

İŞINLARIN ÖZELLİKLERİ VE BİYOLOJİDE KULLANILMALARI

PROPERTIES OF RADIATIONS AND THEIR USE IN BIOLOGY

Doç. Dr. Cemil KARADENİZ

İstanbul Üniversitesi, Atom ve Çekirdek Fiziği Kürsüsü

Yazımızda genel olarak radyasyon ve ışın tariflerini yapıp, değişik ışınların özelliklerini belirtmeğe çalışacağız. Amacımız, çok geniş olan konuyu kısaca tanıtmaktır.

RADYASYON VE İŞIN

Radyasyon bir merkezden dalgalar halinde enerji yayma (Ek I) veyahut da boşlukta veya maddesel bir ortam içinde dalgalar halinde enerji yayılması demektir. Bu enerji ışık veya radyo dalgaları gibi elektromagnetik dalgalar (Ek II) veya ses dalgaları gibi esneklik dalgaları (Ek III) halinde yayılabilir. Aksi söylenmedikçe radyasyon enerjinin elektromagnetik dalgalar halinde yayılması demektir.

Diğer taraftan, radyoaktif cisimlerin yayınladıkları hızlı α (alfa), β (beta) tanecikleriyle, bilhassa kozmik ışınlarda görülen hızlı atom parçalarına da r a d y a s y o n diyoruz. Bunlara tanecik radyasyonu anlamına k o r p u s k u l a r r a d y a s y o n denir.

Radyasyon deyimi yanında bir de ışın deyimi vardır. Adi anlamda, radyasyon enerjinin elektromagnetik dalgalar halinde yayılmasına deniyordu. Işın ise dalgaların yayılma doğrultusuna verilen addır, daha doğrusu dalga yüzeyine daima dik olan çizgiye ışın denir.

Her an aynı titreşim durumunda olan noktaların meydana getirdiği yüzeye d a l g a y ü z e y i denir; homojen ve izotrop bir ortamda dalga yüzeyleri aynı merkezli küre yüzeyleri olurlar. Kürelerin merkezi dalganın başladığı noktadır; bu noktadan aynı uzaklıktaki noktaların titreşim durumları her an aynı olduğu için, yukarki tarife göre dalga yüzeyi bu noktaların teşkil ettiği küre yüzeyidir. Tanecik radyasyonlarında fırlayan her taneciğe i ş ı n denir.

Bir ışının içinden geçtiği ortamda meydana getireceği olaylar ışının enerjisine bağlıdır. Önce ve kısaca elektromagnetik ışınlardan ve bunların taşıdığı ener-

şiden bahsedelim. Bir ışık ışını, genellikle, boşluktaki dalga boyu ile veya titreşim frekansı ile belirtilir. Işının boşluktaki dalga boyunu λ ve frekansını da ν ile gösterirsek, C ışık hızı ($C = 3.10^{10}$ cm/sn) olmak üzere $\nu = \frac{C}{\lambda}$ dir. Işının taşıdığı

enerji frekansı ile orantılıdır ve bu enerjinin erg (Ek IV) cinsinden değeri : $E = h \cdot \nu$ denkleminde verilmiştir; burada $E =$ enerji ve $h = 6,625.10^{-27}$ erg-sn değeri de üniversal bir sabittir. Buna göre dalga boyu $0,55 \mu$ olan yeşil ışığın frekansı ($1\mu = 10^{-4}$ cm) $\nu = \frac{3.10^{10}}{0,55.10^{-4}} = 5,45.10^{14}$ sn $^{-1}$ ve bu ışık fotonunun taşıdığı enerji $E = 6,625.10^{-27}$ erg — sn $\times 5,45.10^{14}$ sn $^{-1}$; $E = 3,61.10^{-12}$ erg'dir.

Burada foton deyiimi kullanıldı. Foton demek, belli dalga boyu (dolayısıyla belli frekanslı) bir ışığın taşıdığı en küçük enerji miktarı demektir. Bu ışınların meydana getirdiği demetin enerjisi bu foton enerjisinin katları olabilir.

Elektromagnetik ışınların biyolojik etkileri taşıdıkları enerjiye bağlıdır. Elektromagnetik ışınlar binlerce metre dalga boyu uzun - dalga radyo dalgalarından, Angström'den yüzlerce defa daha küçük dalga boyu gamma ışınlarına kadar geniş bir alanı kaplar. Görünür ışıklar bu geniş spektrum içinde $0,4 \mu$ ile $0,8 \mu$ dalga boyları arasında gayet dar bir band teşkil ederler.

