

NÜKLEER TIP



Yrd. Doç. Dr. Deniz BEDEL

MADDENİN TEMEL YAPISI ve ATOM

- Moleküller, maddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini kaybetmeden bölünebilecek en küçük parçacıkları olarak bilinir.
- Molekülleri oluşturan temel yapı taşları **atomlardır**. Radyoaktif parçalanmalar dışında atomlar başka bir maddeye dönüştürülemez.
- En basit anlamda atomik yapı; ortada **pozitif yüklü bir çekirdek** ve çekirdek etrafındaki, çeşitli enerji düzeylerinde (yörüngelerde) dolanan **elektronların** oluşur.



- Çekirdek içindeki temel parçacıklar **proton** ve **nötronlardır**. Proton, pozitif yüklü bir taneciktir. Çekirdek içindeki proton sayısı aynı zamanda **atom numarası** olarak da bilinir.
- Nötron ise çekirdekteki yüksüz bir parçacıktır. Bir atomdaki nötron ve proton sayılarının toplamı, **kütle numarası** olarak bilinir.
- Nötr atomda proton sayısı elektron sayısına eşittir. Nötr olmayan atom iyon adını alır. İyon halindeki atomlarda elektron sayısı proton sayısına eşit değildir.

Günümüzde geçerli atom modeli 1913 yılında Niels Bohr tarafından ortaya atılan modeldir. Buna göre;

- Atomda elektronlar dairesel yörüngeler üzerinde hareket edebilirler.
- Elektronlar hareket ettikleri yörüngeye belli bir enerji ile bağlı olup, yörünge değiştirmedikçe hiçbir ışıma bulunmazlar.
- Bir elektron aldığı enerji ile daha üst yörüngelere geçebilir veya enerji vererek alt yörüngelere inebilir. Bu sırada elektronun ayrıldığı ve geldiği yörüngelerdeki enerjilerin farkına eşit bir foton yayınlanır.

- X ışınları** ve **gama ışınlarının** her ikisi de atomdan bir enerji salınımı sonucu meydana gelirler.
- Yörüngelerde dolanmış elektronların yörünge değiştirmeleri sonucu X ışını salınımı olur.
- Gama ışınları ise çekirdeğin kendi içindeki değişiklikler sonucu salınırlar



Stabil (Kararlı) Nüklidlerin Karakteristiği

- Bir atomun sağlamlığı çekirdek içindeki nötron ve proton sayıları ile ilişkilidir.
- Nötron/proton oranı 1'e ne kadar yakınsa çekirdek aynı oranda sağlamdır.
- Elementlerde N/P oranı 1 – 1.5 arasında iken kararlılık görülür.
- N/P oranı 1.5 – 2.5 arasındaki elementler doğal radyoaktiftir.
- N/P oranı 2.5'tan büyük olan elementlerde ise suni radyoaktiflik ortaya çıkar

RADYOAKTİVİTE

- İzotop:**
- Bir elementin atom numarası aynı, kütle numarası farklı ve aynı kimyasal özelliklerini taşıyan iki veya daha fazla formundan biri olarak tanımlanır.
- Örneğin I-125, I-127 ve I-131 iyot elementinin izotoplarıdır.
- İzomer:**
- Proton sayısı, nötron sayısı ve kütle numarası aynı olup sadece enerjileri farklı olan nüklidlerdir. Kütle numarasının yanına konulan **m harfi** ile gösterilirler.
- Örneğin Tc-99m ile Tc-99 birbirinin izomeridir.

- 1896'da Becquerel tarafından uranyum cevherinin fotoğraf plağını kararttığını ve gazları iyonize ettiğini gösterilmiştir.
- 1898'de Marie ve Pierre Curie bu fenomeni radyoaktivite adını vermişlerdir.
- Daha sonra Rutherford ve Soddy radyoaktiviteyi, kararlı olmayan bir elementin başka bir elemente dönüşmesi ve bu arada radyasyon yayması durumu olarak açıkladılar.

- Radyoaktif bozunma** çekirdeğin sahip olduğu fazla enerjinin elementer partiküller (Alfa, Beta) veya elektromagnetik radyasyon (Gama) şeklinde atılması durumudur.
- Radyoaktif bozunma tamamen rasgele bir olaydır. Çekirdeğin ne zaman bozunacağı önceden bilinemez, sadece belli bir anda bozunum olasılığından söz edilir.

