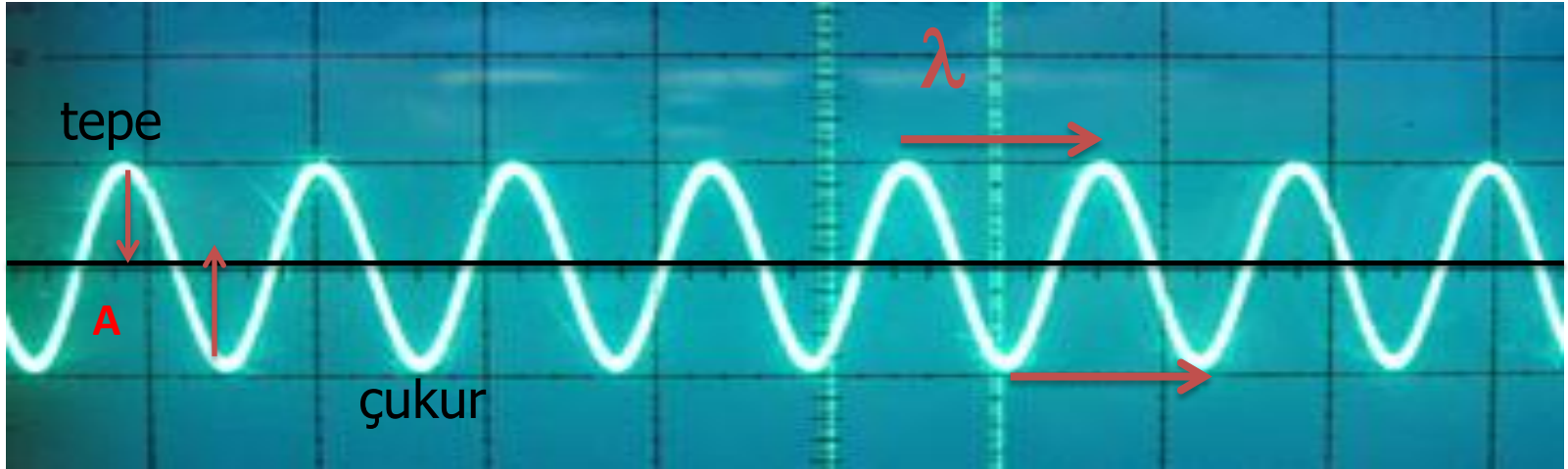
EMDlerin Karakteristik Özellikleri

EMDler

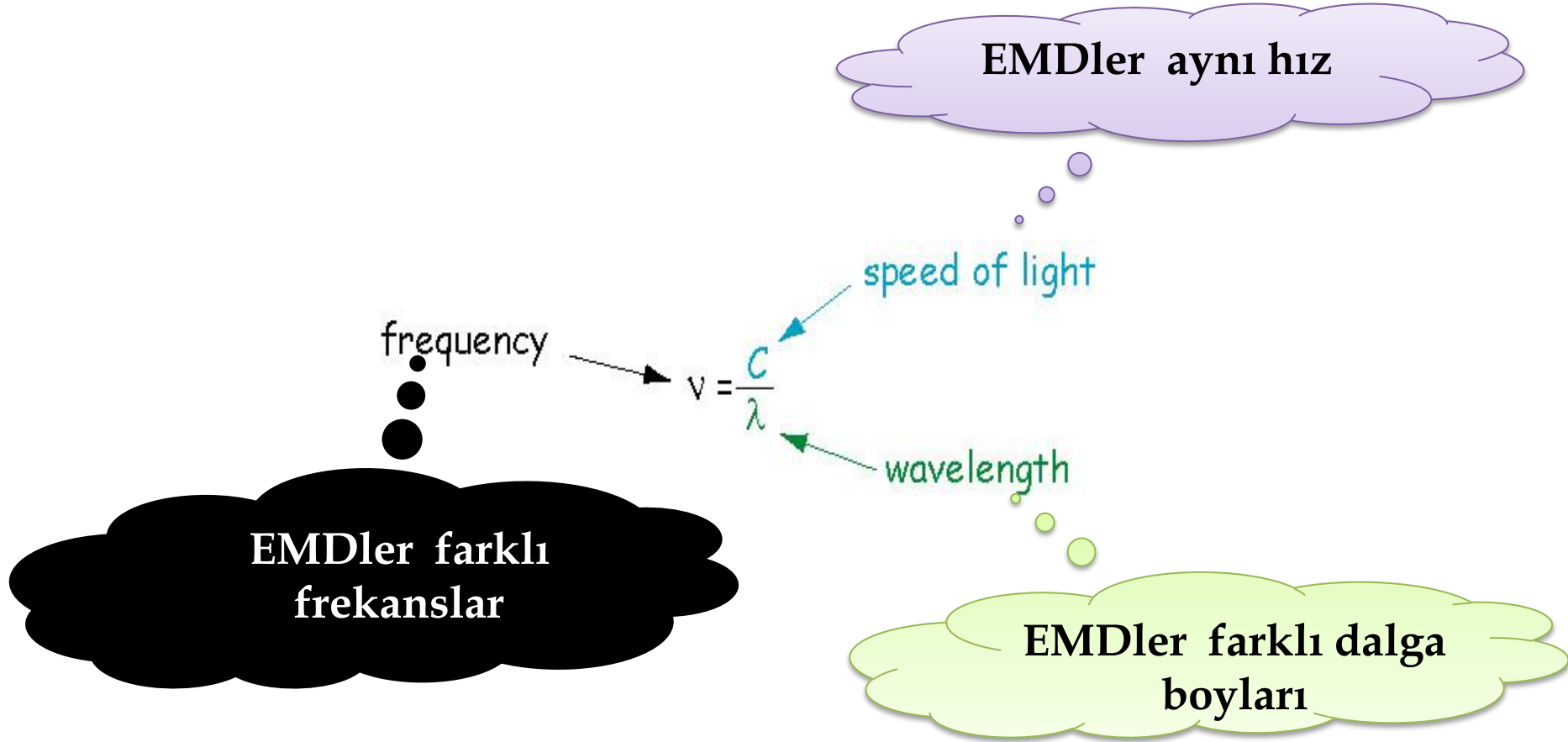
- enine (transverse) dalga
- boşlukta yayılır
- ışık hızında hareket eder
- **sinusoidal**



EMD dalgaları, dalga boyu- λ / frekans- ν / genlik (ya da yoğunluk)- A / enerji miktarı- E ile bağlantılı olarak karakterize edebiliriz



EMDlerin hepsi aynı hıza (ışık hızına) sahip AMA farklı özellikler gösterirler



λ : Dalga boyu

h : Planck's sabiti

$$6.626068 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

c : Işık hızı

Işık hızı = Dalga boyu \times frekans

$$c = \sim 300.000 \text{ km/s}$$

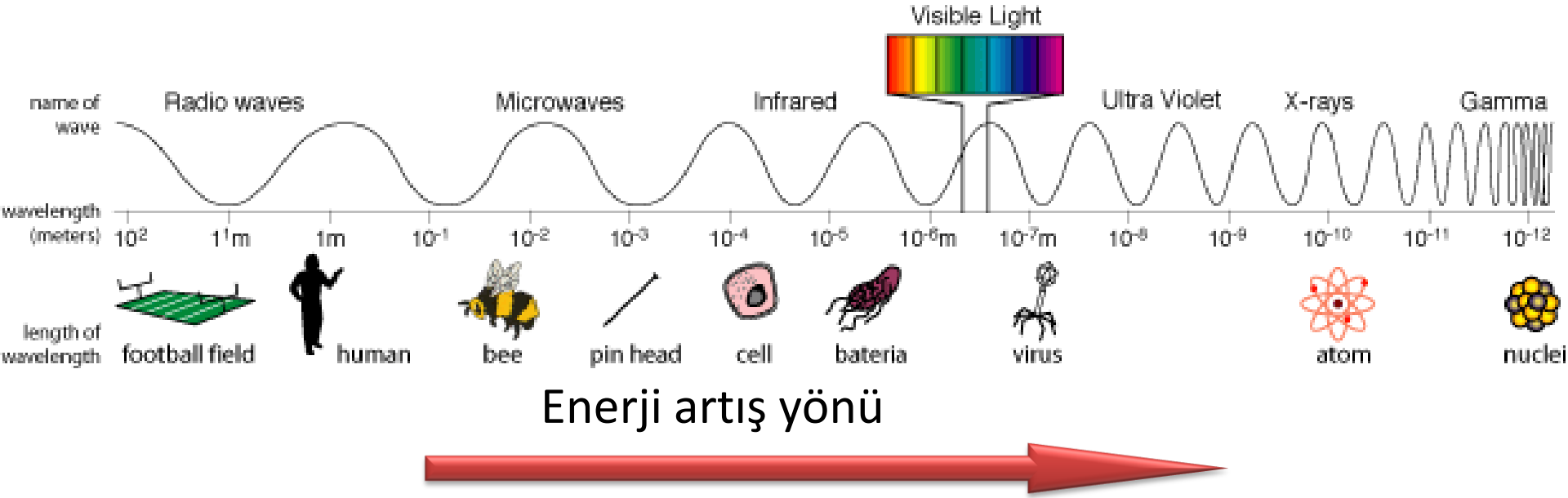
$$E = hf = hc / \lambda$$

❖ EMDlerin enerji değerlerini farklı

Birimler

Dalga boyu (λ)	Frekans (f ya da ν)	Dalga sayısı (n)
<ul style="list-style-type: none">• cm (10^{-2} m)• mm (10^{-3}m)• micrometer, μm (10^{-6} m)• Angstrom, A° (10^{-10} m)• Nanometer, nm (10^{-9}m)	<ul style="list-style-type: none">• Hz• MHz (10^3 Hz)• GHz (10^6 Hz)	<ul style="list-style-type: none">• $1/\lambda$• $(2\pi/\lambda)$• cm^{-1}

Elektromagnetik Spektrum



Düşük frekans

Yüksek frekans

$$E = hf = hc / \lambda$$

Uzun dalga boyu
Düşük frekans
Düşük enerji

$$E = h\nu = hc / \lambda$$

Kısa dalga boyu
Yüksek frekans
Yüksek enerji



Radio waves



Rabbits

Microwave



Move

Infra-red



In

Visible Light



Very

Ultra-violet



Unusual

X-rays



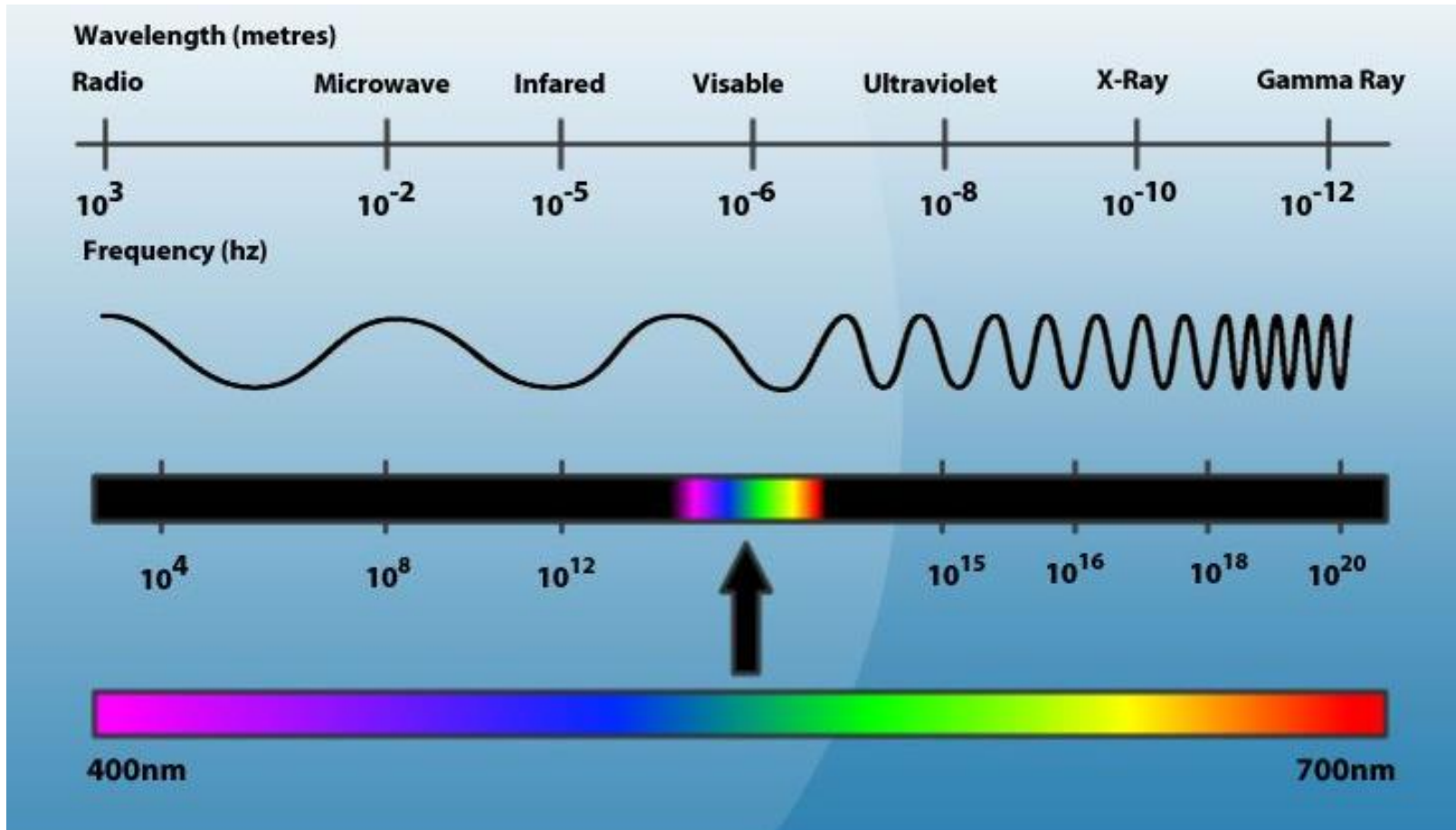
eXpensive

Gamma rays



Gardens

Elektromagnetik Spektrum



Maddenin Yapısı

- Nükleer tıbbın fiziksel temelini oluşturan radyasyon kararsız çekirdeklerin parçalanmalarının bir sonucudur
- Bütün elementler atomlardan oluşmuştur
- Atomlar
 - çekirdek
 - orbital

Çekirdek (Nükleus)

Proton

Atom çekirdeği

nükleon = p+n

n; yüksüz,

p; pozitif (1.6×10^{-19} C),

Atom numarası Z=p

Kütle numarası A=n+p

Elektron

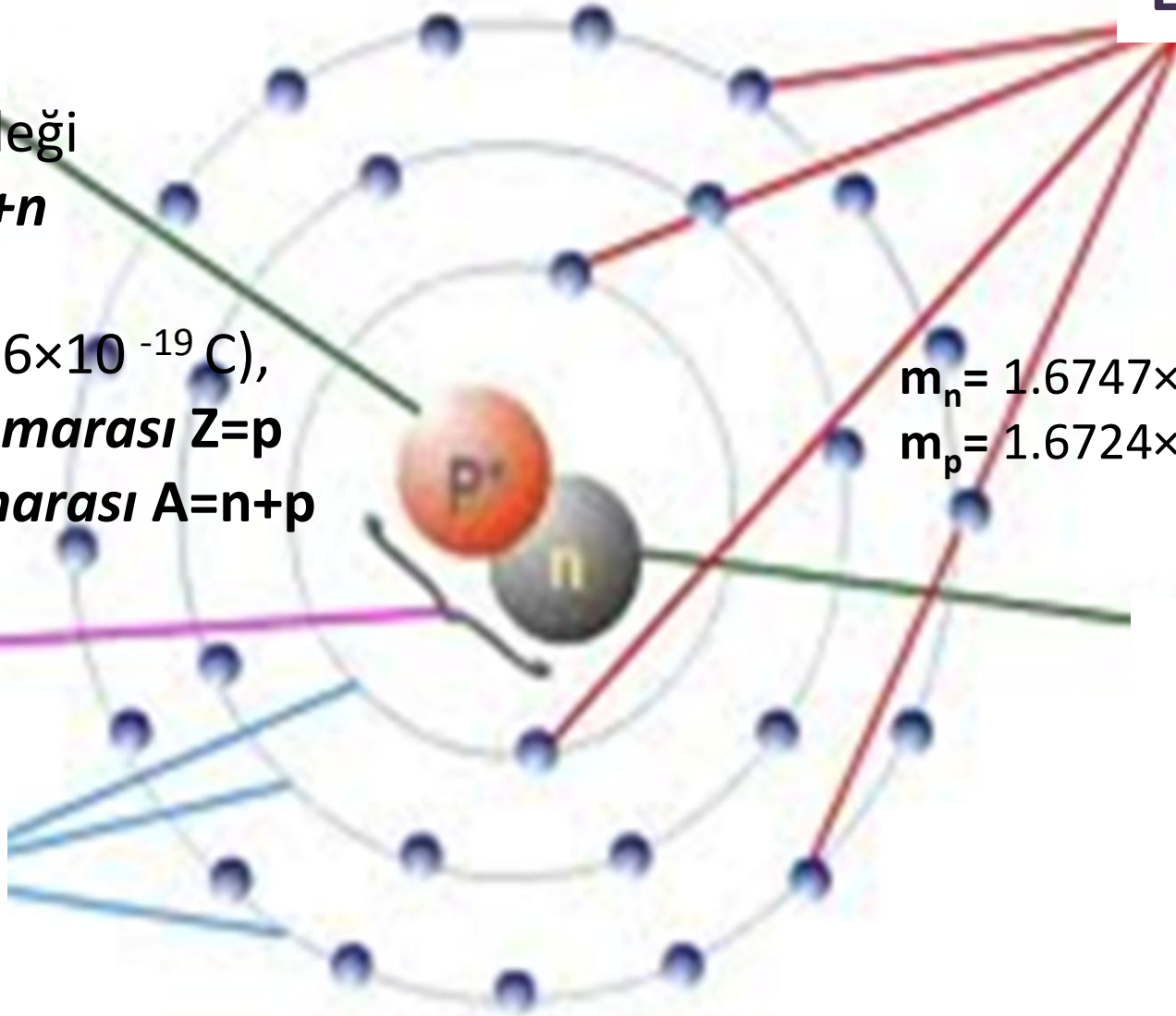
$$m_n = 1.6747 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_p = 1.6724 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

Çekirdek

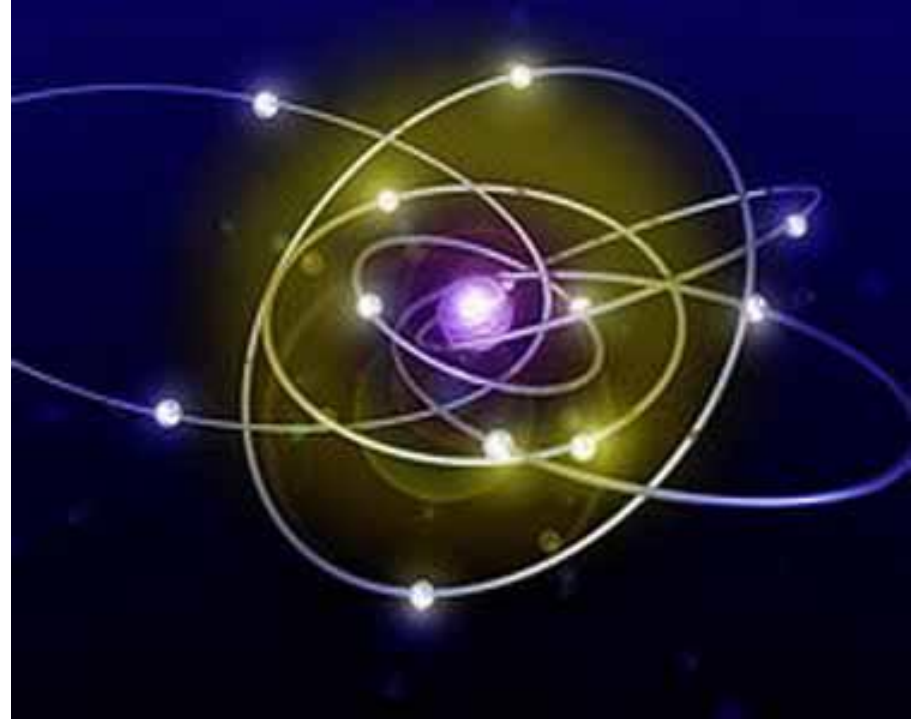
Nötron

Yörüngeler



Orbital

- yörüngelerde *elektronlar*
- e^- ; negatif yüklü
- $q_e = (-1.6 \times 10^{-19} \text{ C})$
- Valans elektronlar atomun kimyasal özelliklerini belirler
- e^- sadece bir orbitalden diğerine atladıkları zaman enerji kaybederler

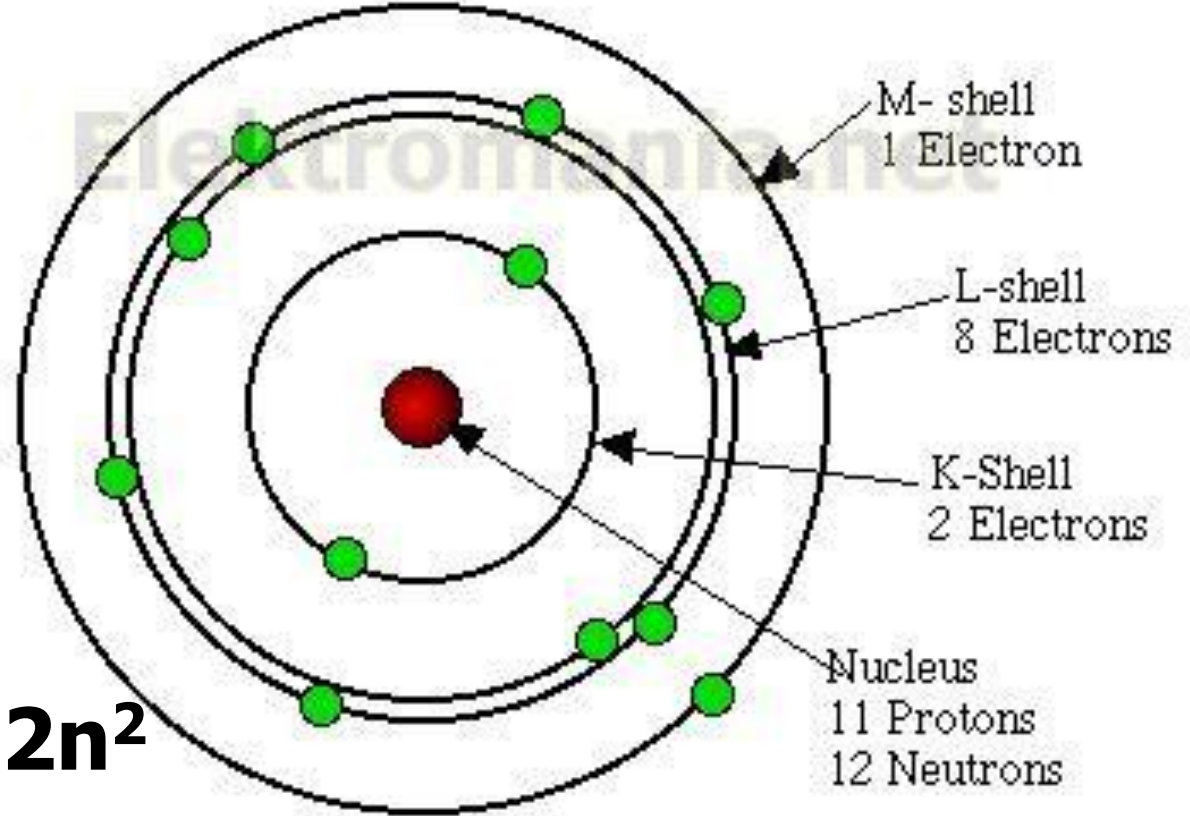


- ***K, L, M, N, O*** ... olarak adlandırılır.

– e⁻ sayısı

- K' da 2e⁻
- L' de 8e⁻
- M' de 18e⁻
- N' de 32e⁻
- O' da 50e⁻

- max e⁻ sayısı **$2n^2$**

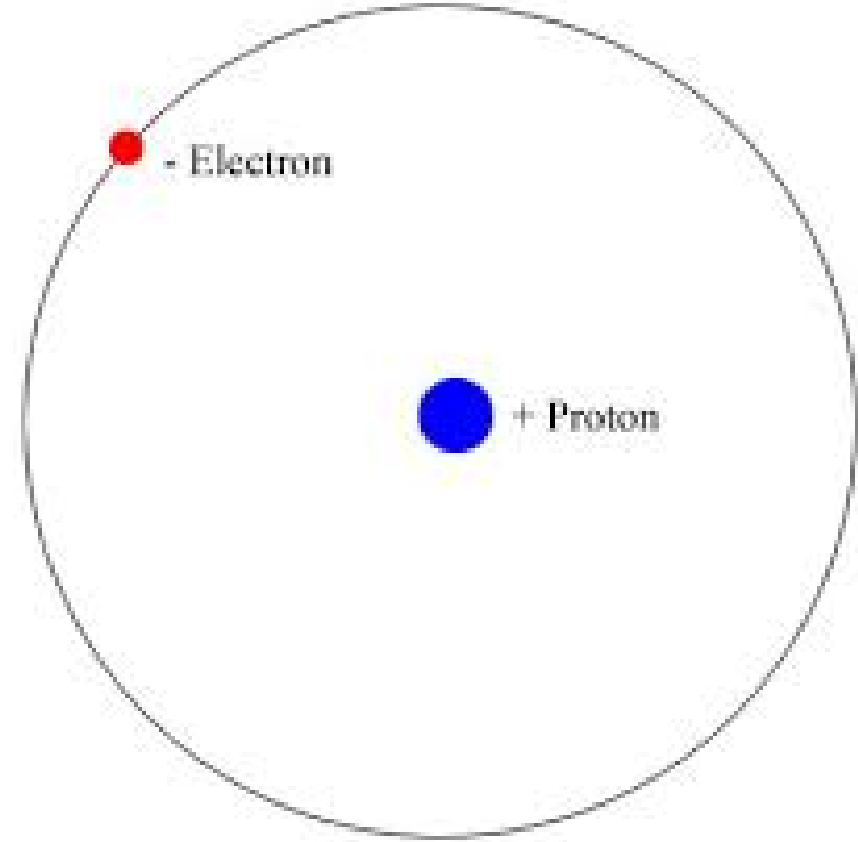


İdrogono/ müvellidülmâ

Hidrojen ^1H çekirdeği hariç bütün çekirdeklerde n ve p bulunur

n/p

- hafif izotoplarda 1
- ağır elementlere gittikçe artar
 - daha da artarak nüklidin artık kararlı olmadığı bir noktaya gelir
- Daha ağır nüklidler, dışarıya verecekleri fazla enerjileri olduğundan kararsızlardır. Bunlara ***radyonüklid*** denir

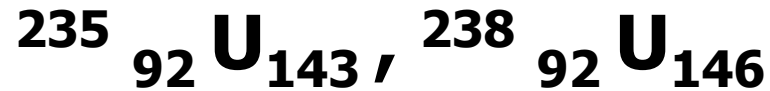


Çekirdeği stabil olmayan izotoplara, **RADYOİZOTOP (Radyonüklid)** denir

Atomların Değişik Formları

- **İzotop**

- p aynı, n farklı



- **İzoton**

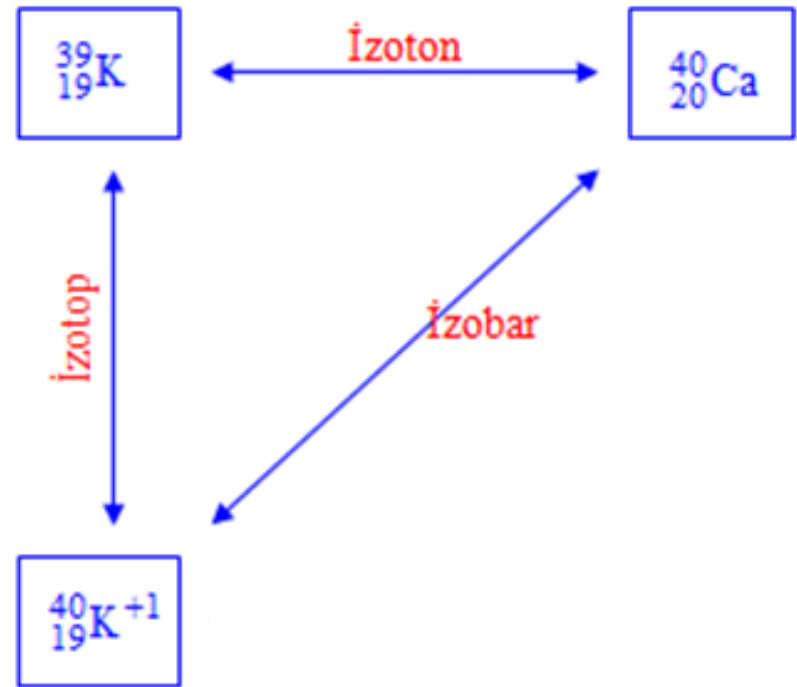
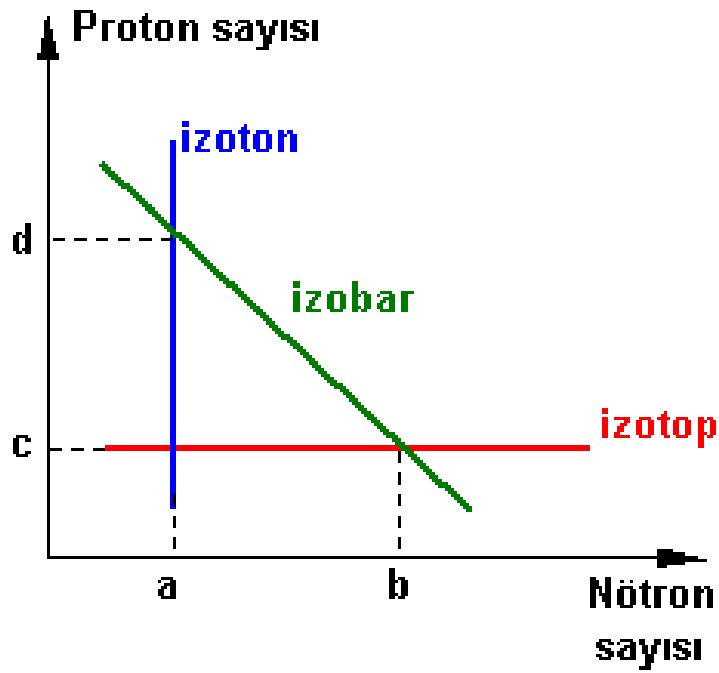
- n aynı; p farklı



- **İzobar**

- Kütle numarası aynı (Z), p ve n farklı





Atom çekirdeğinde kararlılık/kararsızlık, p-n sayıları arasındaki ilişki:

1- Z; 1-20 arasındaki atomların çekirdeklerinde $p=n$

2- Z; 20-83 arasındaki çekirdeklerde $n>p$

3- $Z > 83$ ' ten büyük olan elementlerin çekirdekleri kararsız olup radyoaktiftir

4- Z ve n sayısı çift olan atomların , Z ve n sayısı tek olan atomlara göre , daha çok sayıda kararlı izotopu vardır

5- En kararlı çekirdekler , hem n hem de p sayıları çift olanlardır. 0-8-20-28-50-82 p veya n sayısına sahip çekirdekler özellikle kararlıdır. Bu sayılara ***sihirli sayılar*** denir.

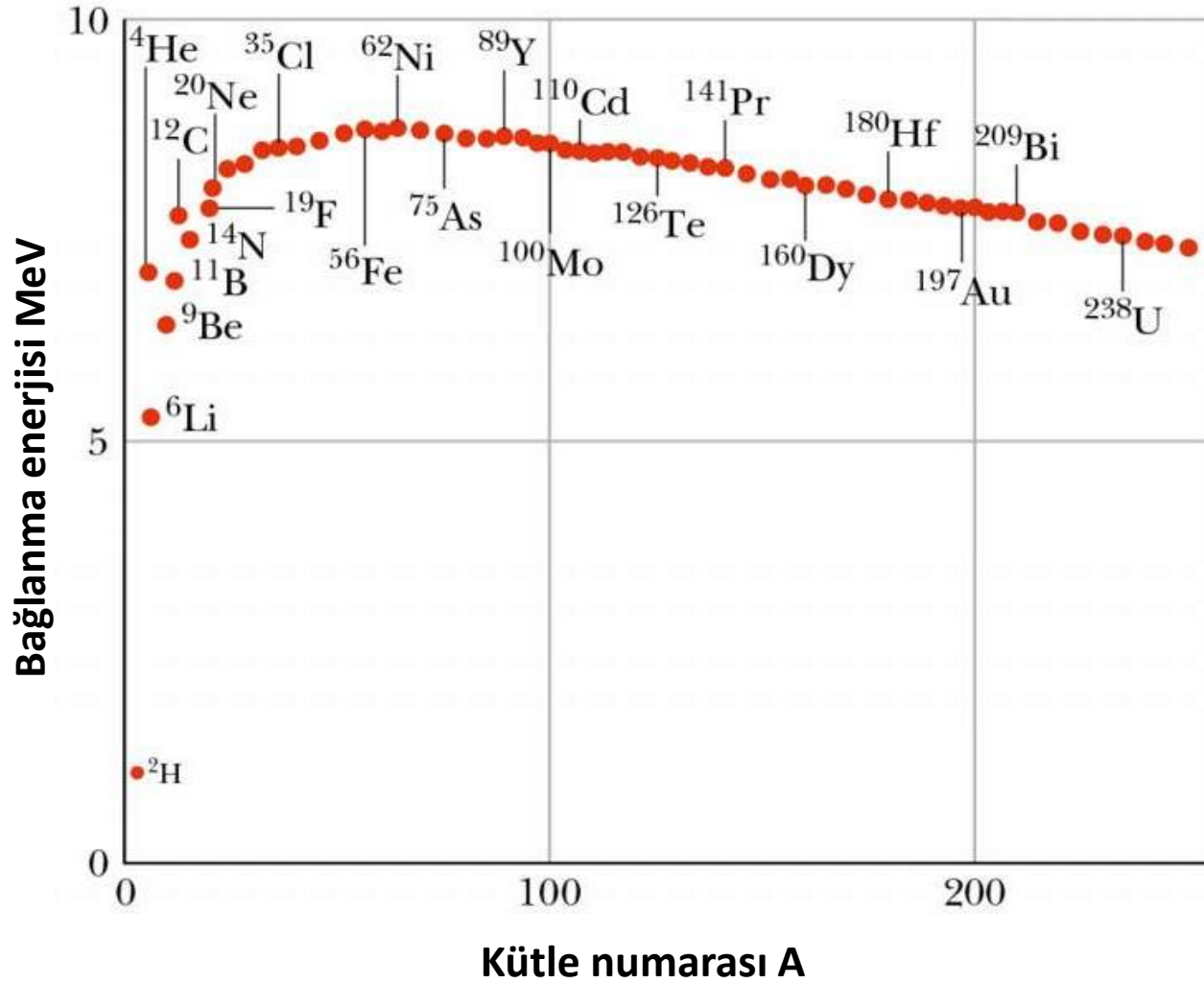
Atom çekirdeklerinin, parçalanmaya ve nükleer bozunmaya karşı dayanıklılığı "çekirdek kararlılığı" olarak tanımlanır.

- Genelde atom numarası 82 den büyük olan parçacıklar doğada radyoaktif olarak bulunur. Doğada 4 radyonüklid seri bilinmektedir
 - **Thoryum serisi**, Kurşun 208 e kadar
 - **Aktinyum serisi**, kurşun 207 ye kadar
 - **Uranyum 238 serisi**, kurşun 206 ya kadar
 - **Neptunyum serisi** ise Bizmut 209 a kadar parçalanarak kararlı hale ulaşırlar

- Radyoaktif elementlerle uğraşmamızın sebebi proton sayısına bağlı olduğu kadar nötron sayısına da bağlı olan kararsızlık ve kararsızlığın bu elementlerin nasıl kararlı hale getirdiği

Bağlanma Enerjisi

- Bir elektronu (e^-) yörüngesinden sökebilmek için gerekli enerji
- K kabuğundan $1e^-$ söküldüğünde bir üst yörüngeden (L kabuğundan) $1e^-$ K kabuğundaki boşluğu doldurur
- L' den K ya e^- geçtiğinde iki yörünge arasındaki enerji (eV cinsinden) farkı X ya da γ -ışını olarak yayınlanır
 - Yayınlanan X ışını enerji, o yörüngedeki e^- nun yörünge bağlanma enerjilerinin farkına eşit olur



- Li ve C da sıçramalar var
Daha öncekiler düşük ve kararsız elementler
- Kütle numarası büyüdükçe bağlanma enerjisinde düşme oluyor
- Nükleon başına bağlanma enerjisi 7-8 MeV olursa sıkı bağlı
- En stabil olan demir (Fe)

Elektron Volt (eV)

- 1eV: 1 e⁻'nin 1V'luk potansiyel farkını geçmesiyle kazandığı enerjidir

$$1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

- K kabuğu için bağlanma enerjisi: 33.17 KeV
- L kabuğu için bağlanma enerjisi: 5.19 KeV

Atomik Kütle Birimi (a.k.b)

- Karbon atomunun $_{12}\text{C}$ 1/12'sine 1 akb denir
- Avagadro hipotezine göre, bir elementin 1 g'nın atom ağırlığında $6,02252 \times 10^{23}$ atom bulunur

- Einstein'ın Relativite teorisine göre

$$E = mc^2$$

$$1\text{akb} = 1.49 \times 10^{-10} \text{ Joule}$$

$$1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Joule}$$

$$1\text{akb} = 1.49 \times 10^{-10} / 1.6 \times 10^{-19} = 0.931 \times 10^9 \text{ eV} = 931 \times 10^9 \text{ eV}$$

1 akb'nin enerji karşılığı 931 MeV

Kütle Farkı

- Çekirdeğin bileşenlerinin (nükleonların) kütlelerinden hesaplanan kütle değeri, çekirdeğin ölçülerek bulunan kütlelerinden daha büyüktür
 - Hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki farka ***kütle farkı*** denir. Bu fark çekirdeğin bileşenlerini bir arada tutan enerji kaynağıdır
- Bağlanma enerjisi ***kütle farkının enerji eşdeğeri***dir

${}^4_2\text{He}$ çekirdeği ($p=n=2$)

- $m_{\text{He}} = 4.002604$ akb (He çekirdeğinin **ölçülen** değeri)

$$m_p = 1.007277 \text{ akb}$$

$$m_n = 1.008665 \text{ akb}$$

$$m_e = 0.00055 \text{ akb}$$

- ***Elektronlar bağlanma enerjisine katılmazlar***
- $m_{\text{He}} = 4.002604 - 2(0.00055) = 4.001504$ akb

${}^4_2\text{He}$ çekirdeği ($p=n=2$)

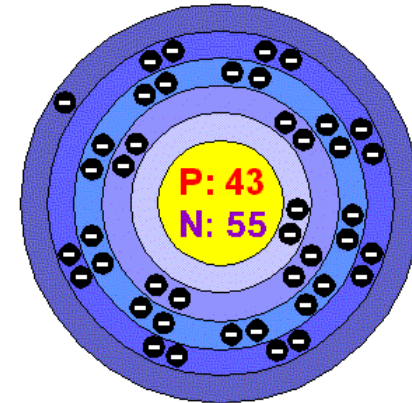
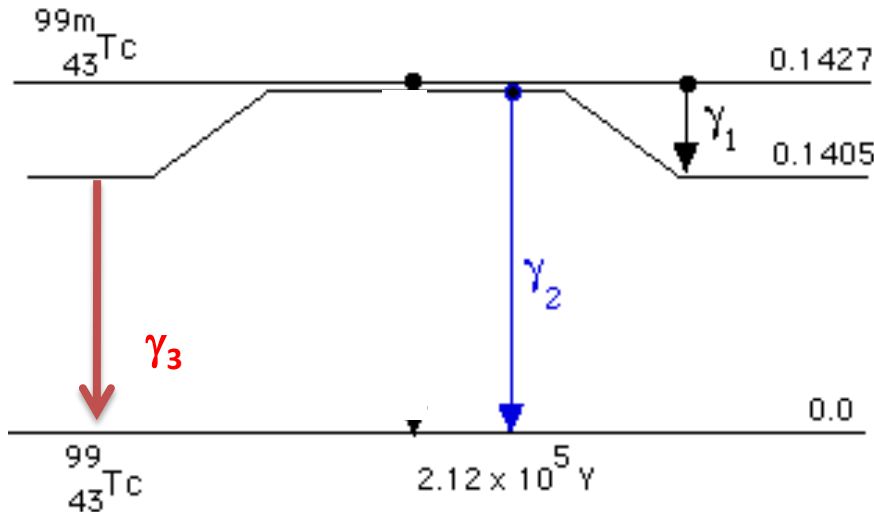
- $m_{\text{He}} = 2x m_p + 2x m_n$
- $m_{\text{He}} = 2x 1.007277 + 2x 1.008665$
- $m_{\text{He}} = 4.031884$ akb (He çekirdeğinin **hesaplanarak** bulunan kütlesi)
- Kütle farkı: $4.031884 - 4.001504 = 0.03038$ akb
- Bağlanma enerjisi = $0.03038 \text{ akb} \times 931 \text{ MeV/akb} = 28.3 \text{ MeV}$

Nükleer Çekirdek Modeli

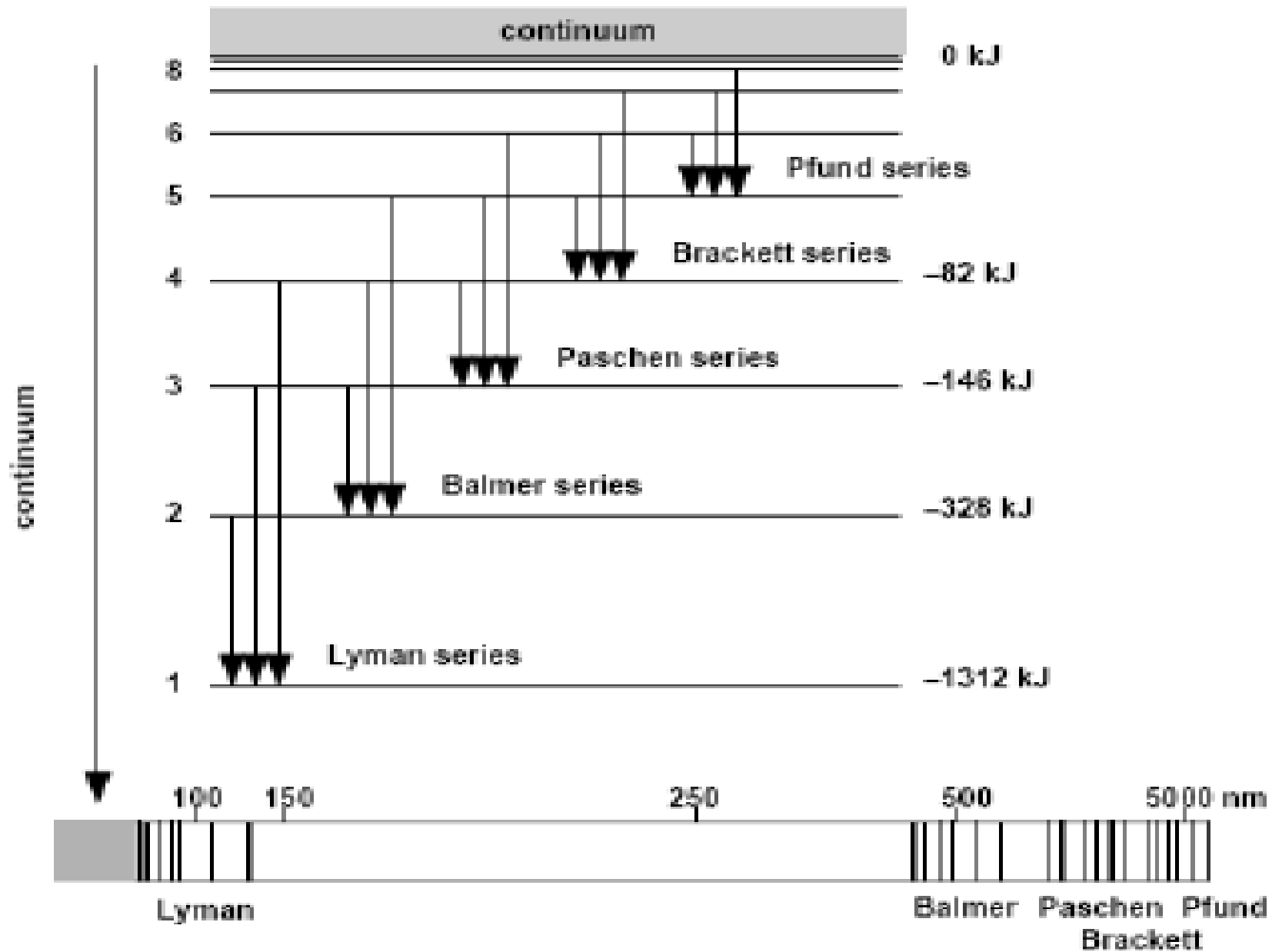
- Enerji düzeyleri çizgiler ile ifade edilebilir
- Bir enerji seviyesinden diğerine geçişler olabilir
 - En alt seviye taban seviye-kararlı durum
 - Taban seviyenin üstündeki bütün seviyeler uyarılmış seviyelerdir

Nükleer Enerji Seviyeleri

- Bir radyoaktif element
 - kararlı olabilmek için taban seviyeye ulaşmaya çalışır
 - gama yan ürün olarak ortaya çıkar



$^{99}_{43}\text{Tc}$
Teknetyum



Radyoaktivite

- İlk keşfedilen radyoaktif elementler periyodik tablonun son sırasında bulunan ağır elementlerdir
 - doğal radyoaktif elementler
 - $Z > 83$ ve $A > 209$
 - $^{238}_{92}\text{U}$, $^{232}_{99}\text{Th}$, $^{226}_{88}\text{Ra}$ ve $^{210}_{84}\text{Po}$

- Atom durağan olmayıp sürekli hareket halindedir
- Bütün çekirdekleri bir arada tutan ve çekirdekten kaçmasını önleyen çekim kuvvetleri vardır
 - BE ne kadar yüksekse nükleer kuvvet sayesinde nükleonlar o kadar sıkı tutulur
 - BE düşükse, çekirdek enerjetik bir parçacıkla karşılaştığı anda iç enerji dengesi bozularak kararsız hale geçer
 - Parçacık gerekli enerjiyi kazandıktan sonra çekirdekten hemen ayrılır

- Kararlı ve kararsız çekirdekler arasındaki en büyük fark,
 - kararlı çekirdeklerdeki çekim kuvveti parçacıkların buldukları yerden dışarı çıkabilmesi için gereken enerjiyi sağlamasına izin vermemesidir

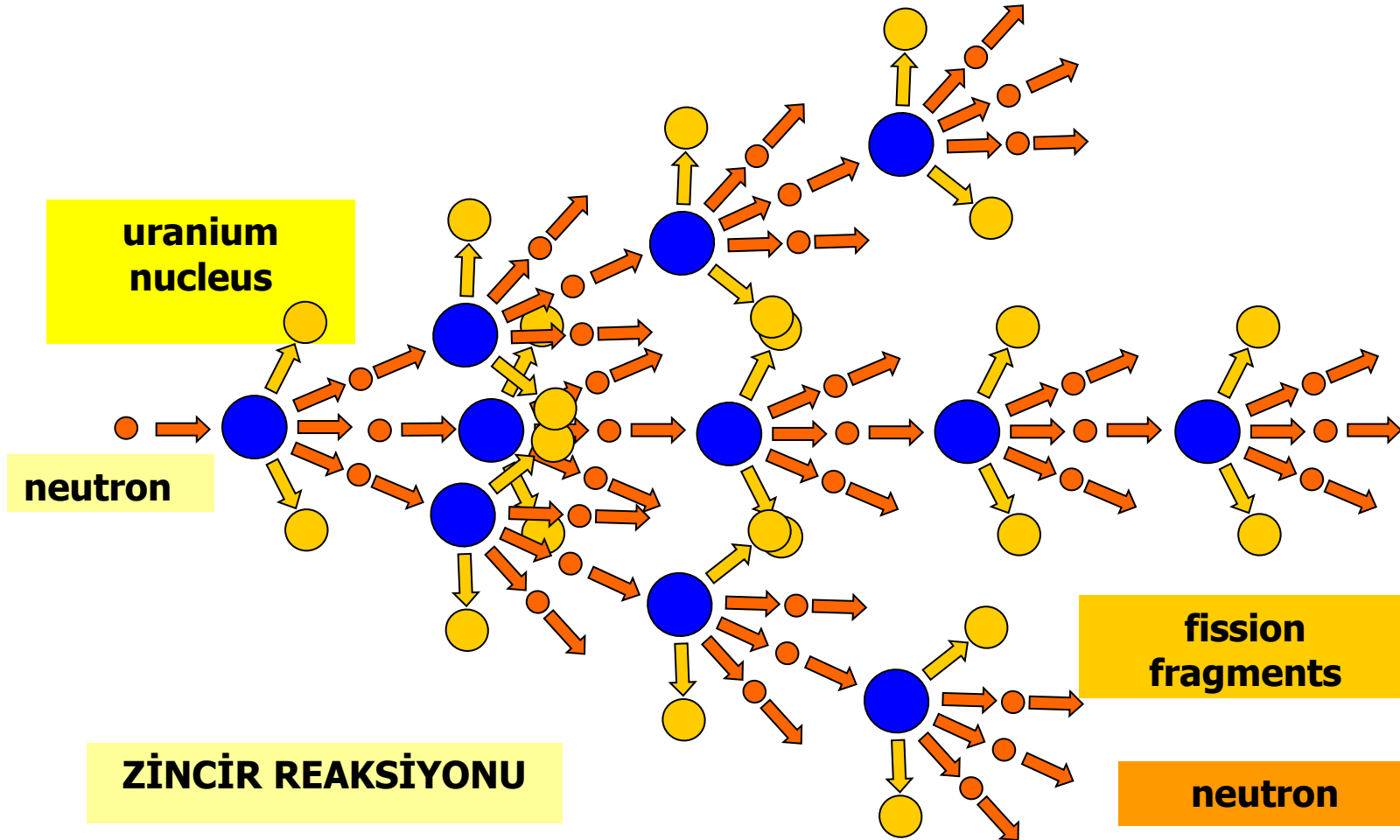
Radyoaktif Parçalanma

- Radyoaktif cisimlerin, parçalanarak aktivitelerini kaybetmeleri
 - Çok miktarda kararsız çekirdeğin belirli bir yüzdesi belli bir zaman içinde parçalanmaya uğrar. Bu ani parçalanma belirli bir periyot içinde çekirdeğin miktarda azalmaya neden olur