- Radyoaktif elementler doğada bulunabilir veya yapay olarak üretilebilirler.
- Atom numarası 82'den büyük olan doğal elementlerin hepsi radyoaktiftir. Çünkü bu tip nüklidlerin çekirdeklerindeki proton-nötron dengesi nötron lehine bozulmuştur.
- Ancak, Potasyum-40 ve Karbon-14 gibi atom ağırlığı 82'den düşük olan bazı nüklidler de spontan olarak bozunmaya uğrarlar.
- Radyonüklidler ister yapay, isterse doğal olsun alfa, beta ya da gama adı verilen ışınlar ya da bunların kombinasyonları şeklindeki enerji ışımaları ile bozunurlar.

Radyoaktif Bozunma

- Radyonüklidlerin yaydıkları ışın türleri temelde üç cinstir:
 - Bunlar alfa, beta ve gama ışınlarıdır.
- Radyoaktif bozunmalar genelde bir beta veya bir alfa bozunması şeklinde olur. Her iki durumda da gama ışınları ardışık reaksiyonlar sonucunda yayılır.
- Sadece alfa veya sadece beta yayarak bozunan radyonüklidler pür (saf) alfa ya da beta yayıcıları olarak adlandırılır.

Yarıömür:

- Belli bir zaman başlangıcındaki radyoaktif atomların sayısının yarıya inmesi için geçen süredir ve T1/2 ile gösterilir.
- Her izotopun kendine özgü bir yarı ömrü vardır ve bu süre saniyeler kadar kısa veya milyarlar yıl gibi uzun olabilir

Radyasyon:

- Nükleer tiptaki anlamı enerji geçişidir. Temel olarak iki özel tipi vardır:
 - **Partikül radyasyon:** Alfa (α) ve beta (β) ışınlarıdır.
 - Taneceklerin yüksek hızda kazandıkları kinetik enerji olarak tanımlanır.
- **Elektromanyetik radyasyon:**
 - Gama ve X ışınları elektromanyetik radyasyon sınıfına girerler.
 - Enerjinin uzayda ışık hızıyla titreşerek taşınması anlamına gelir.
 - Elektromanyetik radyasyonların dalga boyları çok düşük, frekansları da çok fazladır.
 - Elektromanyetik radyasyonların enerjileri arttıkça enerji paketi anlamına gelen foton adı alırlar. Fotonlar uzayda ışık hızıyla hareket ederler.

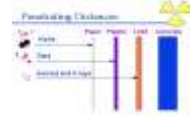
Elektromanyetik Spektrum



- **Alfa (α) Bozunması:**
 - Alfa ışınımında radyonüklid ağır bir partikülü çekirdekten atar. Bu partikül bir helyum atomudur ve 2 nötron ve 2 proton içerir.
- **Beta (β) Bozunması:**
 - Yüksek hızlı ve kinetik enerjileri yüksek partiküllerdir. 1 MeV enerjili beta partikülünün dokuda erişme uzaklığı 0.42 cm kadardır.
 - İki tipi vardır $\beta(-)$ negatron ve $\beta(+)$ pozitron bozunması

• Gama Emisyonu:

Gama fotonları elektromanyetik dalga özelliğindedir, elektriksel yükü yoktur. Penetrasyon yetenekleri diğerlerinden daha büyüktür. Teorik olarak tamamen absorbe edilemezler.



Radyoaktif Parçalanma (Dikey) Prensipleri

- Radyoaktif parçalanma veya bozunma (dikey) kendiliğinden olan bir olaydır. Bu olayı durdurmak, yavaşlatmak veya bozunma hızını değiştirmek mümkün değildir.
- Radyofarmasötikler vücuda alındığında, miktarlarının azalmasında iki olay önem kazanır:
 - Birincisi radyonüklidin **fiziksel yarılanması**,
 - ikincisi radyofarmasötüğün **biyolojik yollardan** (idar, feçes, tükürük, terleme, inhalasyon vb) vücut ya da organ dışına atılarak miktarının yarılanmasıdır.
- Ancak vücut içinde her iki olay birlikte meydana geldiğinden, her iki olay birlikte ifade eden **effektif yarılanma**dan söz edilir.

İyonize Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

- **Yüklü partiküllerin madde ile etkileşimi:**
 - Yüklü partikül kavramından alfa ve beta radyasyonu anlaşılmalıdır. Ancak beta pozitif yani pozitronların madde ile etkileşimi, alfa ve negatronlardan farklıdır. Bu nedenle ayrı bir bölüm olarak açıklanacaktır.