Element

- **kararsız** ise **kendiliğinde**,
 - **kararlı** ise **dışarıdan bombardıman** (yüksek enerjili protonlar, alfa parçacıkları ve nötronlar) ile çekirdeğin belirli bir yüzdesinde çok kısa bir zaman içerisinde parçalanma meydana gelir
- Zincirleme reaksiyonlar oluşur (kütle numarası daha düşük elementler)

Zincirleme reaksiyon



Yarı Ömür ($T_{1/2}$)

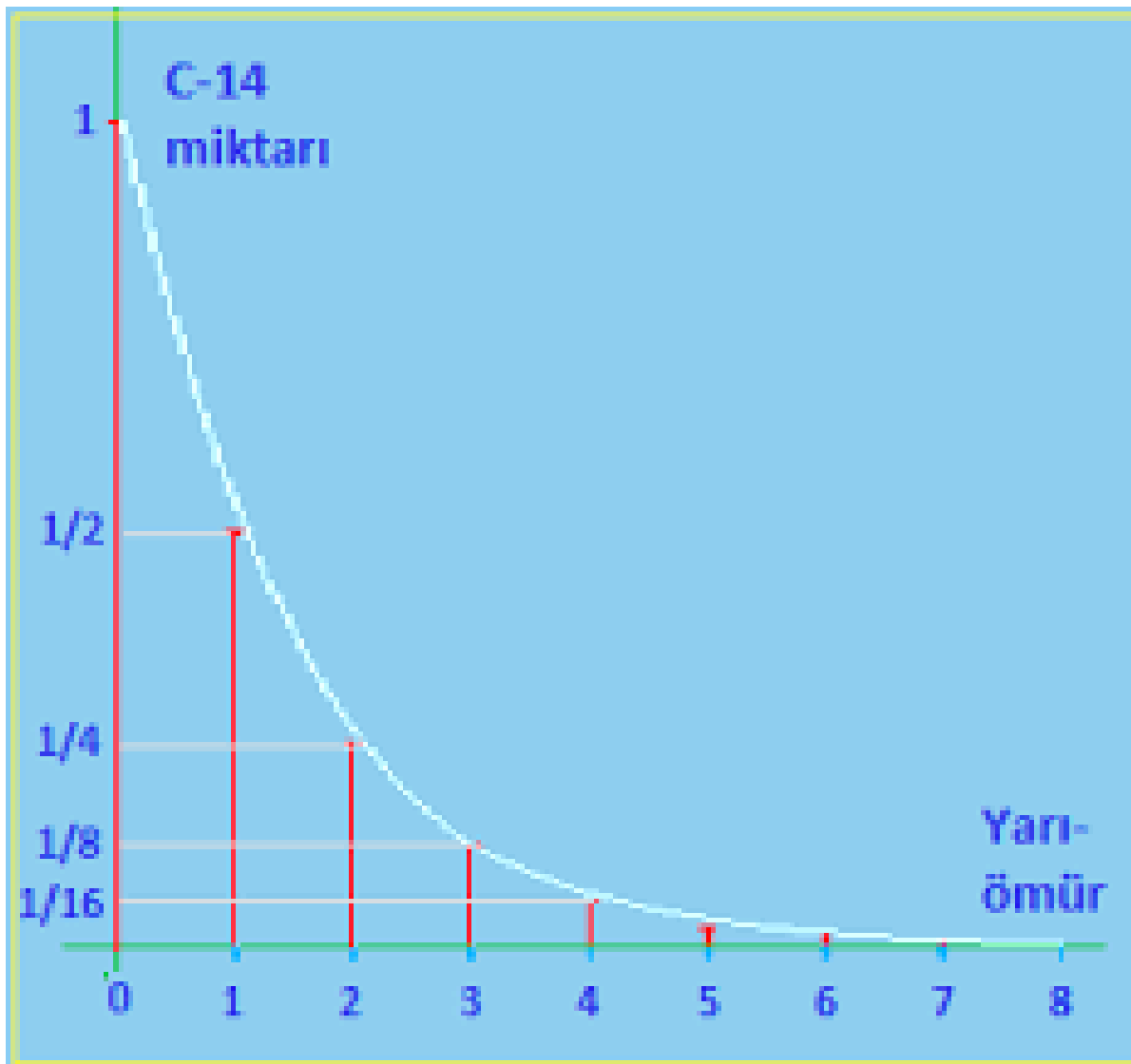
Bir radyoaktif maddenin, başlangıçtaki mevcut atom sayısının, yarıya inmesi için geçen zaman

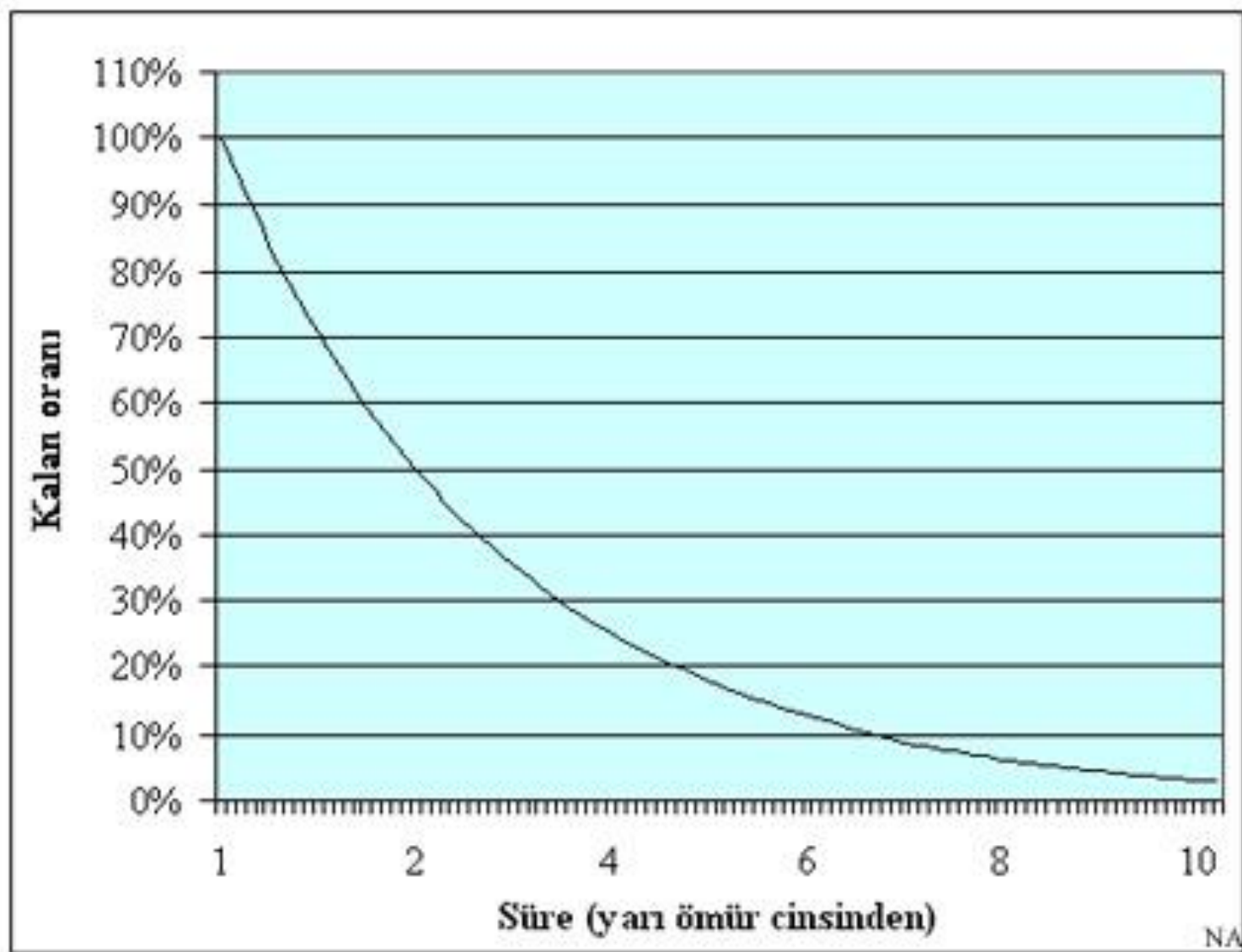
$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda$$

- her element için farklıdır
- o elementin bir özelliğidir

I^{131} \longrightarrow 8.04 gün

I^{125} \longrightarrow 60.0 gün





- Nükleer bozunma rastgele bir süreçtir

$t = 0$	N_0 çekirdek
$t = T$ (bir yarı ömür sonra)	$N_0 / 2$ kalan çekirdek
$t = 2 T$ (iki yarı ömür sonra)	$N_0 / 4$ kalan çekirdek
$t = 3 T$ (üç yarı ömür sonra)	$N_0 / 8$ kalan çekirdek

Örnek

^{13}N ; $t^{1/2} = 10$ dakika. ; başlangıç ^{13}N çekirdek miktarı 1000

ilk 10 dk	500 bozunan	500 kalan
20 dk	250 bozunan	250 kalan
30 dk	125 bozunan	125 kalan

Ortalama ömür

- $T_{\text{ort}} = 1/\lambda$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \longrightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

- $T_{\text{ort}} = 1/\lambda = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} = 1,44 T_{1/2}$

Bozunma sabitinin tersi

Bu yarı ömürden biraz daha yüksek

Biyolojik Yarı Ömür (T_B)

- Canlı dokuya, bir organa veya bir organizmaya verilen radyoaktif maddenin, verilen miktarının, biyolojik ortamdan yarısının atılması için geçen zaman

Tıpta kullanılan bazı radyonüklidlerin yarı ömürleri

Nuclide	Organ where concentrated	Half Life (days) physical	Half Life (days) biological
^3_1H	Total body	4.6×10^3	19
$^{14}_6\text{C}$	Fat	2.09×10^6	35
	Bone	2.09×10^6	180
$^{24}_{11}\text{Na}$	Total Body	0.62	29
$^{32}_{15}\text{P}$	Bone	14.3	1200
$^{45}_{20}\text{Ca}$	Bone	152	18,000
$^{35}_{16}\text{S}$	Skin	87.1	22
$^{36}_{17}\text{Cl}$	Total Body	1.6×10^8	29
$^{42}_{19}\text{K}$	Muscle	0.52	43
$^{59}_{26}\text{Fe}$	Blood	46.3	65
$^{64}_{29}\text{Cu}$	Liver	0.54	39
$^{131}_{51}\text{I}$	Thyroid	8.1	180

Efektif Yarı Ömür (T_{eff})

Radyoaktif maddenin vücutta etkili olduğu süre

- Vücuttan hemen atılan bir madde ile Ca^{2+} gibi kemiklere yerleşen bir madde arasında biyolojik yarı ömür açısından büyük fark vardır
 - Verilen radyoaktif madde bulunduğu organdan atılmıyorsa

$$T_B = T_{\text{eff}}$$

$$\text{Efektif Yarı Ömür} = \frac{\text{Biyolojik yarı ömür} \times \text{Fiziksel yarı ömür}}{\text{Biyolojik yarı ömür} + \text{Fiziksel yarı ömür}}$$

Örnek

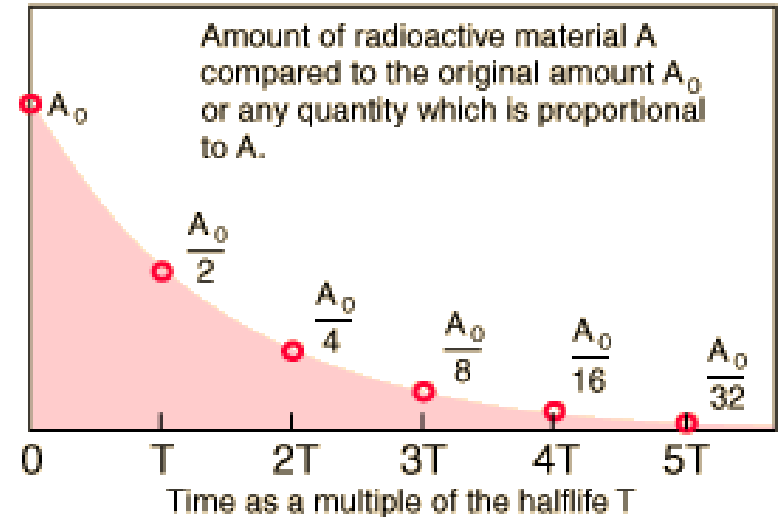
Radyoaktif bir materyal içindeki aktif çekirdek sayısı $N_0 = 1000$ ve bozunma sabiti $\lambda = 0,1 \text{ s}^{-1}$ ise

- İlk 1 s deki bozunan çekirdek sayısı
 $N = 0,1 \times 1000 = 100$ adet olacak
kalan çekirdek sayısı 900 olacaktır
- İkinci 1 s içinde ise $0,1 \times 900 = 90$ adet
kalan çekirdek sayısı ise 810 adet
- Üçüncü 1 s içinde $0,1 \times 810 = 81$ adet
kalan çekirdek sayısı da 729 adet

Radyoaktif Parçalanma Kanunu

- **$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$**
 - N_0 : Başlangıçtaki (t : 0 anındaki) mevcut toplam çekirdek sayısı
 - λ : Parçalanma sabiti

- $\Delta N = -\lambda N \Delta t$
- (A) $\Delta N / \Delta t = -\lambda N$
 $\lambda =$ bozunma sabiti
- $t=0$ anında, N_0 çekirdek var, t zaman sonra geriye kalan çekirdek sayısı :
- $N / N_0 = e^{-\lambda t}$
 Exponansiyel bozunma formülü



$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\int_0^t \lambda dt$$

$$\ln N \Big|_{N_0}^N = -\lambda(t - 0)$$

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t$$

$$e^{\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)} = e^{-\lambda t}$$

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

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

- **$T_{1/2}$** : Bir radyoaktif elementin başlangıçtaki atom sayısının (N_0) parçalanma sonucunda yarı değerini alması için geçen zaman

$t=0$ anında $N=N_0$ olduğunu varsayıyoruz

$N=N_0/2$ için $t=T_{1/2}$

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

$$\ln 1 - \ln 2 = \ln \left(e^{-\lambda T_{1/2}} \right)$$

$$\frac{1/2 N_0}{N_0} = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$0 - \ln 2 = \ln \left(e^{-\lambda T_{1/2}} \right)$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Örnek

- Başlangıçtaki değeri 1×10^{-2} g olan saf radyoaktif bir maddenin 4 saat sonraki değeri $0,25 \times 10^{-2}$ g olduğu görülmektedir. Bu maddenin yarı ömrü nedir?

$$\ln \frac{1}{4} = \ln(e^{-4\lambda})$$

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

$$0,25 \times 10^{-2} = 1 \times 10^{-2} \cdot e^{-4\lambda}$$

$$\ln 4 = 4\lambda \quad 2 \ln 2 = 4\lambda$$

$$1/4 = e^{-4\lambda}$$

$$\lambda = \ln 2 / 2$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2}{\frac{\ln 2}{2}} = 2 \text{ saat}$$

1.Örnek-Tamsayı yöntemi

- ^3H izotopunun yarı ömrü yaklaşık olarak 4500 gündür. 1000 μgr ^3H izotopundan 9000 gün, içinde kaç μgr kaldığını hesaplayınız.
- 9000 gün için, **$n = 9000/4500 = 2$** ve

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 250$$

2.Örnek-Tamsayı yöntemi

- ^3H izotopunun yarı ömrü yaklaşık olarak 4500 gündür. 1000 μgr ^3H izotopundan 13500 gün, içinde kaç μgr kaldığını hesaplayınız.
- 13500 gün için, **$n = 13500/4500 = 3$**

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3 = 125$$

3.Örnek-Tamsayı yöntemi

- ^3H izotopunun yarı ömrü yaklaşık olarak 4500 gündür. 1000 μgr ^3H izotopundan 90000 gün, içinde kaç μgr kaldığını hesaplayınız.
- 90000 gün için, **$n = 90000/4500 = 20$**

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{20} \cong 0.001$$

4. Örnek-Tamsayı olmayan

- ${}^3\text{H}$ izotopunun yarı ömrü yaklaşık olarak 4500 gündür. 1000 μgr ${}^3\text{H}$ izotopundan 6000 ve 2000 gün, içinde kaç μgr kaldığını hesaplayınız.
- 6000 ve 2000 yarı ömrün 4500'ün tam katı değildir

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

6000 gün için, $\cong 397 \mu\text{gr}$

2000 gün için, $\cong 735 \mu\text{gr}$

İyot 131 tiroid bozuklukları tedavisinde kullanılmaktadır

^{131}I için $t_{1/2} = 8.1$ gün

Eğer bir hastaya ^{131}I tedavisi veriliyorsa 8.1, 16.2 ve 60. günlerde kalan iyot miktarı

8.1 gün = T $1 / 2$

16.2 gün = $2 T$ $1 / 4$

....

.....

60 günü bu şekilde hesaplayamayız , exponansiyel bozunma formülünü kullanırsak

$$\mathbf{N / N_0 = e^{-\lambda t} = e^{-0.693 t / T} = e^{-0.693 (60 \text{ gün}) / 8.1 \text{ gün} = e^{-5.13} = 0.0059}$$

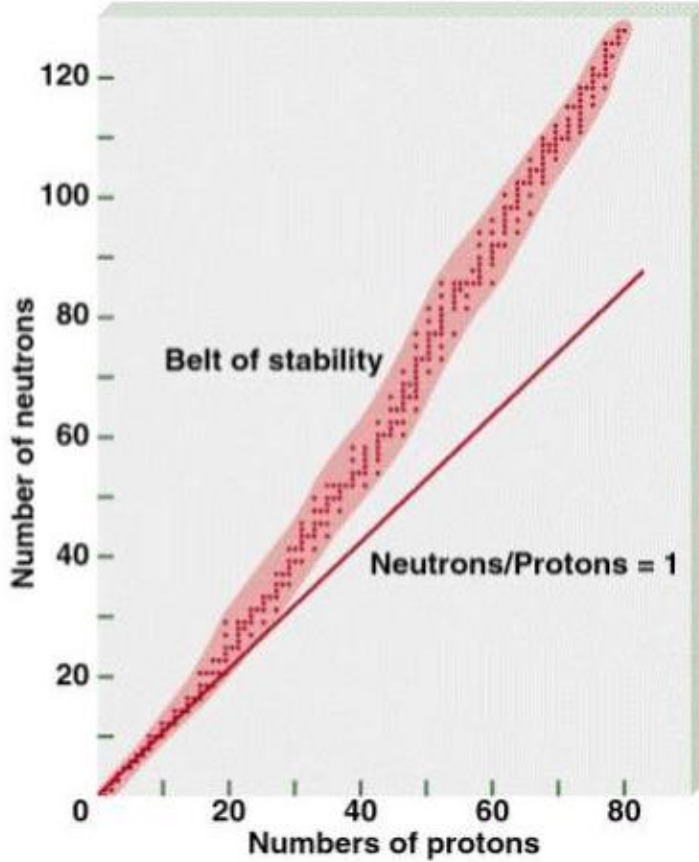
CO_2 ve ^{14}C

- Atmosferde bulunan CO_2 gazının oranı insanların yaşadığı çağlar boyunca önemli ölçüde değişmemiştir
 - bileşenlerinden biri C
 - 3 izotopundan biri ^{14}C
 - Katı madde içinde ^{14}C izotopu 5730 yıllık bir yarı ömür ile bozunmaktadır
- Arkeolojik dönem fosilleri içindeki ^{14}C derişimi atmosferdeki derişimle karşılaştırarak, canlının ne zaman öldüğü, hatta ürünün ne zaman üretildiği bulunabilir
 - Kullanılan denklem yukarda t (geçen süre) için verilmiş olan denklemdir

Radyoaktif Parçalanma

- Atom numarası $Z > 82$ olan elementler genellikle stabil olmayan elementlerdir ve kendiliğinden parçalanabilirler
 - $Z < 82$ olan elementlerde kararsız durumda olabilir ve parçalanabilirler
- Parçacık tipi parçalanma-kütle farkından kaynaklı- çok büyük enerji açığa çıkar
 - Radyoaktif parçalanma 3 grupta olur
 - Alfa yayınlanması α
 - Beta yayınlanması β (negatron ya da pozitron yayınlanması)
 - Yüksek enerjili foton yayınlanması-Gama radyasyonları γ ya da X ışınları (daha düşük enerjili)

Kararlı izotoplar çok dar bir band üzerinde bulunuyorlar
 $n=p$ olacak şekilde başlayıp sonra sapıyor



Eğrinin eğimi Z
arttıkça artıyor
n/p oranı gittikçe
artıyor

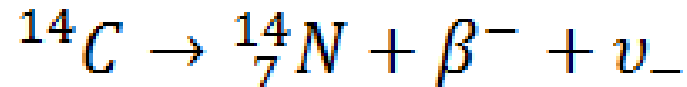
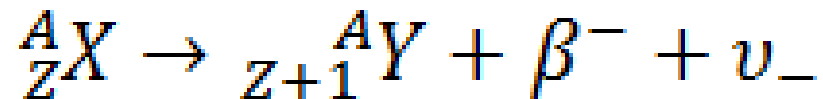
Şekil ; Elementlerin nükleon (proton ve nötron) sayılarının değişimi ve nükleer kararsızlık eğrisi. Kararlı çekirdekler koyu, bilinen radyoaktif çekirdekler ise açık gölge ile gösterilmiştir.

– Negatif ve pozitif yüklü elektronların yayıldığı bozunum olaylarını ayırt etmek için

- pozitif elektron yıkılımını *pozitron decay*
- negatif yüklü yıkılımı *negatron decay*

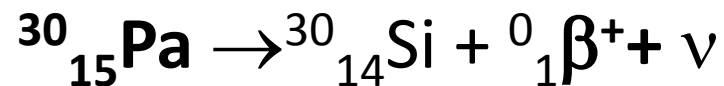
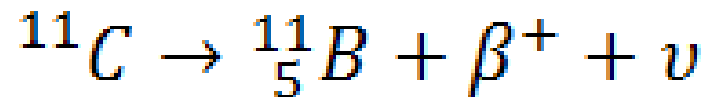
Negatron yayınlanması (β^-)

- $N/Z >$ stabil şartlar
- $n \rightarrow p + e + \nu_-$
- ν_- : antineutrino



Pozitron yayınlanması (β^+)

- $N/Z <$ stabil şartlar
- $p \rightarrow n + e^+ + \nu$
- ν : neutrino



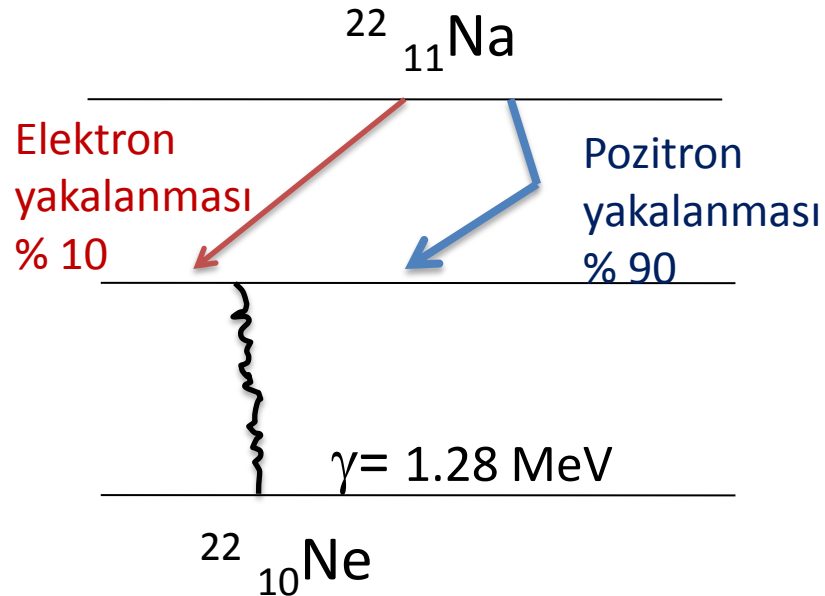
Elektron yakalanması

- X atomu bir e yakalayarak p ile birleştiriyor
 - Z 1 azalıyor
 - n bir artıyor
 - Neutrino yayınlanır
 - Daha kararlı duruma geçiyor
- 1p ile 1e birleşerek 1 n oluşturur

• Elektron yayınlanmasının pozitron yayınlanmasından farkı

- Esas çekirdek ile oluşan çekirdek arasında enerji farkı $< 1.02 \text{ MeV}$ ise elektron yayınlanması meydana gelir
- Enerji farkı daha büyükse bazı elementler için hem elektron hem de pozitron yayınlanması birlikte görülür

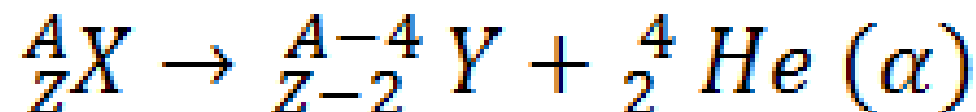
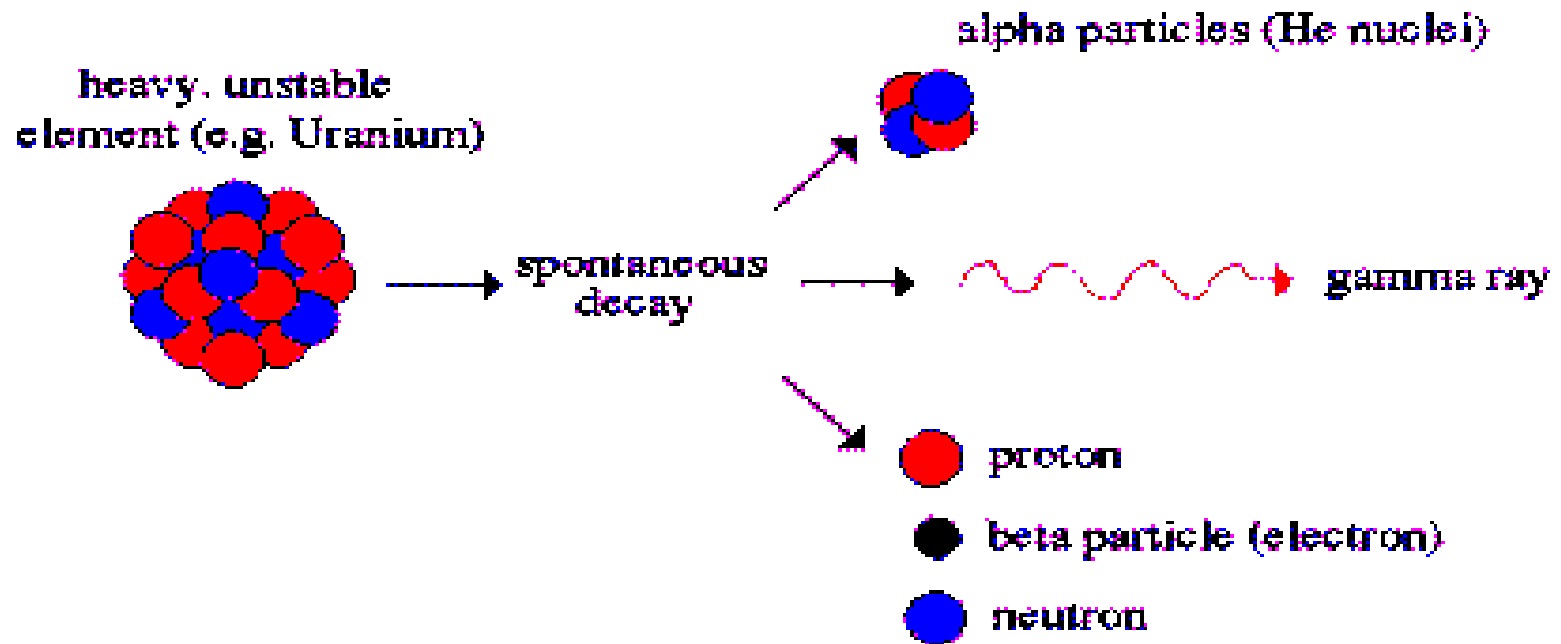
– Örneğin $^{22}_{11}\text{Na}$



Alfa parçalanması

- Yüksek atom numaralı elementler kararlı seviyeye tek bir parçacık yayınlayarak inmezler
- Alfa parçalanmasında, çekirdekten 2 p ve 2 n yayınlanır. $Z > 83$ 'den büyük

Alfa parçalanması

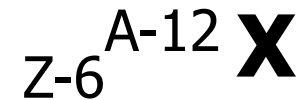


X izotopu 3 α ışınması yaparsa , oluşan elementin Z ve A' sı ne olur ?

3 α ışınması ;

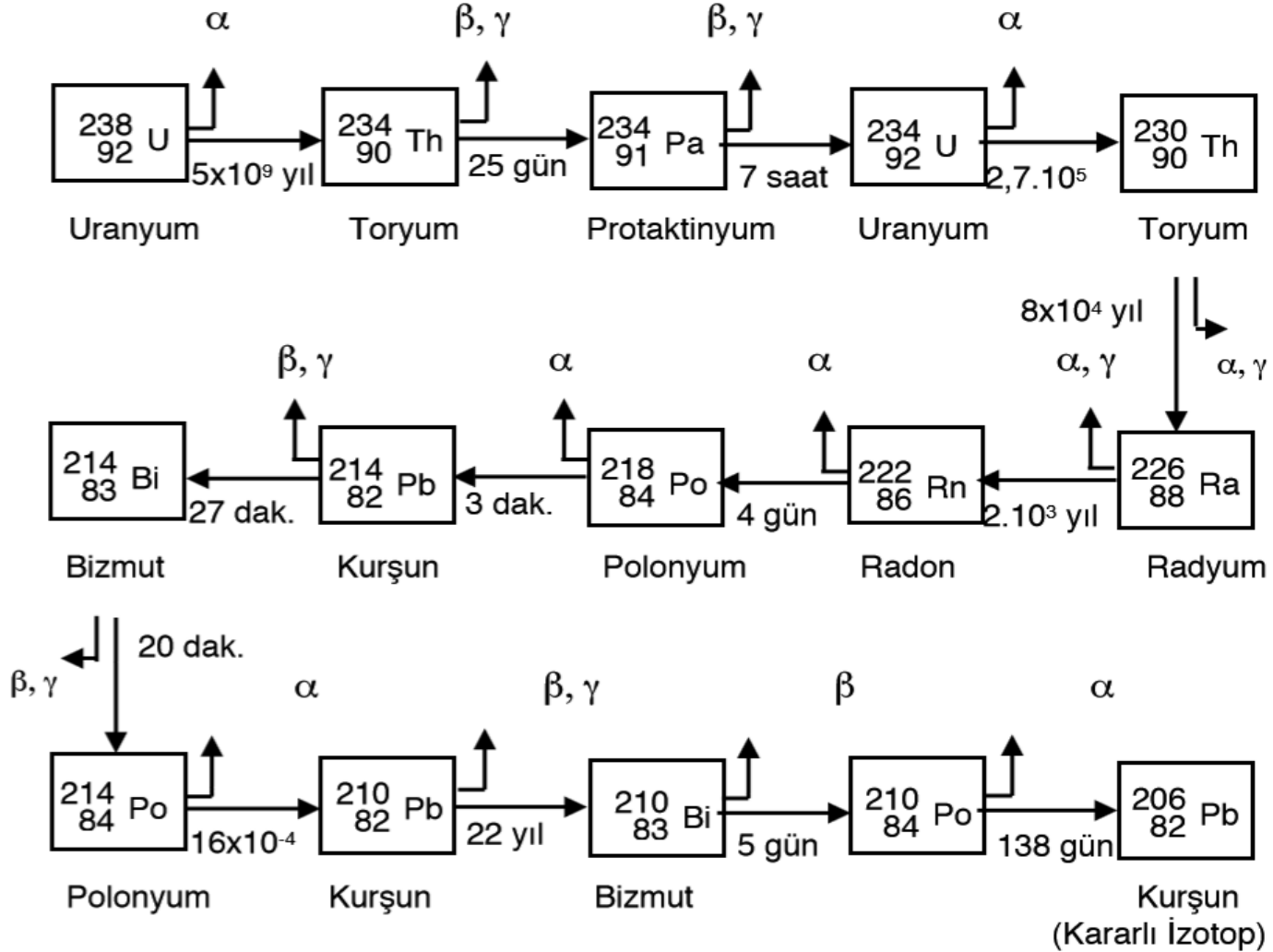
Z \rightarrow 2.3 = 6

A \rightarrow 4.3 = 12 azaltır

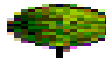



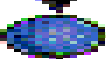


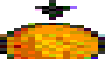









- Bir radyoaktif ana çekirdekten alfa (α), beta (β) ve gamma (γ) bozunmaları sonucu yavru çekirdekler oluşturan seriler, ***radyoaktif seriler*** olarak tanımlanır
- Radyoaktif seriler U, Th, Ac ve Np serisi şeklinde 4 grup oluşturur
- Her seri, bozunma zincirini tamamladıktan sonra kararlı bir çekirdek haline dönüşür

Uranyum 238 serisi



URANIUM 238 (U238) RADIOACTIVE DECAY

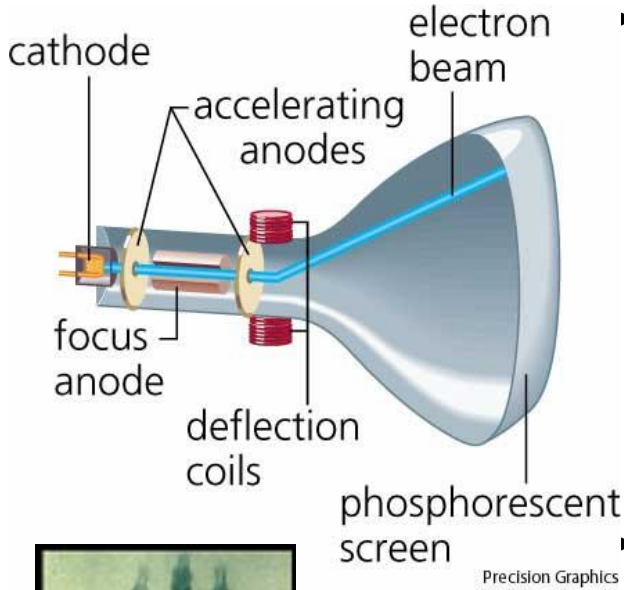
type of radiation	nuclide	half-life	
		uranium-238	4.47 billion years
α		thorium-234	24.1 days
β		protactinium-234m	1.17 minutes
β		uranium-234	245000 years
α		thorium-230	8000 years
α		radium-226	1600 years
α		radon-222	3.823 days
α		polonium-218	3.05 minutes
α		lead-214	26.8 minutes
β		bismuth-214	19.7 minutes
β		polonium-214	0.000164 seconds
α		lead-210	22.3 years
β		bismuth-210	5.01 days
β		polonium-210	138.4 days
α		lead-206	stable

X-Işını

- Günümüz görüntüleme yöntemlerinin temelini oluşturan ve tıp biliminde yeni bir çağ açan X-ışınları 1895 yılında Alman Fizik Profesörü ***Wilhelm Conrad Röntgen*** tarafından keşfedilmiştir



X-Işınlarının orijini



· Crooks tüpünü bobinine bağlayarak, yüksek gerilimli akımı geçirdiğinde, tüpten uzakta durmaktaki cam kavanoz içindeki baryumlu platinsiyan r kristallerinde bir takım pırlıtların oluŐtuėunu gözlemiŐ; bu tür pırlıtlara neden olan ıŐınlara, o ana kadar bilinmemesinden dolayı "X-ışınları" adını vermiŐtir

· IŞınların değişik cisimleri, farklı derecelerde geçebildiği, kurşun plaklar tarafından ise tutulduğunu gözleyen Röntgen, içinde fotoğraf plağı bulunan bir kasetin üzerine karısının elini yerleŐtirerek parmak kemiklerinin ve yüzüğünün görüntüsünü elde etmiŐtir

X-Işınlarının Özellikleri

- X-ışınları
 - yüksek enerjili elektronların yavaşlatılması veya
 - atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleri ile meydana gelen dalga boyları $0.1-100 \text{ \AA}$ arasında değişen elektromanyetik dalgalardır
- “sert X-ışını”
 - Dalga boyları küçük, girginlik dereceleri fazla olan X-ışını
- “yumuşak X-ışını”
 - dalga boyları büyük, girginlik dereceleri az olan X-ışını
- X-ışınlarının frekansı görünür ışığın frekansından ortalama 1000 defa daha büyüktür

- **X-ışınları hem dalga hem tanecik özelliği gösterirler**

Genel Özellikleri	Etkileşme sonucu maddeden çıkan tanecik
Sürekli spektrum verir Çizgi spektrum verir Işık hızı ile yayılır Elektrik ve magnetik alandan etkilenmezler	İyon Fotoelektron Auger elektronu Geri tepme elektronu Elektron pozitron çifti
Yapabileceği fiziksel olaylar	X-ışını soğrulmasının kalıcı sonuçları
Kırılma Yansıma Polarizasyon Koherent saçılma İnkoherent saçılma- Fotoelektrik olay	Radyasyon tahribatı Sıcaklık artması Fotoelektrik iyonizasyon -Genetik değişme Hücrenin ölümü

X-Işınlarının Oluşumu

- X-ışınları, doğal X-ışınları ve yapay X-ışınları olmak üzere iki şekilde meydana gelir;
 - **Doğal X-Işınları:** Atom çekirdeği tarafından K enerji kabuğundan elektron yakalanması, alfa bozunumu, iç dönüşüm ve beta bozunumu olaylarıyla meydana gelir
 - Bir atoma dışarıdan gelen veya gönderilen yüksek enerjili elektronlar o atomun ilk halkalarından elektronlar koparırlar. Atomdan kopan bu elektronun yerine daha yüksek seviyelerden elektronlar atlayarak kopan elektronun yerindeki boşluğu doldururlar. Bu sırada ortaya çıkan enerji fazlalığı X-ışını şeklinde dışarı salınır. Çekirdek içerisinde bulunan protonlardan bir tanesi hareketi esnasında atomun ilk halkalarındaki elektronu yakalar ve nötürleşir. Yakalanan bu elektronun halkasındaki boşalan yere diğer bir halkadan bir elektron atlamasıyla X-ışını meydana gelebilir.

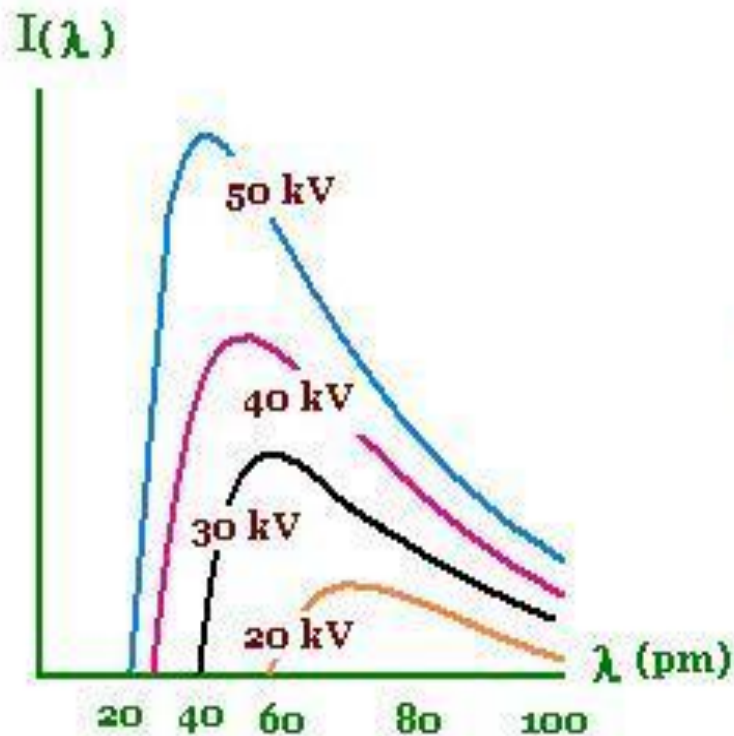
Yapay X-Işınları

- Maddenin; elektron, proton veya hızlandırılmış parçacıklarla etkileşmesinden ya da X-ışını tüpünden veya başka bir uygun radyoaktif kaynaktan çıkan fotonlarla etkileşmesinden meydana gelir
 - Maddenin, fotonlarla etkileşmesinden karakteristik (çizgi) X-ışınları, yüklü parçacıklarla etkileşmesinden hem karakteristik hem de sürekli X-ışınları elde edilir

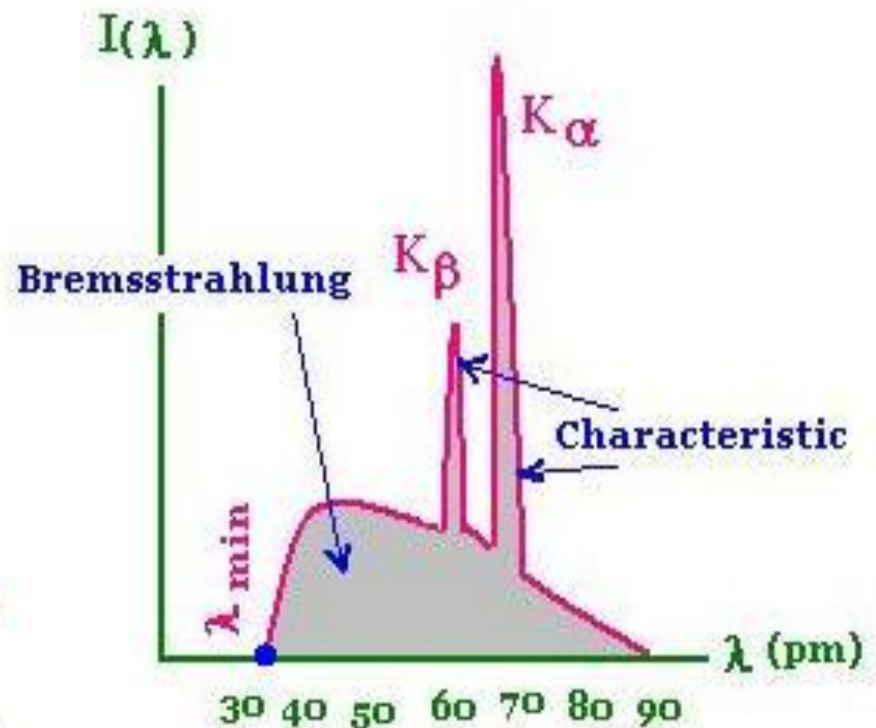
Etkileşme şekline göre 2 tür X-ışını elde edilir

- **1. Sürekli (Frenleme) X-Işınları:** Elektron demeti, hedef atomun çekirdeğine yaklaştığında, çekirdeğin pozitif yükünden kaynaklanan elektrik alandan etkilenir ve dışarıya fotonlar yayar
 - Sürekli bir enerji spektrumuna sahip bu fotonlara sürekli x-ışınları, bu olaya da **Bremsstrahlung** veya frenleme radyasyonu adı verilir.

- **2. Karakteristik X-Işınları:** Hedef atom üzerine gönderilen elektronların, hedef atomun yörüngesindeki elektronlarla etkileşimi sonrasında, aldıkları enerjiyle üst enerji seviyelerine çıkarlar. Kararsız durumdaki bu enerji seviyeleri geri bozduğunda dışarıya foton yayınlanır
 - Enerjileri, seviyeleri arasındaki farka eşit olan bu fotonlara karakteristik x-ışınları adı verilir



Bremsstrahlung continuous X-ray spectrum for the tungsten target for various accelerating voltage



Bremsstrahlung and characteristic X-rays for a molybdenum target and 35 kV accelerating voltage

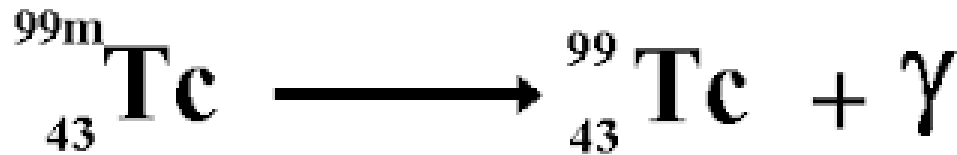
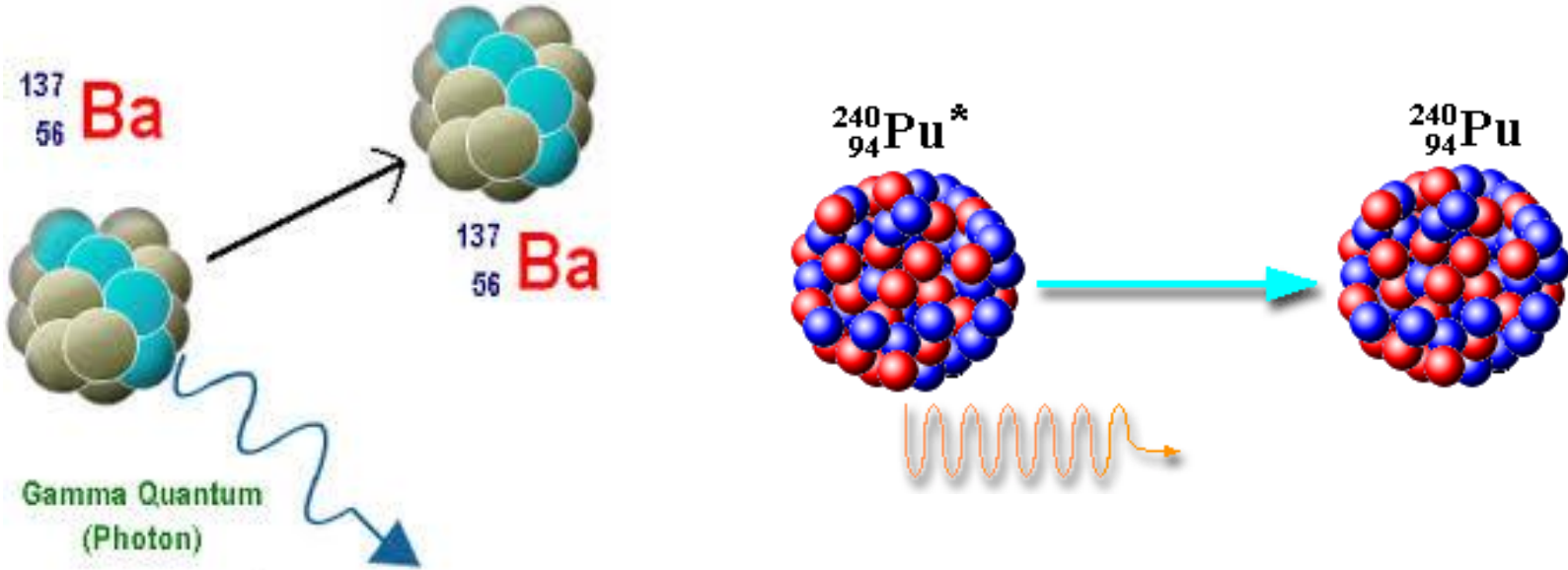
X-Işınlarının Fizyolojik Etkisi

- Yüksek enerjili her ışın gibi X-ışınları da dokular için zararlıdır
- Çok yüksek frekansa sahip olan X-ışınları kimyasal bağları kırabilecek enerjiye sahiptir. Bu bağların kırılması sonucu iyonlaşma oluşur. İyonlaşabilen elektromanyetik ışınlar DNA'yı parçalayabilecek kadar enerji taşımaktadır.
 - DNA'nın zarar görmesi ise hücreleri öldürmektedir. Bunun sonucunda doku zarar görür
 - DNA'da çok az bir zedelenme, kansere yol açabilecek kalıcı değişikliklere sebep olabilir

- Eller ve vücudun diğer kısımları X-ışınlarına hedef olduğundaki tehlikeli duruma yanık denir
 - Güneş yanığından çok daha fazla zararlı
 - Yanıklara, X-ışınlarından çıkan ısı neden olmayıp, ısının doğurduğu yanıklardan da farklıdır
- X-ışınlarına hedef olunduğunda ani bir acıma duygusu da duyulmaz
- İyileşmesi diğer yanıklardan çok daha yavaş olur