- Yüklü bir partikül herhangi bir maddenin içerisinde geçtiği zaman, hedef molekül veya atomların negatif yüklü elektronları ve pozitif yüklü çekirdekleriyle etkileşir. Bu etkileşimler üç türlü olaya neden olur:
 1. Atom çekirdeği ile elastik çarpışmalar,
 2. Elektronların eksitasyonu,
 3. Elektronların atomdan atılması ile atomun iyonizasyonu.

Pozitronların Yok Edilmesi (Annihilation):

- Pozitronlar da negatronlarda olduğu gibi çekirdekte atıldıklarında eksitasyon ve iyonizasyon oluşturmaları ve Bremsstrahlung üretirler. Yavaşladıklarında, elektronlar gibi absorban madde içerisinde serbestçe dolaşmazlar. Hemen ortamdaki serbest elektronlarla birleşirler. Her iki partikülün kütlesi yok olur ve sonuçta birbirine 180 derece zıt yönde hareket eden ve her birinin enerjisi 511 keV olan iki gama fotonu oluşur.
- Bu olay, pozitron emisyon tomografi (PET) adı verilen metabolik görüntüleme yönteminde kullanılır.

2. Compton Etkisi:

- Foton ile madde etkileşmesinde görülen ikinci mekanizma Compton etkisidir. Bu etkileşimde foton atomun bir elektronu tarafından bilardo topu gibi yönü değiştirilerek saçılır. Bu esnada foton, enerjisinin bir kısmını elektrona verir ve elektron da atomdan atılır.
- Foton tarafından elektrona verilen enerjinin miktarı, fotonun başlangıçtaki enerjisine ve saçılma açısına bağlıdır. Maksimum enerji transferi 180°'lik açıda oluşur.

• Lineer Enerji Transferi (LET):

- İyonize radyasyonun madde ile etkileşiminde ve radyasyon biyolojisinde önemli bir kavram olan LET, yüklü bir partikülün yakın çevresine transfer ettiği enerji miktarının, katettiği birim uzaklığa oranı olarak açıklanır.

X ve Gama Işınının Madde ile Etkileşimi:

- X ve gama ışınları elektromagnetik nitelikli ışınlar oldukları için kökenleri farklı olmalarına rağmen madde ile etkileşmeleri açısından bir fark yoktur.
- Bu tür ışınların madde ile etkileşmelerinde başlıca üç proses tanımlanmaktadır:

3. Çift Oluşumu:

- Enerjik bir foton, atomun çekirdeğine yakın şekilde geçen foton yok olur ve bir elektron-positron çifti oluşur. Yani enerji kütleye dönüşür.
- Bu üç olaydan sadece fotoelektrik etki sonucunda oluşan fotoelektronun enerjisi ilk fotonun enerjisi kadardır
- Bu etkileşimlerin hepsinin olma olasılığı atom numarasının (Z) artışı ile artacağından ya da diğer bir deyişle atom numarası arttıkça gelen foton enerjisini daha çok yitireceğinden, yüksek atom numaralı elementler (Ör; kurşun, Z: 82) gama ışınları için iyi bir zırhlama materyali olarak kullanılabilir.

Bremsstrahlung (Beyaz Işıma):

- Negatronların madde ile etkileşiminde ortaya çıkan ışımaya tipidir. Elektron atom çekirdeğine yaklaştığında, çekirdeğin kuvvetli çekimi partikülü hızlandırır. Yüklü partikülün kinetik enerjisi, onun durgun kütle enerjisinden fazla olduğunda, fazla enerji foton emisyonu olarak dışarı verilir.
- Elektronlar, atom ağırlığı fazla materyale çarptıklarında, hafif materyale çarptıklarından daha çok foton üretirler.
- Yüksek atom ağırlıklı materyalde Bremsstrahlung üretimi daha fazla olduğu için kurşun beta emisyonu zırhlamasında iyi bir materyal değildir. Beta radyasyonu için plastik veya cam daha iyi bir zırhlama aracıdır.

1. Fotoelektrik Etki:

- Bu tür etkide foton, etkileştiği atomun yörüngesindeki bir elektron tarafından tamamiyle absorbe edilir. Eğer fotonun enerjisi elektronun bağlanma enerjisinden daha fazla ise elektron yörüngeyi aradaki fark kadar bir kinetik enerji ile terk eder.
- Atomdan dışarı atılan bu elektrona, **fotoelektron** adı verilir. Bir elektronunu kaybeden atom da iyonize hale geçer.