Gama (γ) Radyasyonu

Yüksek enerjili EMD. Çekirdeğin uyarılmış enerji seviyesinden temel enerji seviyesine dönerken yayınladığı foton(lar)



γ Radyasyonlarının madde ile etkileşimi

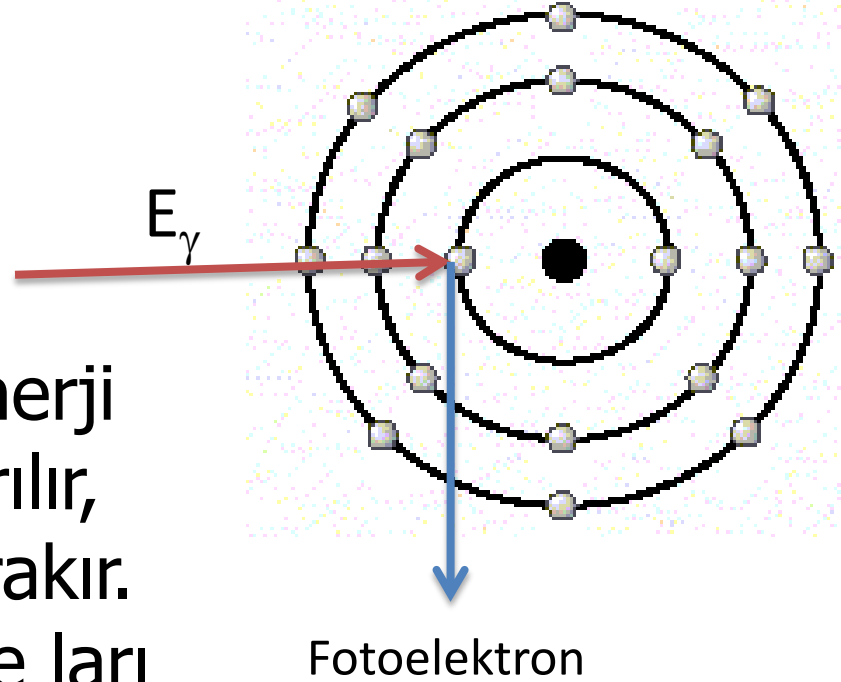
- Fotoelektrik etki
- Compton saçılması
- İyon çifti oluşumu (pair product)

Fotoelektron

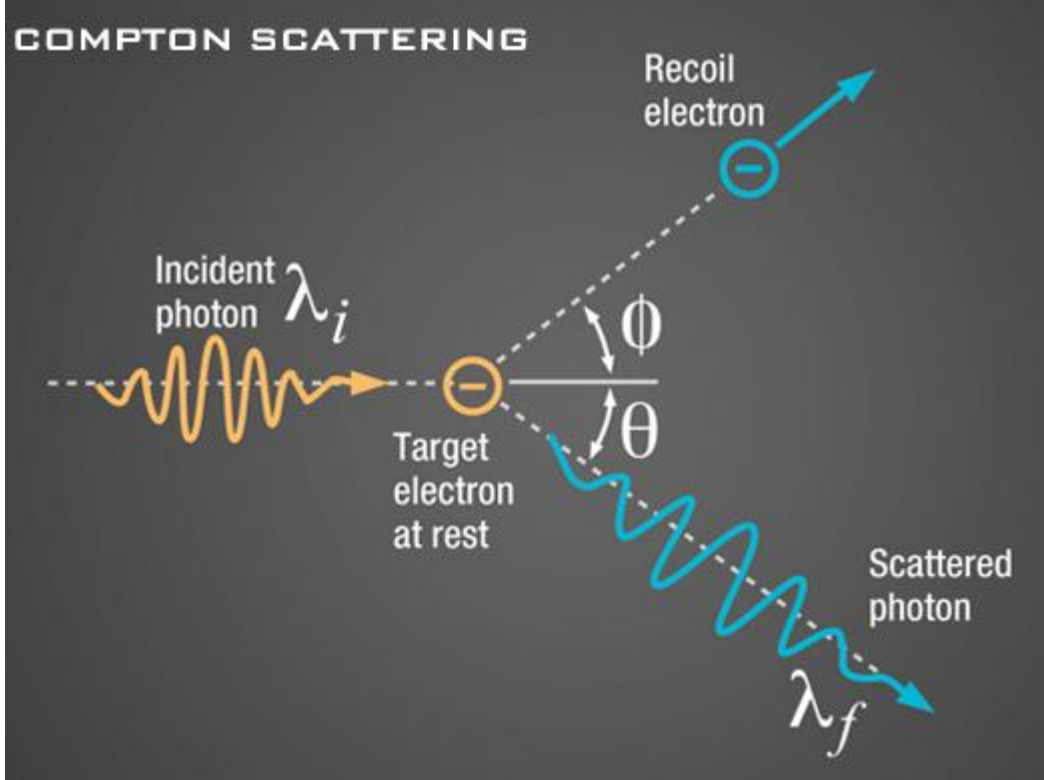
- Bir metalik yüzeye ışık kaynağı (daha genel ifadeyle elektromanyetik ışınım) düştüğünde yüzeyden elektron yayımlanabilir. Bu şekilde yayımlanmış elektronlar da (elektron özellikleri değişmemesine rağmen) fotoelektronlar olarak adlandırılır.

Fotoelektrik absorpsiyon

- $E_{\gamma} = E_B + E_K$
- Foton yörünge e ile etkileştiğinde bütün enerjisini o e aktarır. Enerji kazanan e atomdan ayrılır, arkasında bir boşluk bırakır. Bu boşluk dış yörünge e ları tarafından doldurulur.
- Bu sırada X ışını yayınlanır



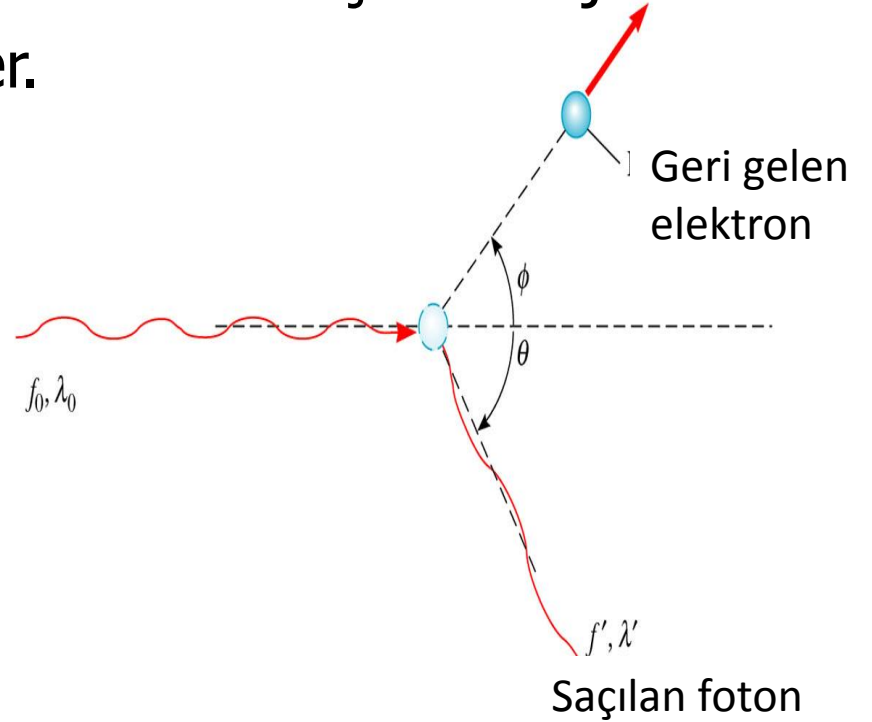
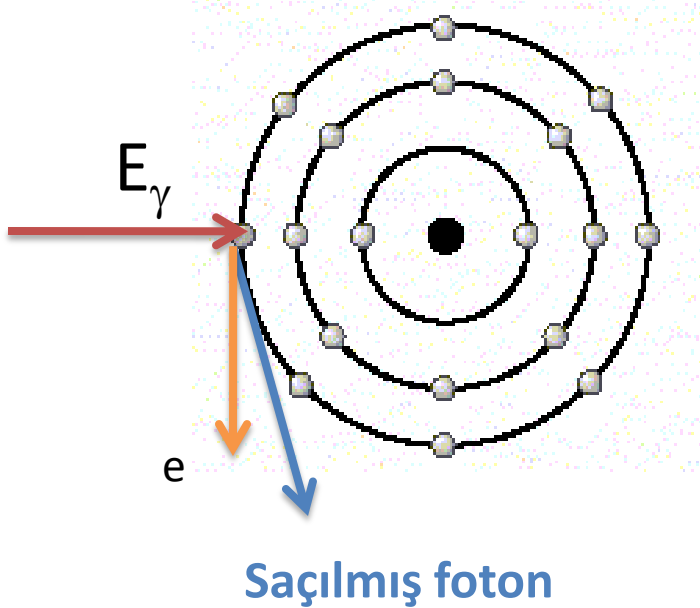
Compton Saçılması



X-ışınları madde ile çarpıştığında bir kısmı saçılmaya uğrar. Saçılan ışımaya, gelen ışımadan bir miktar daha düşük frekanslıdır (uzun dalga boyludur) Dalga boyundaki değişim, ışımının saçılma açısına bağlıdır

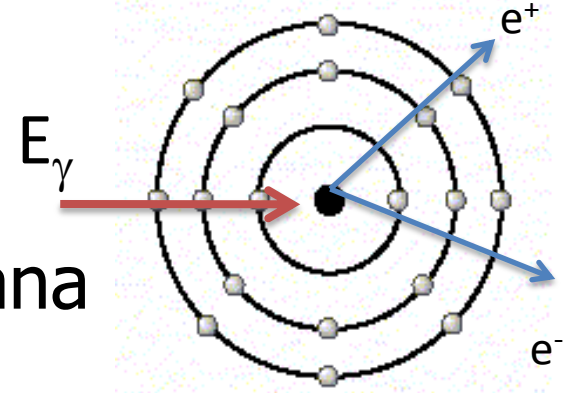
Compton Saçılması

- Foton atomun en dış yörüngesindeki e ile etkileşir. Dış yörüngedeki e bağlanma enerjisi sıfır alınabilir. Bu yüzden e yörüngeden atılması için enerji harcamaz, fakat e enerji kazanır. Etkileşim sonrası foton daha düşük enerji ile saçılarak yoluna devam eder.



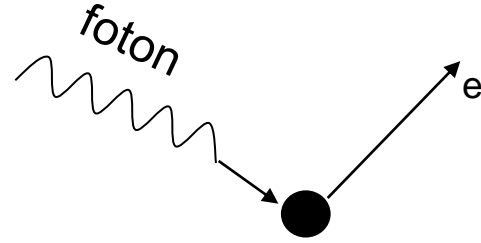
Çift Oluşumu

- Yüksek foton enerjilerinde meydana gelen bu etkileşimde soğurucu atomun çekirdeğinin yük alanının etkisiyle bir foton yok olarak artı ve eksi yüklü iki elektron meydana gelir
 - Bu olay genellikle bir fotonun, atom çekirdeğinin yakınından geçerken meydana gelebileceği gibi bazen de foton bir elektronun yakınından geçerken de meydana gelebilir

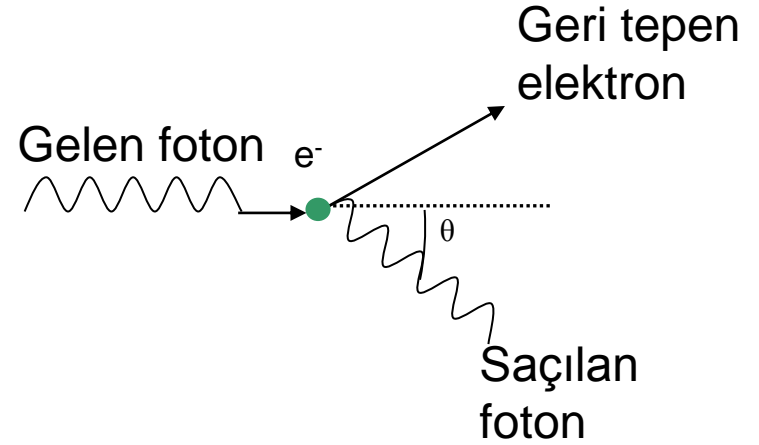


- Fotoelektrik olayda
 - foton tamamen kaybolur
 - fotoelektrik olasılığı absorblayıcı ortamın atom numarasına bağlıdır
- Compton saçılmasında
 - fotonun hızı biraz kesilmiş olur
 - etkileşim olasılığı, hemen hemen atom numarasından bağımsız olarak yalnızca elektron yoğunluğuyla değişir
- Çift oluşumu olayında
 - foton, enerjisinin tamamını aktararak yok olur

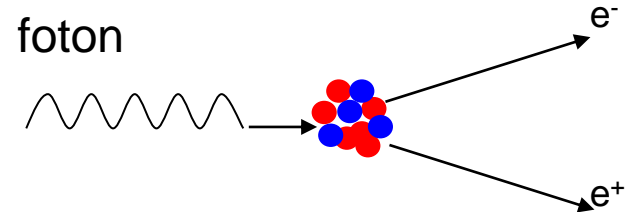
Fotoelektrik olay



Compton saçılması



Çift oluşumu



X ve γ -ışınları arasındaki farklar

- **γ -ışınları**

- nükleer değişimler sonucunda meydana gelir
- hem tetkik hem de tedavi amaçlı kullanılır

- **X-ışınları**

- çekirdek dışındaki elektronların inter reaksiyonları (bir yörüngeden sökülen elektronun yarattığı boşluğu diğer yörüngedeki elektronun doldurması) ile ortaya çıkar
- X-ışınları diyagnostik amaçlı kullanılır

Dalga boyu (cm)	10^{-12}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	10	10^2
Frekans (s^{-1})	10^{22}	10^{20}	10^{18}	10^{16}	10^{14}	10^{12}	10^{10}	10^8
Spektral bölgeler	γ ışınları	X ışınları	UV vak	UV gör	Infrared	mikrodalgalar	radyo dalgaları	
Geçiş	Çekirdek	İç tabaka elektronları	Dış tabaka elektronları		Titreşim	Dönme; Elektron spin (magnetik alan)	Nükleer spin (magnetik alanda)	
ANALİTİK METOTLAR								
Absorpsiyon	Mössbaver spektroskopisi	X-Ray absorpsiyon spektroskopisi	UV-görünür bölge spektrofotometri; atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS)		IR spektrometresi	Mikrodalga spektroskopisi; elektron spin rezonans (ESR) spektroskopisi	Nükleer magnetik rezonans (NMR) spektroskopisi	
Emisyon	γ -ray spektroskopisi	X-ray floresans spektroskopisi (XRF)	Atomik, emisyon spektroskopisi (AES) Alev emisyon spektroskopisi (FES)					

Radyasyon ve Tipleri

RADYASYON

İYONLAŞTIRICI RADYASYON

İYONLAŞTIRICI OLMAYAN RADYASYON

PARÇACIK TİPİ

DALGA TİPİ

Hızlı elektronlar
Alfa parçacıkları
Beta parçacıkları

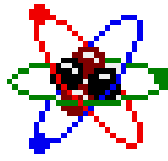
X-Işınları
Gama ışınları

Dolaylı iyonlaştırıcı
Nötron parçacıkları

DALGA TİPİ

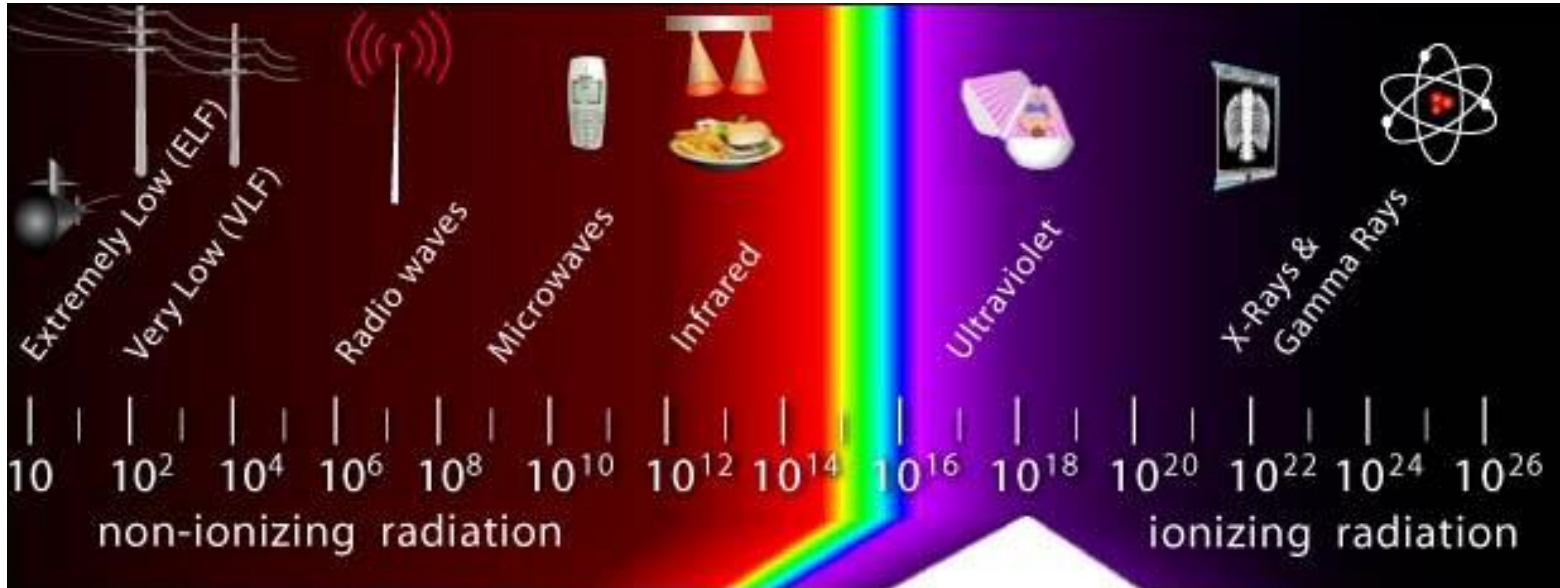
Radio dalgaları
Mikrodalgalar
Kızılötesi dalgalar
Görülebilir ışık

Radyasyon Tipleri



Elektromanyetik spektrumdaki ışınlar sahip oldukları enerjiye göre iki gruba ayrılır

- İyonlaştırıcı Radyasyon:** Partiküler (alfa ve beta radyasyon) veya elektromanyetik dalgalar (X ve γ ışınları)
- İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon:** Ortama iyonlaştırıcı etki yapmayan mor ötesi (UV) ışınlar, görünür ışık ve kızılötesi (IR) ışınlar ile mikro dalgalar ve radyo frekansı (RF)



1. İyonlaştırıcı Radyasyon

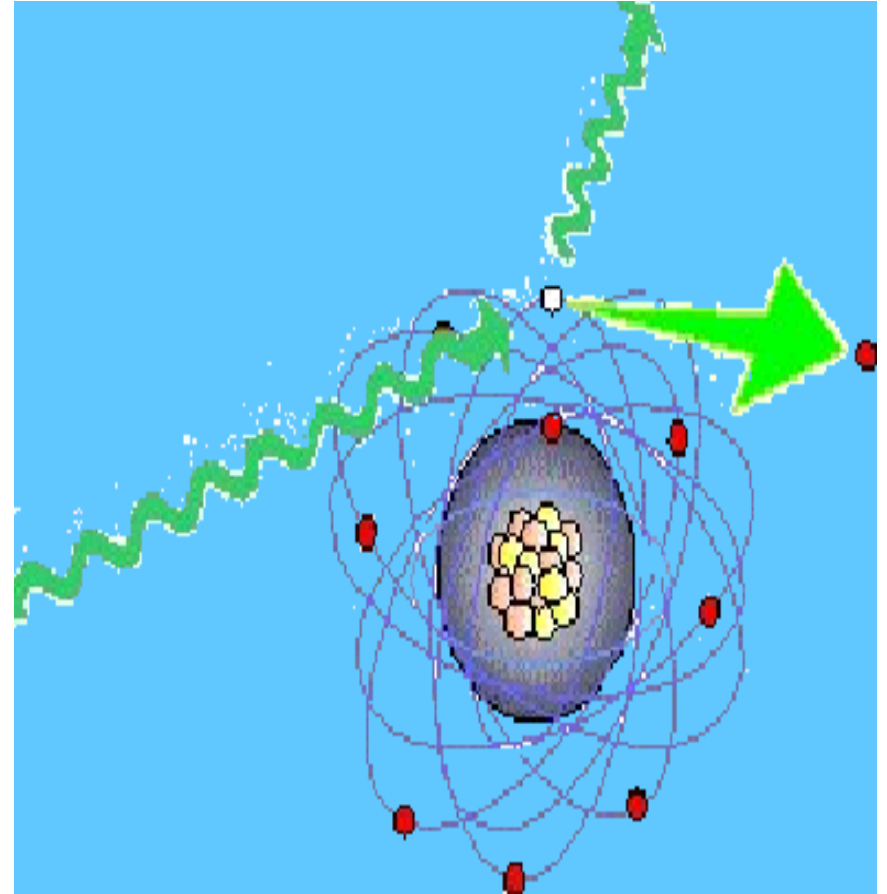
- İyonlaştırıcı radyasyon, çarptığı maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon
 - İyonizasyon olayı herhangi bir maddede meydana gelebileceği gibi insanlar dahil tüm canlılarda da oluşabilir
 - Önlem alınmadığı takdirde tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon tipidir

EK-1: İyonizasyon

Kararlı durumdaki atomun e^- larından biri koparıldığında, protonların sayısı elektronlardan fazla olacağından atom bir elektrik yükü kazanacaktır

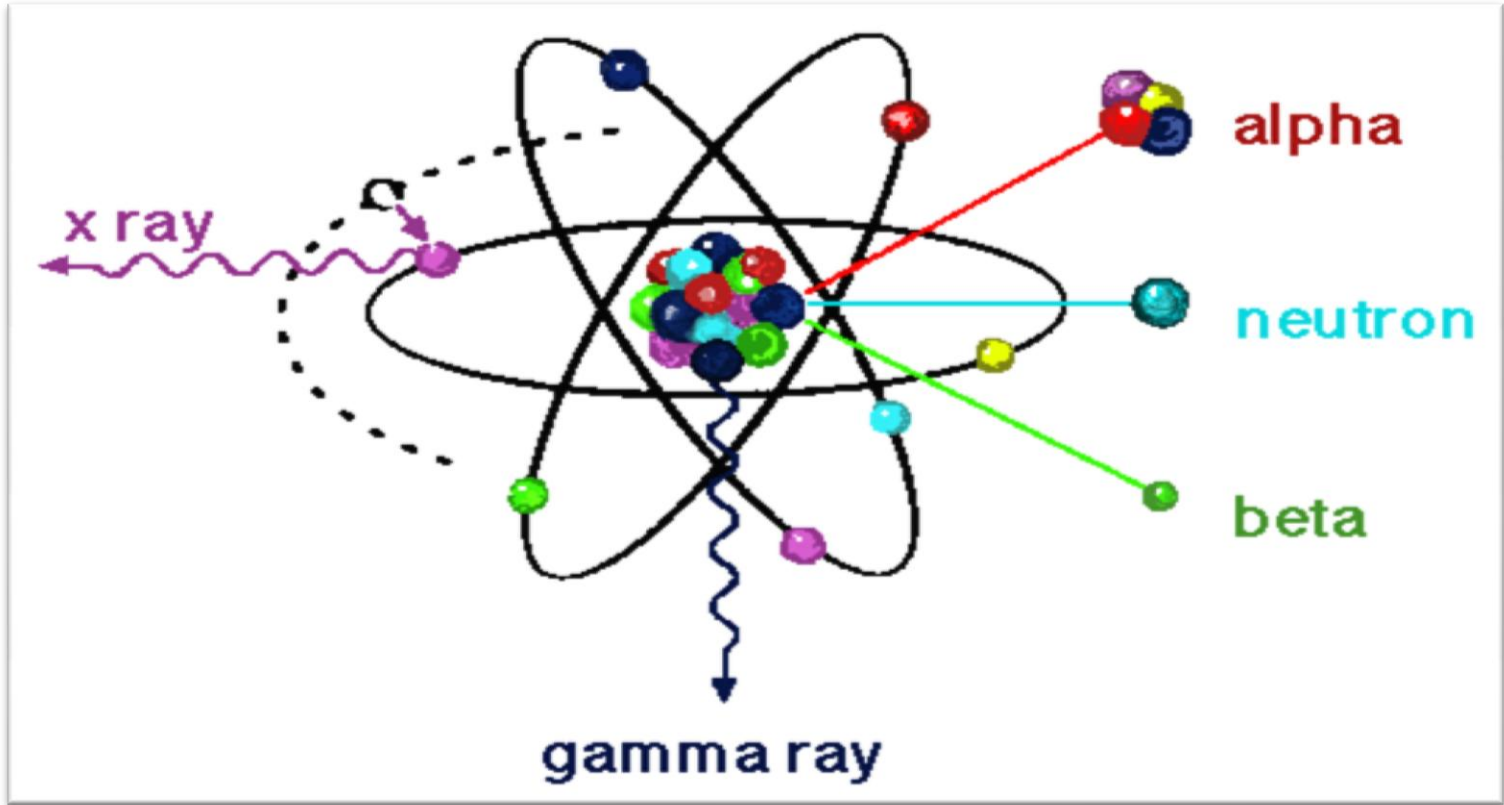
Bu şekilde bir elektronun atomdan ayrılmasından sonra geriye kalan atoma "iyon" adı verilir

İyonların meydana gelişi olayına da "iyonizasyon" denir



İyonlaştırıcı Radyasyon-2

Elektron kopması ile çevre atomlara enerji aktarılır



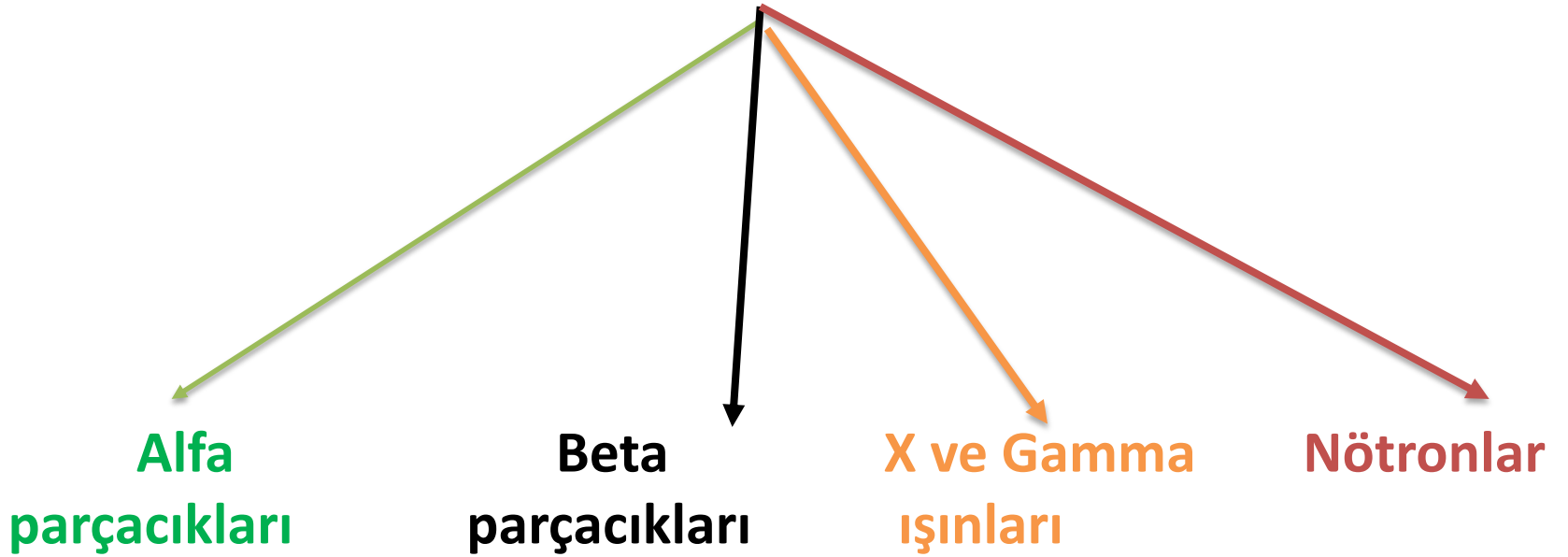
İyonlaştırıcı Radyasyon

İyonize radyasyon olarak;

- Alfa α parçacıkları
- Beta β parçacıkları
- Nötron parçacıkları
- X ve γ -Işınları

X-Işınları dışındaki radyasyonlar, atom çekirdeğinden çıkmakta ve bundan dolayı bunlara **nükleer radyasyonlar** da denilmektedir

Radyoaktif Bozunma ile Salınan Radyasyonlar



Parçacık Radyasyonu

- Belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden minik parçacıkları ifade eder
 - Bunlar hızla giden mermilere benzerler, ancak gözle görülemeyecek kadar küçüktürler

1. Alfa (α) parçacıkları

- ${}^4_2\text{He} = {}^4_2\alpha$
- Çok küçük bir madde kalınlığı, örneğin bir kağıt parçası ile durdurulabilir
- Elektrik yükleri büyük olduğundan, geçtikleri bölgelerde yoğun bir iyonlaşma oluştururlar. Bu yüzden, enerjilerini çabucak kaybederler
- Erişme uzaklıkları kısadır
- Dış radyasyon tehlikeleri yoktur

2. Beta (β) Parçacıkları

- Pozitif veya negatif yüklü elektronlardır
 - Çekirdekdeki enerji proton fazlalığından kaynaklanıyorsa, + yüklü betalar (Pozitron) yayılır
 - Çekirdekdeki enerji nötron fazlalığından kaynaklanıyorsa, - yüklü betalar (Negatron) yayılır

3. Nötronlar

- Kütleleri yaklaşık olarak p' nun kütlesine eşit ve elektrik yükleri olmayan parçacıklardır
 - Radyoaktif bozulma olayı sonucu oluşmazlar
 - Bir nükleer reaktörün içindeki atomların parçalanması gibi nükleer reaksiyonlar sonucu elde edilirler
 - Güneşte oluşan nükleer patlamalarla uzaya yayılabilir ve dünyamıza ulaşırlar
 - Bu ışımanın partiküllerinin girginliği çok fazladır

Dalga Tipi Radyasyon-1

- Belli bir enerjiye sahip ancak kütleli radyasyon çeşidi
 - Titreşim yaparak ilerleyen elektrik ve manyetik enerji dalgaları gibi
- Görünür ışık, dalga tipi radyasyonun bir çeşidi
- Bütün dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla (3×10^8 m/s) hareket eder

Dalga Tipi Radyasyon-2

X ve gamma ışınları dalga şeklinde olup, çok giricidirler

Gamma ışınları, X ışınlarından daha yüksek enerjiye sahiptirler

- Radyasyonun enerjisi arttıkça ışık rengi mor renk ötesine gider ve morötesi olarak adlandırılır
 - Morötesi ışığı göremez veya hissedemeyiz, ancak ortamda mevcuttur
 - Eğer şiddeti büyükse, ciltte bırakacağı güneş yanığına benzer yanık izleri ile varlığı hissedilir

Radyasyon terimleri ve özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki

Aktivite

- özel birimi **Curie (Ci)** ; 3.7×10^{10} parçalanma / s
 - SI birimi **Becquerel (Bq)**; 1 parçalanma/ s
- $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$**
 $1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$
- **Curie:** Saniyede 3.7×10^{10} parçalanma veya bozunma gösteren maddenin aktivitesidir
 - **Bequerel:** Saniyede 1 parçalanma yapan çekirdeğin aktivitesidir

Radyasyon terimleri ve özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki

Işınlanma dozu

Özel birim **Röntgen (R)** ; normal hava şartlarında (0°C ve 760 mm Hg basıncı) havanın 1kg'ında 2.58×10^{-4} C luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya γ radyasyonu miktarıdır

SI birim **Coulomb / kilogram (C/kg)** ; normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında 1 C'luk elektrik yükü değerinde (+) ve (-) iyonlar oluşturan X veya γ radyasyonu miktarıdır

$$\mathbf{1C/kg = 3876 R = 3.88 \times 10^3 R}$$

$$\mathbf{1 R = 2.58 \times 10^{-4} C / kg}$$

Radyasyon terimleri ve özel birimler ile SI birimleri arasındaki ilişki

Soğurulmuş doz

Birim kütle başına depolanan enerjinin ölçüsüdür

Özel birim **Radiation doz (rad)**; ışınlanan maddenin 1 kg'ında 10^{-2} J'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır

SI birim **Gray (Gy)**; ışınlanan maddenin 1 kg'ında 1 J'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır

$$1\text{Gy} = 100\text{rad}$$

$$1\text{rad} = 0.01\text{ Gy}$$

$$\text{Gray (Gy)} = 1\text{ Joule/kg}$$

Eşdeğer doz

- Vücutta toplanan enerjinin ifadesidir
- Düşük doz düzeylerinde radyasyonun tipine ve enerjisine göre biyolojik hasarlarını da içeren bir kavramdır
- Birimi; **Sievert (Sv) = 1 Joule/kg**
- Radyasyon korunmasında kullanılan bir birimdir

Radyasyon terimleri ile SI birimleri arasındaki ilişki **Eşdeğer doz**

Özel birim **Röntgen equivalent man (rem)**; 1 Röntgenlik X veya γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır

SI birim **Sievert (Sv)** ; 1 Gy' lik X ve γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır

$$1\text{Sv}=100 \text{ rem}= 1 \text{ J/kg}$$

$$1\text{rem}=0.01\text{Sv}$$

Etkin doz

- Doku veya organların aldığı dozun tüm vücut için yüklediği riski ifade etmek için kullanılan bir kavramdır
 - Birimi **Sievert Sv**

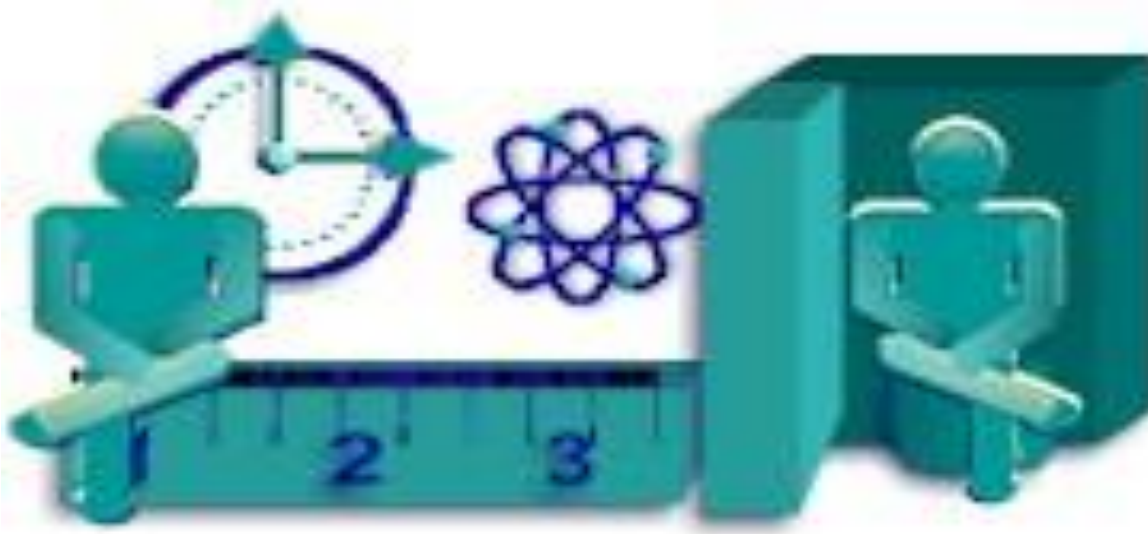
Miktar (quantity)	Özel Birim	SI birim
Işınlanma dozu	Roentgen (R)	Coulomb/kg
Soğrulmuş doz	Rad	Gray (Gy)
Eşdeğer doz	Rem	Sievert (Sv)
Radyoaktivite	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)

TERİM	BİRİM		DÖNÜŞÜM
	Özel birim	SI birim	
Aktivite	Curie Ci	Becqueler Bq	1Ci= 3.7x10 ¹⁰ Bq 1Ci= 3.7 GBq
Işınlama dozu	Roentgen R	Coulomb/kilogram C/kg	1 C/kg= 3876 R 1 R= 2.58x10 ⁻⁴ C/kg
Soğrulmuş doz	Radiation Absorbed Dose rad	Gray Gy	1 Gy= 100 rad 1 rad= 0.01 Gy
Doz eşdeğeri	Roentgen equivalent man rem	Sievert Sv	1 Sv = 100 rem

RADYASYONDAN KORUNMA

Radyasyon hayatımızın vazgeçilmez bir parçası !

- Dış uzaydan gelen kozmik ışınlar
- vücudumuzda bulunan radyoaktif elementler
- yaşadığımız evlerin yapı malzemelerinin içerdiği doğal uranyum ve toryumun parçalanmasıyla ortaya çıkan radyoaktif radon ve toron gazları
- tarlalarda kullandığımız fosfor içeren suni gübreler
- yiyecek ve içeceklerimizdeki radyoizotoplar
- evlerimizde ısınmak için kullandığımız fosil yakıtlar
- hastalıklarımızın teşhis ve tedavisinde kullanılan radyasyon üreten ve radyoaktif madde içeren cihazlar
- nükleer bomba denemeleri ve nükleer tesisler nedeniyle



Radyasyondan korunmada dikkat edilmesi gereken parametreler

Süre

Mesafe

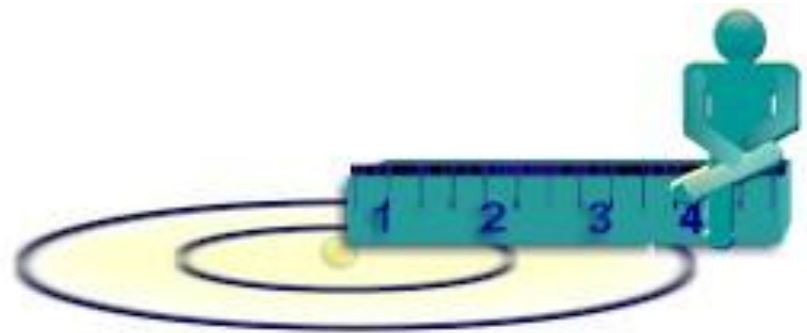
**Zırhlama/
Engel**

Radyasyondan korunmanın temel yöntemleri- Zaman

- Radyasyona maruz kalan kişinin kaynakla karşı karşıya kaldığı süredir
 - Bu süre içinde maruz kalınan ışınım şiddeti genel olarak saatte miliröntgen ile ifade edilir

Radyasyondan korunmanın temel yöntemleri- Mesafe

- Radyasyon şiddeti uzaklığın karesi ile T.O olarak azalmaktadır
 - Örneğin aynı kaynaktan 4 m uzakta olan bir kişi, 2 m uzakta olandan 1/4 kadar şiddette radyasyona maruz kalmaktadır
 - $I_1 \cdot d_1^2 = I_2 \cdot d_2^2$



Radyasyondan korunmanın temel yöntemleri- Zırhlama

Kurşun, beton ve su radyasyona karşı oldukça iyi koruma ve şiddette azalmayı sağlamaktadır

Bu nedenle radyasyonla yapılan uygulama ve çalışmalarda bu engeller kullanılmaktadır

Radyasyon şiddetindeki azalma exponansiyeldir

$$I_2 = I_1 \cdot e^{-\mu x}$$

μ : lineer soğurma katsayısı,

x : kalınlık miktarıdır

α Radyasyonu

havada yalnız 2.5-5.0 cm dokuda
ise birkaç mikron ilerleyebilir,
Derinin üst tabakasına geçemez,
Bir kağıtla siper almak
mümkündür,
En büyük tehlike alfayı solumak ve
sindirmekle olur

β Radyasyonu

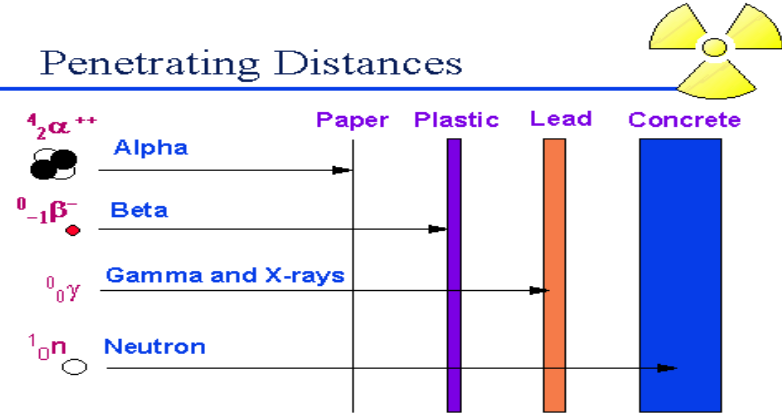
Cilde girer ama önemli organlara değil,
Kalın elbise veya alüminyumla
korunulabilir

γ Radyasyonu

Yüksek enerji ışınları,
Dokunun derinliğine nüfuz ederler,
Radyasyon hastalığının baş nedeni,
Radyoaktif çürümeyle üretilir



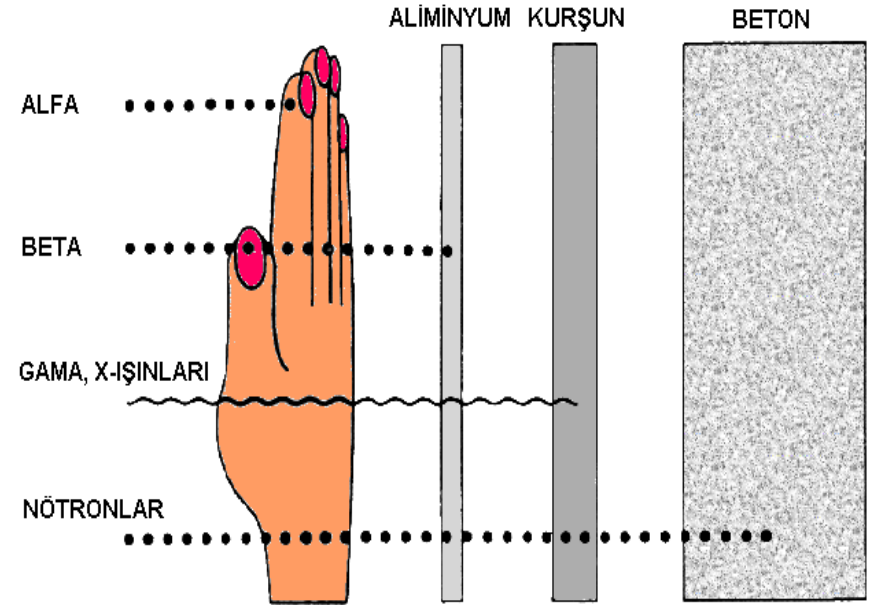
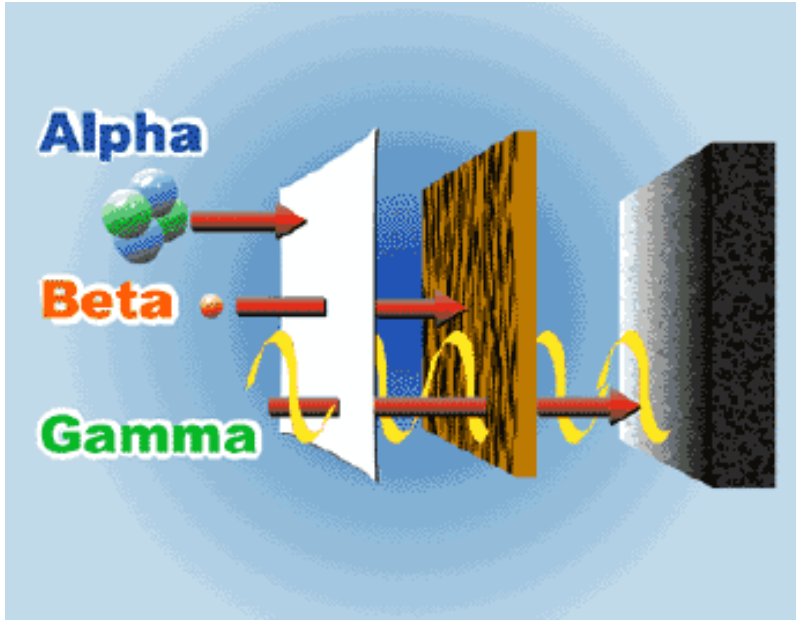
Penetrating Distances



Nötron Radyasyonu

Dokuları temasta zedeler,
Nükleer fizyon sonucu (reaktör, silah)
Çok fazla içe işler ve özel siper gerektirir

Radyasyon Çeşitlerine Göre Zırhlama



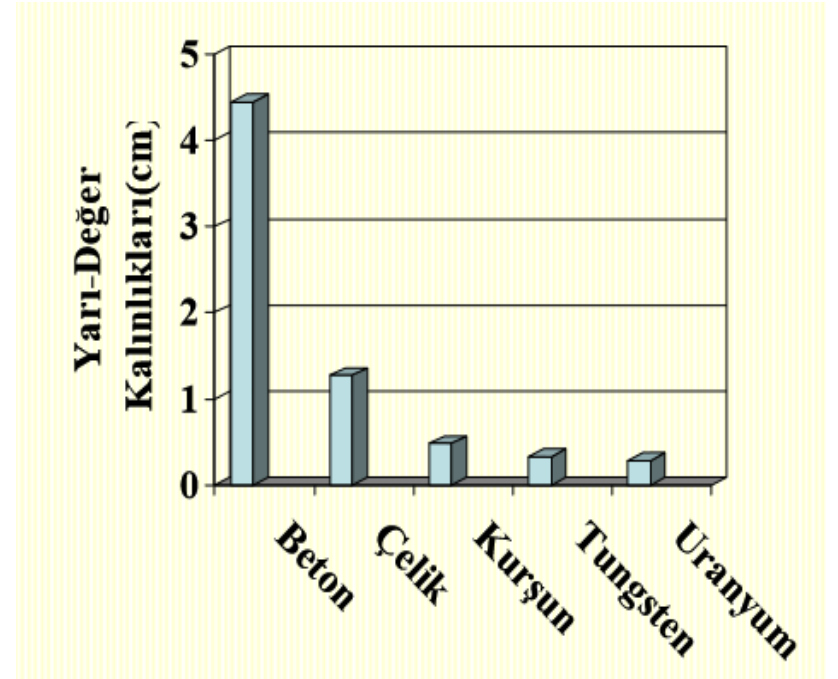
α : İnce bir kağıt tabakası veya cildimiz tarafından soğurulur

β : İnce bir metal tabakası tarafından

γ : Giricilik özelliği daha fazla olup kurşun ve beton gibi yoğun malzemelerde

n : Parafin, beton, su gibi hidrojen zengin ortamlarda soğurulur

- Bir radyasyon kaynağından maruz kalınabilecek belli bir miktardaki radyasyon dozunu yarıya indirebilmek için gerekli zırh malzeme kalınlıkları



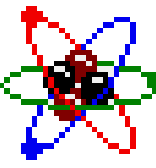
Radyasyonun Etkileri

Stokastik Etki

Non stokastik Etki

Stokastik ve Stokastik Olmayan Etkiler

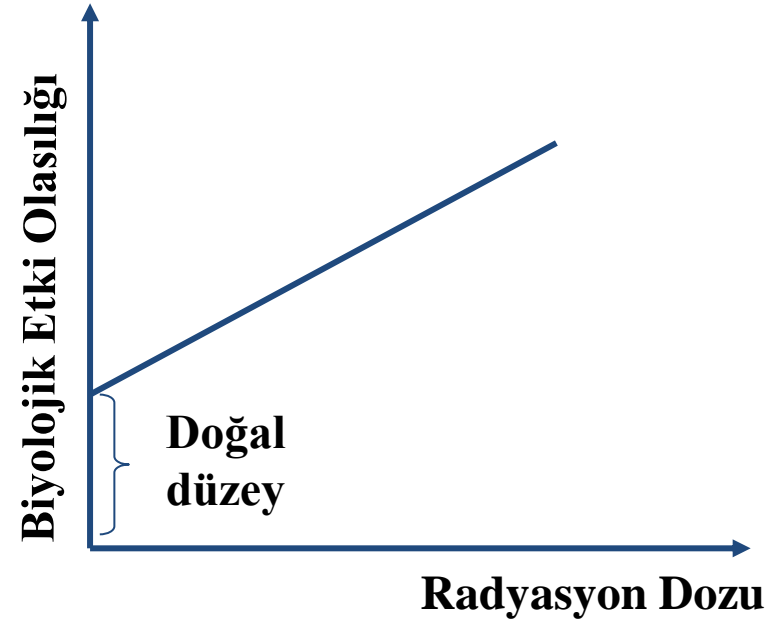
- Herhangi bir eşik dozuna bağlı olmadan ortaya çıkabilen radyasyon etkisi **stokastik** etkidir
- Meydana geliş olasılığı, belirli bir radyasyon dozunun aşılmasını gerektiren **stokastik olmayan** etkidir