Radyoaktivite Birimleri

Aktivite Birimi:

Aktivite kavramı, bir radyoaktif örnekte birim zamanda meydana gelen parçalanma sayısını ifade eder. Aktivite birimi olarak **Curie (Ci)** belirlenmiştir.

Özellikle Nükleer Tıp uygulamalarında Curie birimi, çok fazla miktarda radyoaktif madde miktarını ifade ettiği için bunun alt katları olan mili ve mikrocurie rutin olarak kullanılmaktadır.

- 1 millicurie (mCi) : 1 / 1000 Ci
- 1 mikrocurie (µCi): 1 / 1000 mCi



- Gerek Curie biriminin çok yüksek miktarları tanımlaması ve gerekse bütün birimleri içeren genel değişim nedenleriyle aktivite birimi olarak da SI birimleri kullanılmaktadır.
- **Becquerel (Bq):** Radyoaktivite için kullanılan SI birimidir.
- 1 Becquerel, 1 saniyede 1 parçalanma ile oluşan radyoaktif madde miktarını ifade eder.

- Becquerel, Curie'ye göre çok daha küçük miktarda radyoaktiviteyi tanımladığı için, alt katları kullanılmakta, üst katları kullanılmaktadır.
- 1 Mega Becquerel (MBq): 1 000 000 Bq
- 1 Kilo Becquerel (kBq) : 1000 Bq
- Curie - Becquerel arasındaki ilişki ise şöyle açıklanabilir:
- 1 mikroCurie:37 kiloBecquerel
- 1 miliCurie :37 MegaBecquerel
- 1 Curie :37 Giga Becquerel

Radyasyon Birimleri:

- **Röntgen:** Bu birim sadece bir ışınlama ölçüsüdür.
- Işınlama (Exposure); bir ışının, havanın birim kütleğinde oluşturduğu bütün iyonların toplam elektriksel yükü olarak açıklanır.
- 1 Röntgen ise normal şartlar altında 1ml. kuru havada absorblandığı zaman 1 elektrostatik yük birimlik (coulomb) iyon oluşturan x veya gama radyasyonu miktarı olarak tanımlanır.
- Bu tanım 2.58×10^{-4} Coulomb/Kg veya 87 Erg./gr ile eşdeğerdir.

- **Absorblanmış Doz Birimi (RAD):**
- Hava ile sınırlı olmayan şekilde herhangi bir maddede ve herhangi bir ışınım türünün absorpsiyonu ile oluşan bir enerji birimidir.
- Daha açık bir tanımlamayla, belli bir ortamda 1gr maddeye 100 Erg enerji bırakan herhangi bir radyasyon dozu miktarıdır.
- Rad'ın türevlerinden en çok kullanılan milirad (mrad)'dır ve 1000 mrad 1 rad'a eşittir.

- **Gray (Gy):** Rad biriminin SI sistemindeki karşılığıdır ve günümüzde rad birimi yerine kullanılmaktadır.
- 1Gray, 1 Kg maddede 1 joule'luk enerji deposiyonuna neden olan radyasyon dozu miktarıdır.
- 1 Joule/Kg: 1 Gray: 100 rad

Doz Eşdeğeri Birimi (REM):

- Bu birim rad'ın insandaki eş değeri olarak geliştirilmiştir. Çünkü farklı tipteki radyasyon biyolojik ortamda farklı davranışlar göstermekte dolayısıyla absorbe edilen doz ve etkilerde de farklılıklar ortaya çıkmaktadır.
- Bu nedenle rem birimi rad'dan farklı olarak iki faktörden daha etkilenebilmektedir. Bunlardan biri iyonize radyasyon tipine göre değişen Lineer Enerji Transferi (LET) diğeri ise vücut içine alınan radyonüklidlerin dağılımını açıklamak için kullanılan dağılım faktörüdür.
- Rem'in türevi olarak en çok milirem kullanılır ve 1 rem:1000 mrem şeklinde eşitlenir.

- **Sievert (Sv):**
- Rem'in karşılığı olan SI sistem birimidir. Tanımlamada bir farklılık yoktur. Ancak,
- 1 Sv :100 rem
- 1 rem :0.01 Sv
- 1 Sv : 1000 mSv
- 1 mSv : 1000 µSv eşitlikleri yazılabilir.

- Kaynak:
- Nükleer Tıp Fiziyi ve Klinik Uygulamaları
Prof. Dr. Mustafa Demir