Stokastik Etkiler

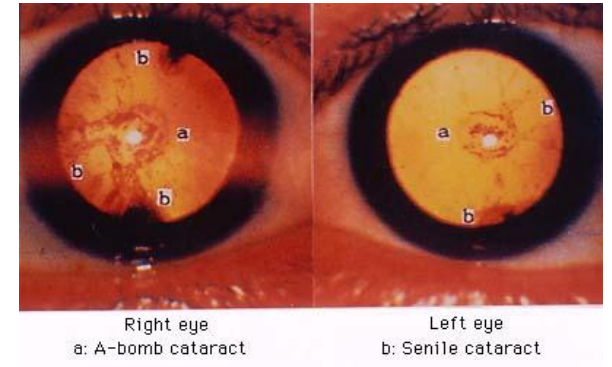
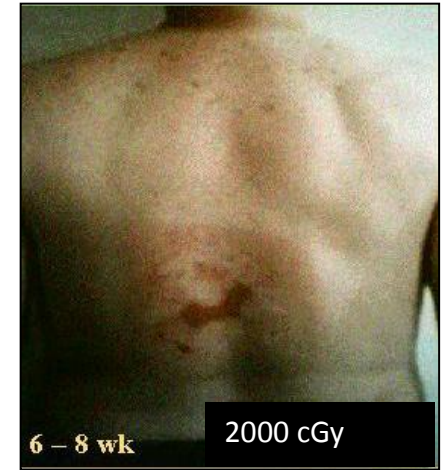
Değişken, rastlantısal

- İstatistiksel bir yol izler
- Eşik değer yok
- Doz artışına bağlı artar
- Bulguların şiddeti radyasyon dozu ile bire bir ilişkili değildir
- Kanser



Deterministik Etkiler (non-stokastik)

- Belli bir eşik dozu var
- Eşik dozundan yüksek dozlarda ortaya çıkar
- Doz ile bireysel etkiler arasında ilişki vardır
 - Katarakt, deride eritem

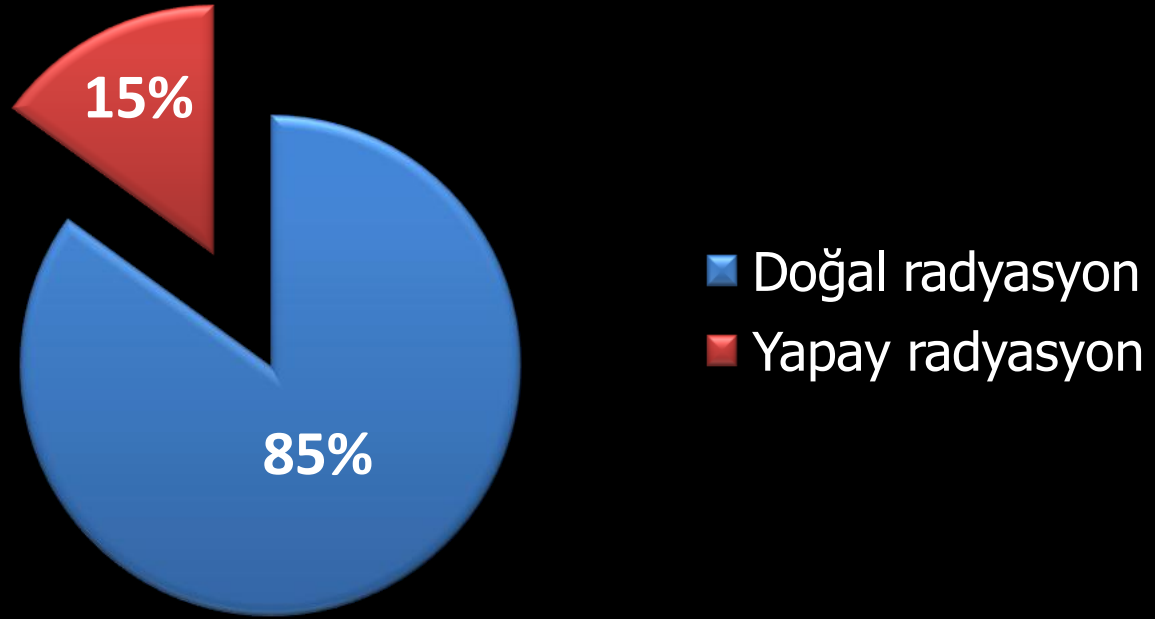


- Dünya Geneline Doğal Radyasyon kaynakları nedeniyle alınan yıllık etkin doz **2.4 mSv**
- Bir akciğer filminden alınan doz **0.02 mSv**
- Bilgisayarlı tomografi ile akciğer tetkikinden alınan doz **8 mSv**
- Tıp alanında çalışan radyasyon görevlilerinin aldıkları dozun yıllık ortalaması **1 - 5 mSv** civarında
- Çernobil nedeniyle Türk Halkının aldığı kişisel doz ortalaması **0.5 mSv**

Işınlama(rem)	Sağlığımıza etkisi	Süre
5 -10	Kanda kimyasal değişim	saatlerce
50	Mide bulantısı	"
55	Bitkinlik	"
70	Kusma	"
75	Saç dökülmesi	2-3 hafta
90	Diare	"
100	Kanamalar	"
400	Ölümcül doz (ÖLÜM)	2 ay içinde
1000	Bağırsak çeperinde hasar	
	İç kanamalar	
	ÖLÜM	1- 2 haftada
2000	MSS nin hasarlanması	Dakikalar
	Bilinç kaybı	İçinde
	ÖLÜM	Ölüm

Radyasyon Çeşitleri

Radyasyon Çeşiti



Doğal Radyasyon Kaynakları

Toprakta

- Toryum
- Uranyum
- Potasyum
- Radyum
- Radon

İnsan Vücudunda

- Potasyum-40 (4400 Bq)
- Radyum
- Karbon-14
- Tiryum
- Polonyum

Doğal radyasyonun bir kısmını uzaydan gelen **kozmik ışınlar** oluşturur

Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken tutulurlar

Sadece küçük bir miktarı yerküreye ulaşır



Kutup yakınlarına ekvatora oranla daha fazla kozmik ışın gelir

Bu ışınlar atmosfere nüfuz ettiklerinde karmaşık reaksiyonlara uğrarlar ve atmosfer tarafından azar azar tutulurlar

Bu nedenle yükseklik azaldıkça doz miktarı da azalır

Kutuplardaki Auroralar



Kutuplardaki Auroralar

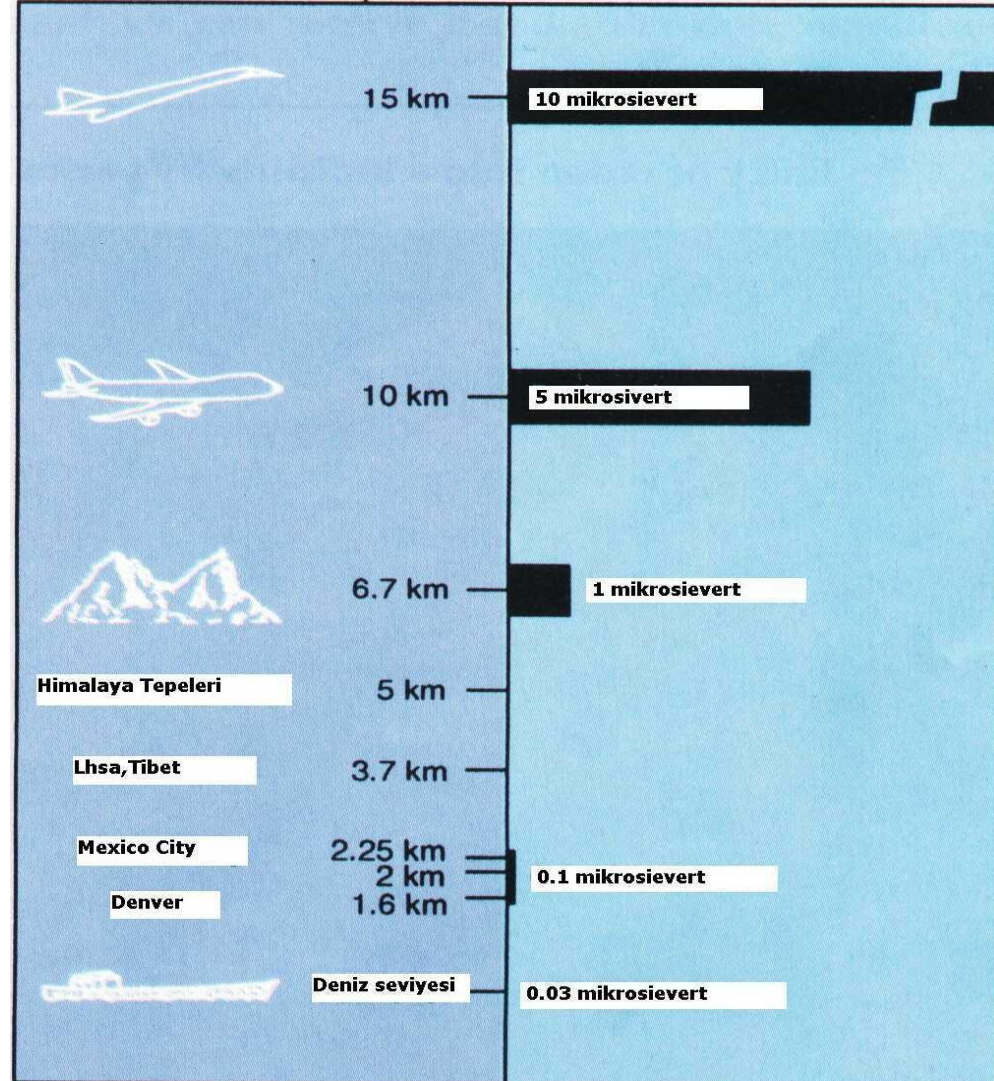


İnsanların büyük çoğunluğu yüksekliği az olan bölgelerde yaşadıkları için, kozmik radyasyon nedeni ile maruz kaldıkları dozlarda fazla farklılık gözlenmez

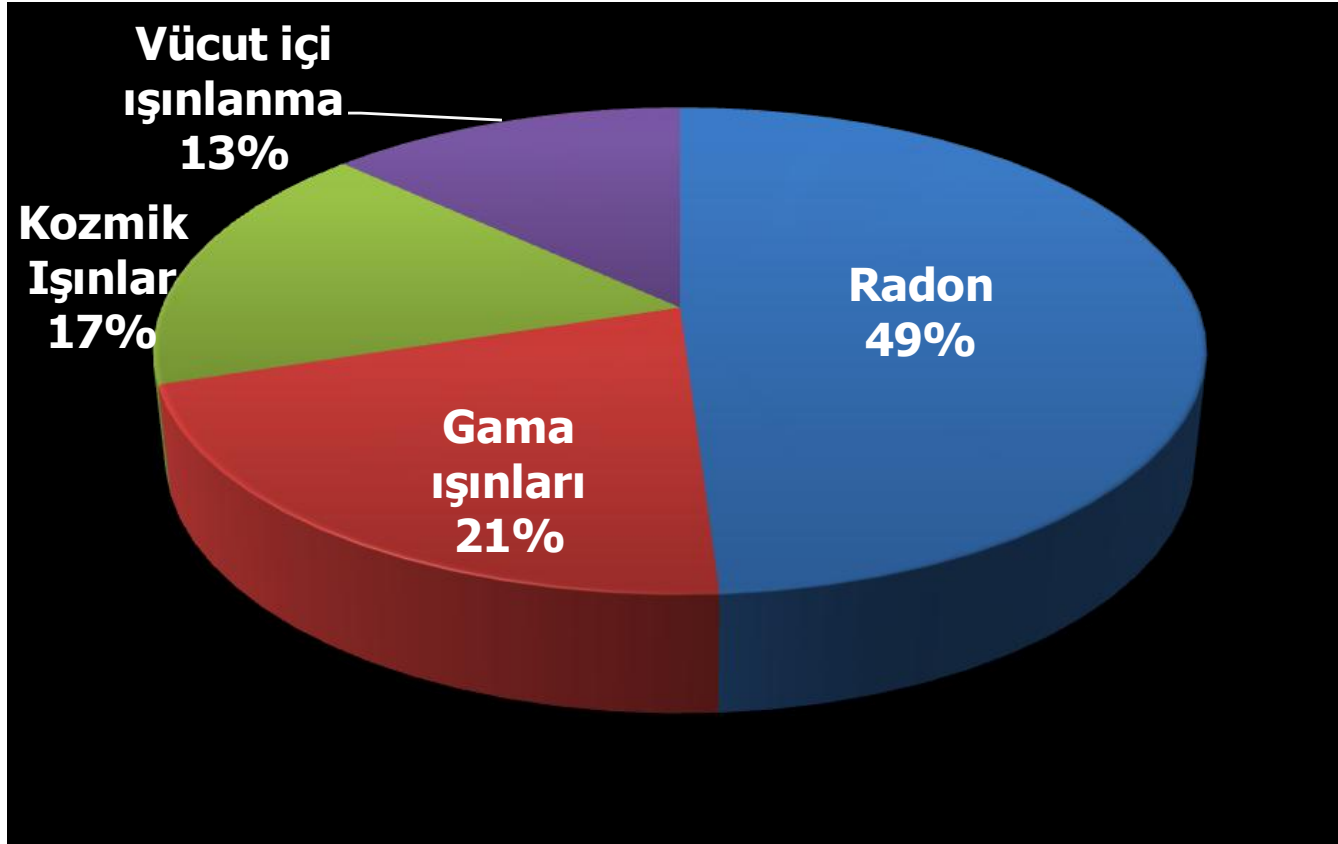
Bir dağın tepesinde veya havada yol alan bir uçakta bulunan bir kişi, deniz seviyesinde bulunan bir kişiden çok daha fazla kozmik ışına maruz kalır

Kozmik ışıklardan 1 saatte alınan radyasyon dozunun yüksekliğe göre değişimi

Yaşantımızda, kozmik ışıklar nedeniyle maruz kaldığımız ortalama radyasyon dozu 0.26 mSv/yıl dır.



Doğal Radyasyon Kaynakları



**Vücutumuzdaki
Doğal Radyasyon miktarları (70 Kg lık kişide)**

Çekirdek türü:	Çekirdeğin Toplam kütlesi:	Çekirdeğin toplam Aktivitesi:	Günlük çekirdek alımı:
Uranium	90 µg	30 pCi (1.1 Bq)	1.9 µg
Thorium	30 µg	3 pCi (0.11 Bq)	3 µg
Potassium 40	17 mg	120 nCi (4.4 kBq)	0.39 mg
Radium	31 pg	30 pCi (1.1 Bq)	2.3 pg
Carbon 14	22 ng	0.1 µCi (3.7 kBq)	1.8 ng
Tritium	0.06 pg	0.6 nCi (23 Bq)	0.003 pg
Polonium	0.2 pg	1 nCi (37 Bq)	~0.6 fg

RADYASYON VE ÇEVRESEL ETKİLEŞİM

HANGİ CİHAZDAN NASIL ETKİLENİYORUZ?

Bilim dergisi American Scientific radyasyonun insan sağlığına etkilerini araştırdı. Dergi, cep telefonundan solaryuma kadar birçok teknik cihazın sağlık için yarattığı tehditleri bir grafikte anlattı

Biyolojik etkiler

DNA'ya zarar vermeyen: İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

DNA'ya zarar veren: İyonlaştırıcı radyasyon

Uzun vadede sağlık problemleri

Vücut ısısında artış

Nefes darlığı, baş ağrısı, alyuvarda değişim

DNA hasarı

Frekans Bandı

Radyo dalgaları aralığı

Yayın ve kablosuz ağ

Mikrodalga

Terahertz

Kızılötesi

Ultraviyole

X ışını ve Gama ışını

Yumuşak X ışını

Sert X ışını



AM Radyo
600 kHz - 1.6 MHz



FM Radyo
88 - 108 MHz



Cep Telefonu
900 MHz - 2.4 GHz



Radar
1-100 GHz



EMAR (1.5T)
63.86 MHz



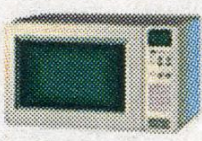
TV yayını
54-700 MHz



Kablosuz ağ
~2.4 GHz



Dijital metre



Mikrodalga fırın

Elektronikler



Tarama
0.2-0.4 THz

Optikler

Görünür dalgaları (nm)

700 625 575 540 470 440

Fiber telekomünikasyon
0.7-1.4 μ m



Uzaktan kumanda
850 nm



Gece görüşü
10-0.7 μ m



Işık
700-400 nm



Solaryum
400-290 nm



Solaryum
400-290 nm



Dış tedavi
200-350 nm



Dış tedavi
200-350 nm



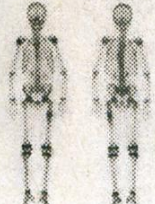
Dış tedavi
200-350 nm



Tıbbi röntgen
80 keV



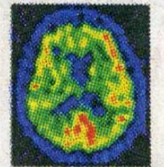
Bagaj taraması
160 keV



Kemik taraması
140 keV



Kozmik gama ışını
>10 BeV



Tomografi
511 keV

Frekans kaynakları

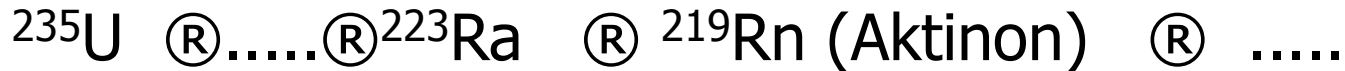
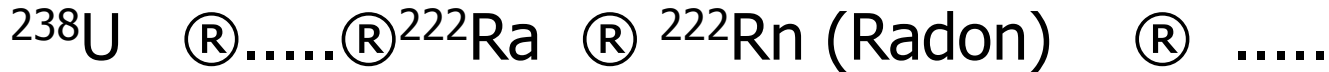
Canlılar çevresinden oldukça anlamlı düzeyde iyonize edici ışıma alırlar:

- Tıp ve diş hekimliğinde kullanılan X-ışımaları
- Teşhis ve tedavide kullanılan ışımalar
- Soluduğumuz havada bulunan Radon

Radon Nedir?

- renksiz,
- kokusuz,
- 86 atom numarası ile soy gazlar sınıfında,
- ^{119}Rn - ^{226}Rn arasında toplam 28 izotopu bulunan bir kimyasal elementtir

Bozunma şeması



Ana atomlar bütün doğal malzemelerde (kaya, toprak ve yapı malzemeleri gibi) bulunabilir

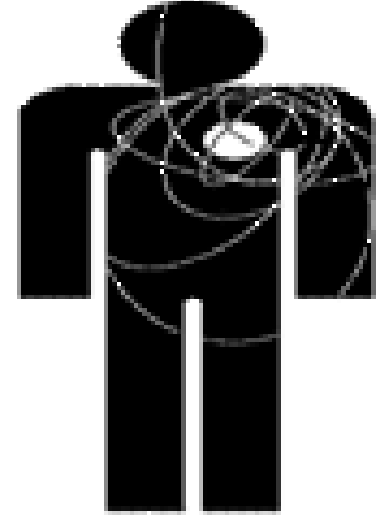
Radon gazı nerelerde bulunur?

- Zemindeki çatlaklar
- Yapı bağlantı noktaları
- Duvar çatlakları
- Asma kat boşlukları
- Tesisat boru boşlukları
- Duvar arası boşlukları
- İçme suyu

- Yiyecek, içecek ve teneffüs ettiğimiz havadan aldığımız radyoaktivite nedeni ile
- Yeryüzündeki radyonüklidlerin yaydığı gama ışınları nedeniyle tüm vücut radyasyona maruz kalır

Alınan radyasyon dozu,

- bölgenin taşına,
- toprağına
- yapı malzemesine bağılıdır



Vücudumuzda bulunan radyoaktif elementlerden (özellikle Potasyum-40) nedeni ile belli bir radyasyon dozuna maruz kalırız

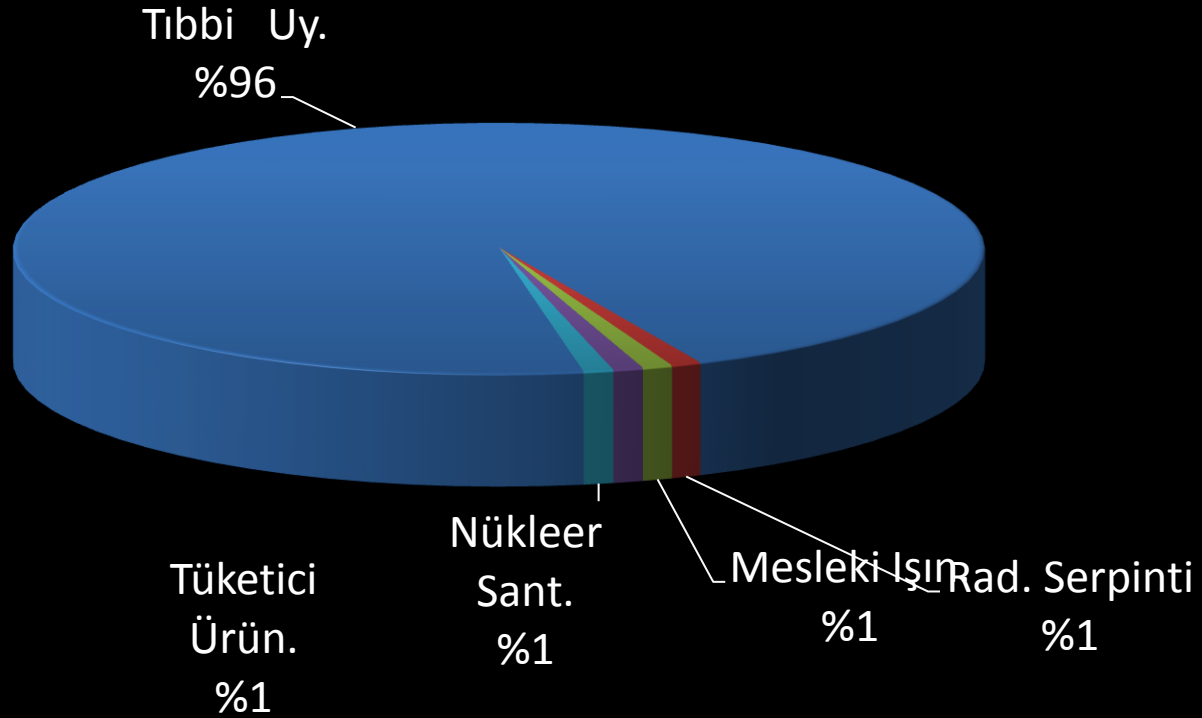
Potasyum- 40' in vücuttaki miktarı, vücuttaki kas miktarı ile değişir

YAPAY RADYASYON KAYNAKLARI

- Tıbbi Uygulamalar
 1. Tanısal Radyoloji
 2. Nükleer Tıp
 3. Radyoterapi
- Endüstriyel Uygulamalar
 1. Sterilizasyon
- Nükleer Serpinti
- Nükleer Santraller
- Tüketici Ürünleri



Yapay Radyasyon Kaynakları



Tıbbi Uygulamalar

Radyasyon Kaynağı	Doz (mSv)
Radyoloji	0.5
Dişçilik	0.06
Nükleer Tıp	0.8
Radyoterapi	0.6

Tanısal Amaçlı Bazı X-Işını Tetkikleri Nedeni ile Alınan Etkin Doz Değerleri

Tetkik	Konvansiyonel X ışını, Doz, (mSv)	Bilgisayarlı Tomografi, Doz, (mSv)
Kafa	0.07	2,3
Diş	< 0.1	-
Akciğer	0.14	8.0
Karın	0.53	13.3
Kalça	0.83	13.3
Omurlar	2	8.8
El, ayak	0.06	-

Tanısal Amaçlı Bazı Nükleer Tıp Tetkikleri Nedeni ile Alınan Etkin Doz Değerleri

Tetkik	Etkin Doz, mSv
Beyin	6.99
Kemik	4.3
Troid, Akciğer	12
Karaciğer, Böbrek	1.5

Hastalık kategorisine göre hedef hacim için ortalama tedavi dozları

Kanser/tümör türü	Tedavi Dozu (Teleterapi), Gy	Tedavi Dozu (Brakiterapi), Gy
Lenfoma	39	-
Meme	54	16
Akciğer	49	
Baş-boyun	60	44
Beyin	53	-
Prostat	59	35
Jinekolojik	50	45



Radyasyonun Biyolojik Etkileri

İyonize radyasyonlar hücrelerin normal işleyişini etkileyebilirler

İyonize radyasyonların biyolojik etkileri, hücrelerde bulunan atomların iyonlaşmasıyla başlar

İyonlaştırıcı radyasyon hücreler ile etkileştiğinde,
hücrenin kritik bir kısmında hasar oluşturabilir
(oluşturmayabilir de)

İyonlaşma bazı durumlarda, hücrenin yapısını değiştirir

Fakat bu değişiklikler, hücrelerde doğal olarak ortaya çıkan değişikliklerden farklı değildir

Yani, iyonlaşma olumsuz bir etki oluşturmaz

Normal zamanlarda da hücrelerde hasarlar oluşur, oluşan hasarlar onarılır ve normal çalışmalarını sürdürürler

Bazı iyonlaştırıcı olaylar, normalde hücrede bulunmayan maddeler üretilmesine neden olur

Bu durum, hücre yapısı ve bileşenlerinin bozulmasına neden olabilir

Vücudumuzda her gün sürekli olarak oluşan,
binlerce kromozomal değişiklik vardır

Kromozomlar,

- hücrenin kendini yenilemesinde,
- işlevlerini yerine getirmesinde rol oynadığı
- genetik bilgileri içeren
- hücrelerin temel (kritik) parçalarıdır

Hücrelerin, kromozom hasarlarını onarmayı da içeren, düzenli olarak çalışan etkin bir onarım mekanizması vardır

Hücreler, sınırlı düzeyde oluşan hasarları onarabilirler

Kromozomlarda oluşan hasarlar genellikle onarılır

Eğer zarar görmüş bir hücre, kendini onarmadan önce bir işleve gereksinim duyarsa, ya onarım işlevi gerçekleşmez ya da işlev yanlış gerçekleşir veya işlev tamamlanmaz

Bu durumda hücre normal işlevlerini yerine getirmeyebilir veya diğer hücrelere zarar verir

Bu hücreler kendi kendilerini eşleyemeyebilirler veya kontrolsüz bir şekilde çoğalabilirler ki bu tür hücreler kansere zemin oluşturabilirler

Bir hücre radyasyon nedeniyle ciddi bir şekilde zarar görmüşse veya işlevleri bozulmuşsa hücre ölebilir

Hücrenin radyasyondan zarar görme düzeyi,
hücrenin radyasyona ne kadar duyarlı olduğuna
bağlıdır

Hücrelerin tümü, radyasyonun zararlı etkilerinden aynı şekilde etkilenmezler

Genel olarak, bölünme hızı yüksek olan hücreler, bölünme hızı düşük olan hücrelere göre radyasyondan daha fazla etkilenirler

Hücrelerin Radyasyona Karşı Duyarlılık Sırası

(Bölünen hücreler radyasyona karşı daha hassastır)

- Beyaz kan hücreleri (Lenfositler)
- Kırmızı kan hücreleri (Eritrositler)
- Sindirim sistemi hücreleri
- Üreme organı hücreleri
- Cilt hücreleri
- Kan damarları
- Doku hücreleri (Kemik ve Sinir Sistemi)

Radyasyona Karşı Doku ve Organ Duyarlılığı

- Karaciğer, böbrek, kas, kemik, kıkırdak ve bağ dokuları yetişkin canlılarda farklılaşmış ve bölünmediği için radyasyona karşı dirençlidirler
- Kemik iliği, ovaryum ve testislerin (üreme organları) bölünen hücreleri, mide-bağırsak ve derideki epitel hücreler ise radyasyona duyarlıdırlar

Radyasyonun Biyolojik Etkileri-1

- DNA, hücre ve insanın büyümesini ve gelişmesini kontrol eden kromozomları oluşturduğu için radyasyon hasarından etkilenen moleküllerin en önemlilerindedir
- Radyasyonun DNA'yı etkilemesi, organizmaya üç şekilde zarar verebilir.
 1. Hücre ölümü
 2. Malignite
 3. Genetik hasar

Radyasyonun Biyolojik Etkileri-2

- Eğer hasar germ hücrelerindeki DNA'da oluşursa bir sonraki ya da daha sonraki nesillerde zararlı etkiler görülebilir
- DNA'daki hasar sonucu kromozomal değişikliklerin neden olduğu mutasyonlar, resessif özelliktedir
- Bu durumda genetik etki, ancak aynı özellikte mutasyona uğramış diğer bir üreme hücresi ile fertilizasyon olduğunda ortaya çıkar

Radyasyonun Biyolojik Etkileri-3

- İyonizan ışınların maddeyle etkileşimi sonucu ısı ve iyonizasyon oluşur
- Canlı organizma ile bu etkileşim, doğrudan veya dolaylı olarak iki şekilde olur

Doğrudan Etki

- Hücredeki makro moleküllerde (enzim, protein, RNA, DNA) olur
- Enzim ve proteinlerde oluşan etki hücre tarafından onarılabilir
- DNA'da oluşan etki ise onarılamaz
- DNA'da oluşan bu etkiler genetik mutasyon ve hücre ölümüne neden olabilir

Dolaylı Etki 1

- Su moleküllerinde görülen etkidir
- İnsan vücudunun % 80'i sudur
- Su, radyasyona maruz kaldığında, başka moleküler yapılara bölünür
- Buna ***suyun radyolizi*** denir
- Suyun radyolizi sonucunda yaklaşık 1 ms'lik bir süre için, H ve OH serbest kökleri oluşur

Dolaylı Etki 2

- Su molekülüne
- enerji yüklü elektron çarpınca, bağlayıcı elektronlardan biri dışarı çıkabilir ve su molekülü parçalanarak bir hidrojen (**H⁺**) **iyonu** ve bir hidroksil (**⁰OH**) **Radikali** meydana gelir
- radyasyon nedeni ile enerji yüklü elektron çarpması ile dışarı çıkan suya ait elektron başka bir su molekülü tarafından da tutulabilir. Negatif yüklü hale gelen su molekülü bu kez de bir hidrojen (**⁰H**) **Radikali** ve bir hidroksil (**OH⁻**) **iyonu** şeklinde iki parçaya bölünebilir

Dolaylı Etki 3

- Bunların enerji fazlaları, diğer molekülleri etkileyerek moleküler bağları çözebilir
- Ayrıca serbest köklerin birleşmesi sonucu, hidrojen peroksit (H_2O_2) oluşabilir
- Bu madde, hücreye toksik etkilidir
- Bu şekilde oluşabilen hidrojenperoksit (H_2O_2) kökü de hücreye hasar vermektedir

Radyasyonun Biyolojik Etkileri-4

- Radyasyonun canlı üzerindeki etkileri, ışınlamanın şiddeti ve süresine göre değişir
- Etkiler hemen görülebildiği gibi latent bir dönemden sonra da görülür
- Tanısal amaçlı X-ışını cihazlarıyla alınan dozun düşük olması nedeniyle burada oluşan etkiler, nükleer silah ya da reaktör kazalarında görülen etkilerden farklı olmaktadır

Bir kaza oluşumu sonucu, erken safhalarındaki en önemli ışınlanma yolları şöyle sıralanabilir

- 1-** Radyoaktif kaynak, nükleer tesisten ve salınan herhangi bir radyoaktif maddeden kaynaklanan **direkt (doğrudan) radyasyon**
- 2-** Hava ile taşınan radyoaktif maddelerin (uçucular, aerosoller, partiküller), **solunmasından**
- 3-** Radyoaktif maddelerin toprakta veya yüzeyde birikimi nedeni ile doğrudan **radyasyon ışınlanmalarından**
- 4-** Cilt ve giysilere **bulaşan** radyoaktif maddelerden kaynaklanır

20 - 30 Gy arasında bir doza maruz kalmış bir işçinin ellerinde meydana gelen yanık ve su kabarcıkları



5 – 10 Gy lik, Ir-192 radyoaktif kaynağını iç önlüğünün cebinde 2 saat taşıyan bir işçinin, göğsünün ön ve saç tarafında işinlanmadan 11 gün sonra oluşan kızarıklıklar



20-30 Gy lik ışımaya maruz kalan işçinin, 21 gün sonra, ışınlanan bölgesinde meydana gelen deri dökülmesi



Arka cebinde 28 Ci'lik Ir-192 kaynağını 45 dakika taşıyan bir kişinin kalçasında meydana gelen radyasyon yanığıının gelişimi



olaydan 31 gün sonra



olaydan 50 gün sonra bacadan alınan deri dikilmiş



olaydan 6 ay sonra

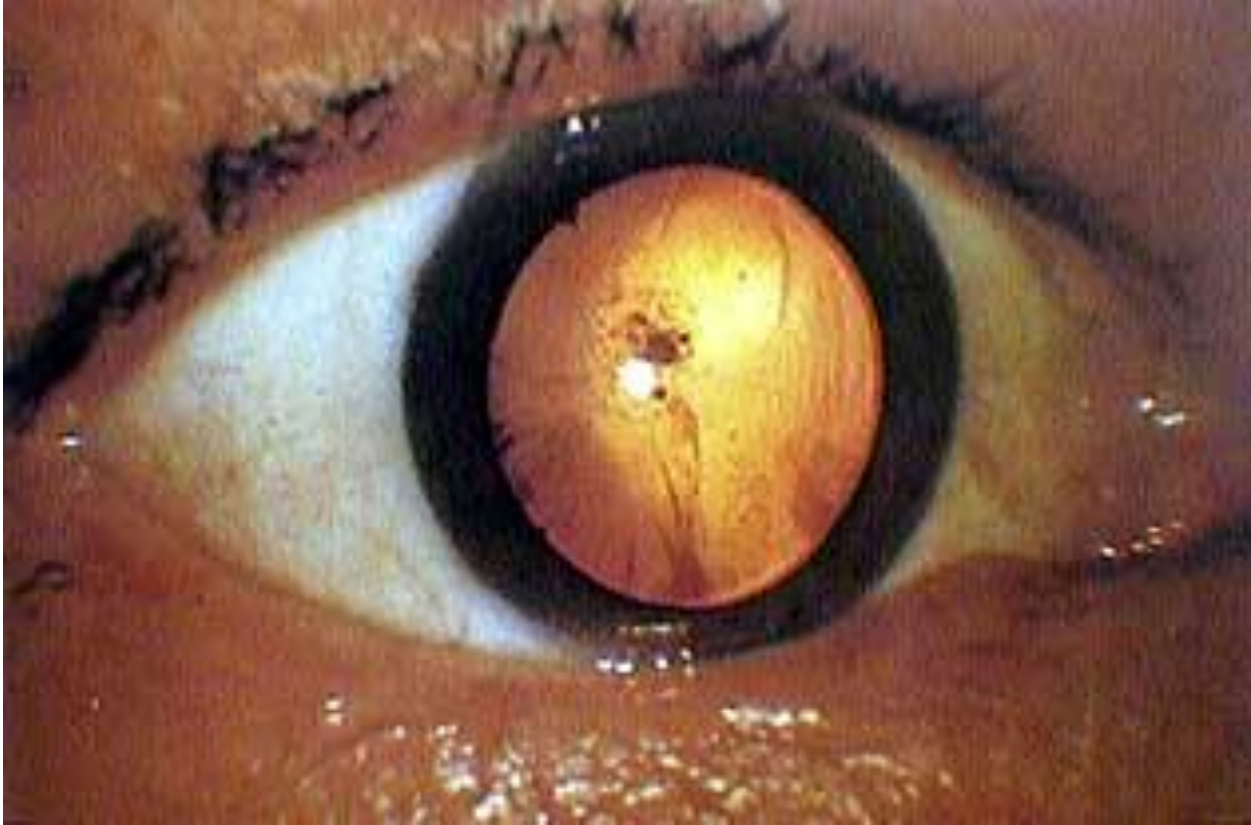


olaydan 19 ay sonra

Hiroşimaya atılan bombanın Radyasyon ışması sonucu deride oluşan yanıklar-keloid yaraları



Bombalama ile yayılan UV sonucu gözde
oluşan katarakt



Hücre düzeyinde etkime

Dört ana evreden oluşan bu olaylar arasında kesin sınırlar yoktur. Öyle ki bazı olaylar fizikokimyasal evrede iken bazı olaylar kimyasal evreye geçmiş olabilir.

I- FİZİKSEL EVRE: (10^{-13} s içinde oluşur)

Işımanın hücrenin bir atomu veya molekülü ile etkileşmesi sonucu enerjisinin **biyomoleküllerce soğurulması ile iyonlaşmanın ve uyarılmanın** meydana gelmesi

II- FİZİKO KİMYASAL EVRE: (10^{-10} s içinde oluşur)

Bu iyonlaşma sonucu hücre içinde yeni ürünler oluşur. Örneğin hücredeki **makromoleküllerde birinci kırılma oluşur ve hücredeki suyun ışığa ile etkileşmesi sonucu kimyasal yönden son derece aktif yüksüz radikaller oluşabilir**

III- KİMYASAL EVRE: (10^{-6} s içinde oluşur)

Bu radikaller arasında veya radikallerle hücre molekülleri arasında ısı, basınç ve oksijen miktarı gibi çevresel etkiler yardımıyla çeşitli kimyasal reaksiyonlar oluşur

IV- BİYOLOJİK EVRE: (1 s ile 40 sene içinde oluşur)

Hücrede oluşan zarar sonucu ışımamın dozuna, dozun verilme hızına, ışımamın türü ve enerjisine, dozun dokularda dağılımına ve dokuların ışımaya karşı duyarlılığına bağlı olacak şekilde biyolojik etkimler ortaya çıkar

Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Fiziksel olaylar (iyonlaşma, uyarma)

← Atom düzeyinde



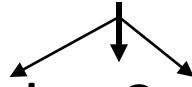
Fizikokimyasal olaylar (Radikallerin oluşumu)

← Moleküler düzeyde



Direkt ve indirekt etki (Hücresel zarar)

← Hücre düzeyinde



Somatik Hücreler

Germ Hücreleri

Somatik etki

← Organ düzeyinde

Akut etki

Kronik etki

Lösemi

Kanser

Genetik etki
(Mutasyon)

Eşik doz (50 rem)

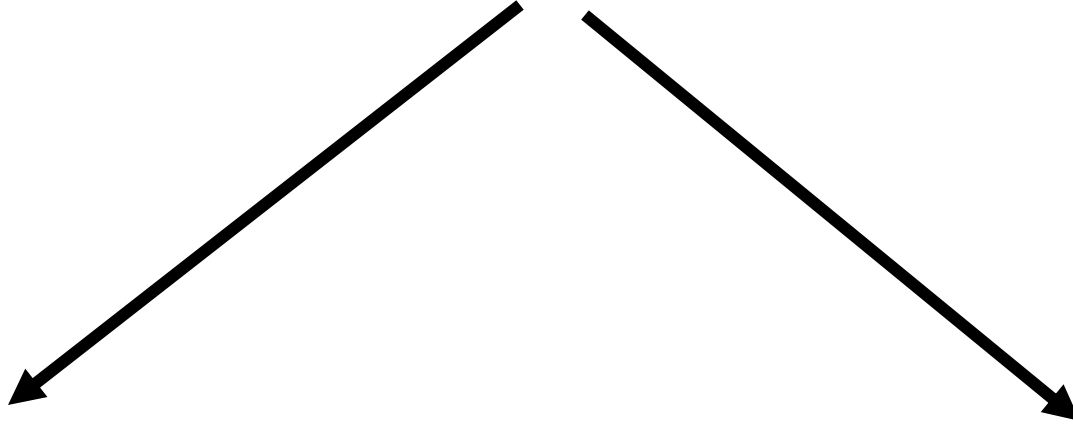
Eşik doz yok

(Rastgele olmayan etki)

(Rastgele etki)

Akut ve Kronik Radyasyon Dozları

Radyasyonun Doza Bağlı Biyolojik Etkileri



Akut Etkiler

Kronik Etkiler

Akut radyasyon dozu

- Tüm vücudun ***10 Rad veya daha yüksek*** dozlarda radyasyona maruz kalması
- Eğer alınan radyasyon dozu yeterince büyükse, doza bağlı olarak biyolojik etki, saatler veya haftalar içinde ortaya çıkar
- ***Ani olarak yüksek dozlarda radyasyona maruz*** kalma sonucu ortaya çıkan sendromlar, Akut Radyasyon Sendromu olarak adlandırılır

Kemik iliği sendromu

- >100 rad düzeyindeki radyasyon,
 - kemik iliği,
 - dalak
 - lenfatik dokular gibi en hızlı bölünen hücrelerde hasara neden olur
- Belirtiler:
 - iç kanama,
 - yorgunluk,
 - bakteriyel enfeksiyonlar
 - ateş

Gastrointestinal Sistem Sendromu;

>1000 rad düzeyinde radyasyon, mide ve bağırsak gibi daha yavaş bölünen hücrelerde hasara neden olur

- Belirtiler:
 - mide bulantısı,
 - kusma,
 - ishal,
 - su kaybı,
 - elektrolit denge bozukluğu,
 - sindirim yeteneği kaybı,
 - ülser kanaması

>5000 rad düzeyindeki radyasyon, sinir hücresi gibi yenilenmeyen hücrelerde hasara neden olur

Belirtiler:

- Koordinasyon kaybı
- Konfüzyon
- Koma
- Kasılma
- Şok
- Gastrointestinal sistem ve kan yapıcı organ semptomları

Diğer akut etkiler-1

200-300 rad düzeyinde radyasyona maruz kalan kişilerde,

Deride kızarıklık (erythema), saç foliküllerinin zarar görmesine bağlı saç dökülmesi görülür

Diğer akut etkiler-2

125-200 rad düzeyinde radyasyona maruz kalan bayanların yumurtalıkları etkilendiğinden % 50 sinde kalıcı adet düzensizliği görülmektedir

600 rad düzeyinde radyasyona maruz kalanların kısırlık görülmektedir

Kronik radyasyon etkileri

- Uzun zaman diliminde düşük düzeylerde radyasyona maruz kalma sonucu ortaya çıkar
- Vücut kronik olarak alınan radyasyon dozunu, akut olarak alınan radyasyona göre daha iyi tolere edebilir

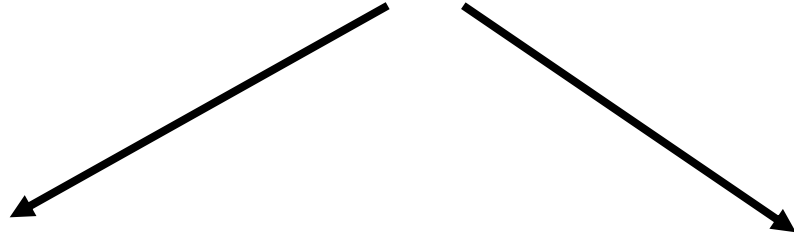
Böylesi durumlarda, hücrelerde oluşan hasar düşük olduğundan, vücudun oluşan zararları onarmak için gerekli zamanı vardır

Vücudun ayrıca ölü veya işlevini yitirmiş hücreleri sağlıklı yeni hücreler ile değiştirmek için yeterli zamanı vardır

Somatik ve Genetik Etkiler

- **Somatik etki**, radyasyona maruz kalan kişide gözlenen etkiler olarak tanımlanır
- **Genetik veya kalıtımsal** yolla ortaya çıkan radyasyon etkileri, radyasyona maruz kalan kişinin kendinde değil de, daha sonraki nesillerinde ortaya çıkan etkilerdir

Somatik etkiler, alınan radyasyon dozuna bağlı olarak



Erken ortaya çıkan

400 rad lık bir radyasyona maruz kalan kişinin saçlarındaki geçici dökülmeler

Geç ortaya çıkan

kanser oluşumundaki artış ve katarakt

BİR SAĞLIK SKANDALI

Dr. C. C. MOYAR ın **sağlıklı ve güçlü yaşam için** önerdiği **RADITHOR** (Radyoaktif distile su) den **2 yıl içinde 1400 şişe** içen Eben BYERS (51 yaşında) Radium zehirlenmesinden dolayı öldü



Radyoaktif su



Radyoaktif Çikolata

CEP TELEFONLARINDAN YAYILAN RADYASYON

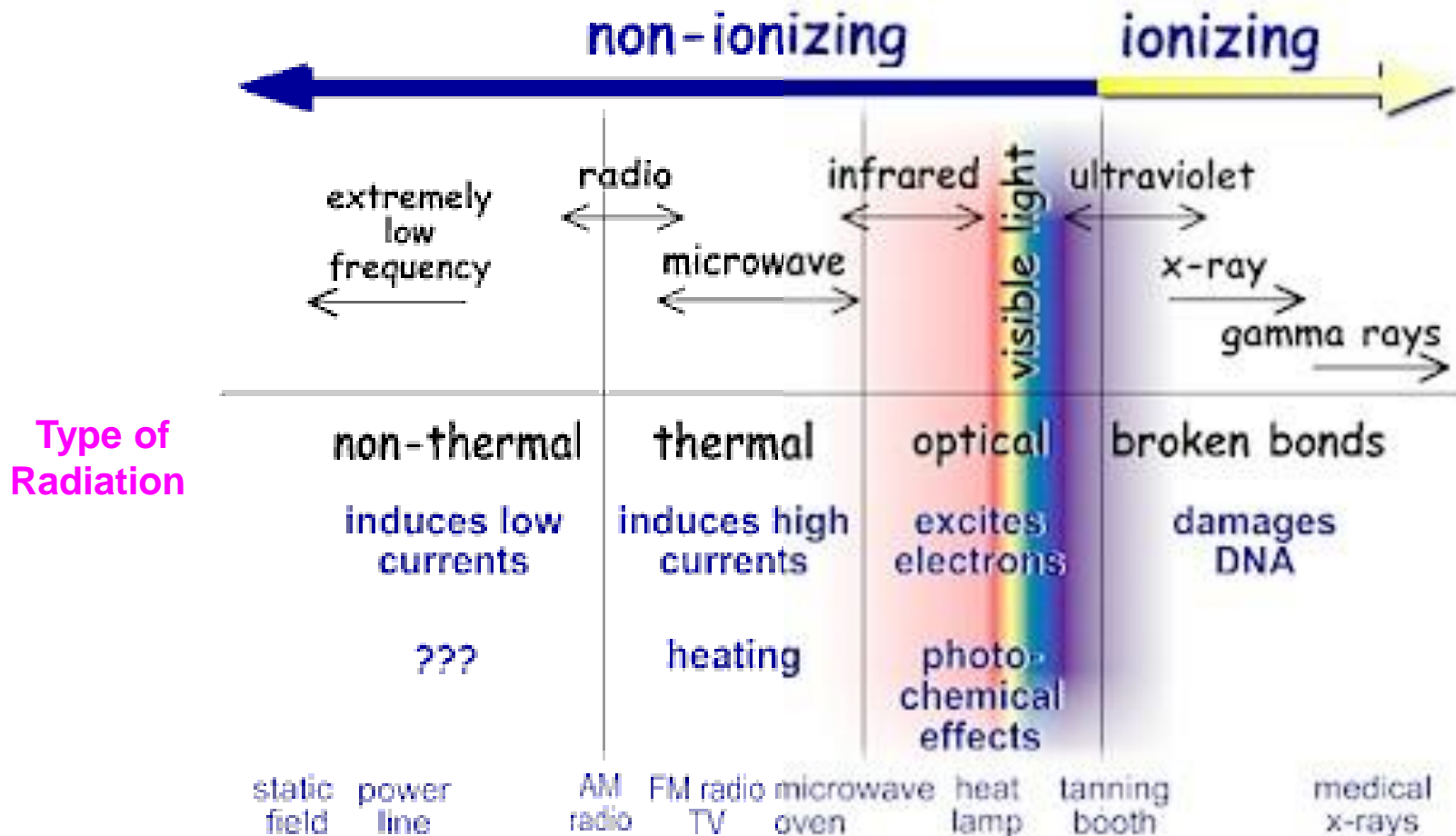
Cep telefonlarından yayılan non-iyonizan radyasyonun soğurulması SAR (Specific Absorption Rate) 1 ile 10 gr lık dokuda Watt/kg ile tanımlanmaktadır

Uluslararası Non-iyonizan radyasyondan korunma komisyonu (ICNIRP) verilerine göre **Avrupada SAR güvenlik sınırı 10 gr lık dokuda 2 Watt/kg dır.**



Düşük radyasyon için antenleri saklı olanlar ve beyinden uzakta kullanılanlar seçilmeli

Elektromanyetik spektrum içindeki ışıklar:



NEW APPROVED Greetings - State Dept. of Health

Garry Varvel
The Inimitable State
Quack Comics - 2008



Long distance Wave



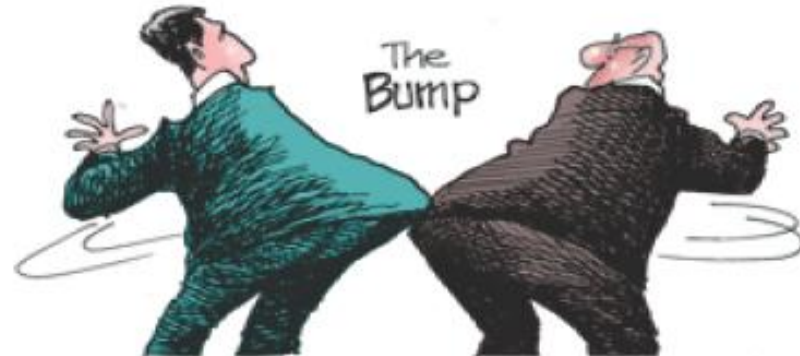
Elbow Bump



Sanitary Gloves



The Bow



The Bump

garyvarvel.com

Unutma

Radyasyon görölmez kokusu
alınmaz ve duyu organları
tarafından algılanamaz