Aşağıdaki tabloda elektromagnetik dalgaların dalga boylarına göre sınıflanmaları ve her sınıfın frekans bandı ve enerji sınırları verilmektedir.

$$(1 \text{ eV} = 1,6.10^{-12} \text{ erg}).$$

| Sınıf | Dalga boyu (λ) cm | Frekans (ν) san $^{-1}$ | Foton enerjisi | |
|---------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| | | | erg | eV |
| Radyo dalgaları (Hertz dalgaları) | 3.10^6 — $0,4$ | 10^4 — $7,5.10^{10}$ | $6,6.10^{-28}$ — 5.10^{-16} | 4.10^{-11} — 3.10^{-4} |
| Kızıl-ötesi ışınları | $0,4$ — $7,7.10^{-5}$ | $7,5.10^{10}$ — 4.10^{14} | 5.10^{-16} — $2,6.10^{-12}$ | 3.10^{-4} — $1,6$ |
| Görünür ışınlar | $7,7.10^{-5}$ — 4.10^{-5} | 4.10^{14} — $7,5.10^{14}$ | $2,6.10^{-12}$ — 5.10^{-12} | $1,6$ — 3 |
| Mor-ötesi ışın- ları (Ultraviyole) | 4.10^{-5} — 10^{-7} | $7,5.10^{14}$ — 3.10^{17} | 5.10^{-12} — 2.10^{-9} | 3 — $1,25.10^8$ |
| X ışınları | 10^{-7} — 10^{-9} | 3.10^{17} — 3.10^{19} | 2.10^{-9} — 2.10^{-7} | $1,25.10^8$ — $1,25.10^5$ |
| Gamma ışınları | 10^{-9} — 10^{-11} | 3.10^{19} — 3.10^{21} | 2.10^{-7} — 2.10^{-5} | $1,25.10^5$ — $1,25.10^7$ |

Atom ve moleküllerde enerji genellikle eV (elektron volt) birimi ile ölçülür. Yukarıki tabloda görüldüğü üzere, dalga boyları görünür ışıklardan daha büyük ışınların enerjileri çok küçük olduğu için içinden geçtikleri ortamın moleküllerinde büyük etki yapmazlar. Fakat dalga boyları görünür ışınlarından daha küçük olan ışınların enerjileri oldukça büyüktür, bilhassa gamma ışınlarının enerjileri muazzamdır. Enerjileri oldukça büyük olduğu için mor-ötesi (ultraviyole) ışınların biyolojik dokular ve moleküller üzerine etkileri fazladır. Ultraviyole ışınlarının fotonlarındaki enerji birçok molekülün iyonizasyon enerjisinden daha büyüktür. Böylece rastladıkları molekülleri iyonlaştırabilirler, hatta molekülü parçalayabilirler. Bu özelliklerinden faydalanılarak ultraviyole ışınlarla mikroplar öldürülebilir. Ultraviyole ışınların bu özelliklerinden hücre içi araştırmalarında faydalanılmaktadır. Bu araştırmalarda canlı bir hücrenin istenilen bir kısmı, hatta kromozomunun belli bir bölgesi ultraviyole ışınlarla tahrip edilip hücrede meydana gelecek değişiklikler incelenebilir. Bu tekniğe mikrohüzmektekniki denir. Kuartz mercekler kullanılmak suretiyle bir ultraviyole hüzmesi birkaç mikron çapında bir demet haline getirilip, hücrenin belli bir yerine nişanlanabilir. Şekil : 1 de Uretz ve Perry'nin geliştirdiği bir ultraviyole mikro hüzme cihazının prensip şeması görülmektedir.

Işınların bir madde içinden geçişlerinde meydana gelen olaylar ve madde tarafından yutulması veya yayılma hızındaki değişme (yani ışığın gözönüne alınan madde içindeki kırılma indisi) ışığın frekansına, dolayısıyla dalga boyuna ve gözönüne alınan maddenin cinsine bağlıdır. Meselâ ultraviyole ışınlar adi camdan geçemedikleri halde, kuartz camından kolaylıkla geçebilmektedirler. Onun için ultraviyole ışıkla çalışmalarda adi cam yerine kuartz camı kullanılmaktadır.

Bir maddenin ışık enerjisini absorplaması maddenin kendi özelliklerine ve ışığın dalga boyuna bağlı olmasından biyolojide, tıpta, kimyada spektromikro-fotometrelerle birçok yoğunluk tayinleri ve kimyasal ölçmeler yapılmaktadır. Diğer taraftan ışınların çeşitli ortamlarda yayılma hızlarındaki değişmeden faydalanarak normal olarak mikroskopta görülemiyen saydam objelerin faz-kontrast mikroskopla görülmesi sağlanabilir.

Tanecik radyasyonlarını da kısaca gözden geçirip özellikleri hakkında bilgi vermeye çalışalım. Bunun için atomların yapısı ve radyoaktivite hakkında kısa bilgi vermek gerekir.

ATOMLARIN YAPISI VE RADYOAKTİF MADDELERİN IŞINLARI

Atomların yapısı : Deneyler, atomları merkezde pozitif yüklü ağır bir çekirdek ile bunun etrafında dolaşan negatif yüklü ve kütleleri ihmal edilebilecek kadar küçük elektronlardan meydana gelmiş olarak tasarlayabileceğimizi göstermektedir (Şekil : 2). Bir atomdaki elektronların çekirdekdeki pozitif yük mik-

ni ile ölçülür. daha büyük n moleküllerinden daha larının ener- (ultraviyole) raviyole ışın- isinden daha ta moleküllü nlarla mik- ç i araştırma- istenilen bir tahrip edilip r o h ü z m e raviyole hüz- lli bir yerine viyole mikro

ve madde ta- şınuna alınan yuna ve göz- adi camdan r. Onun için maktadır.

elliklerine ve pektromikro- apılmaktadır. değişmeden objelerin faz-

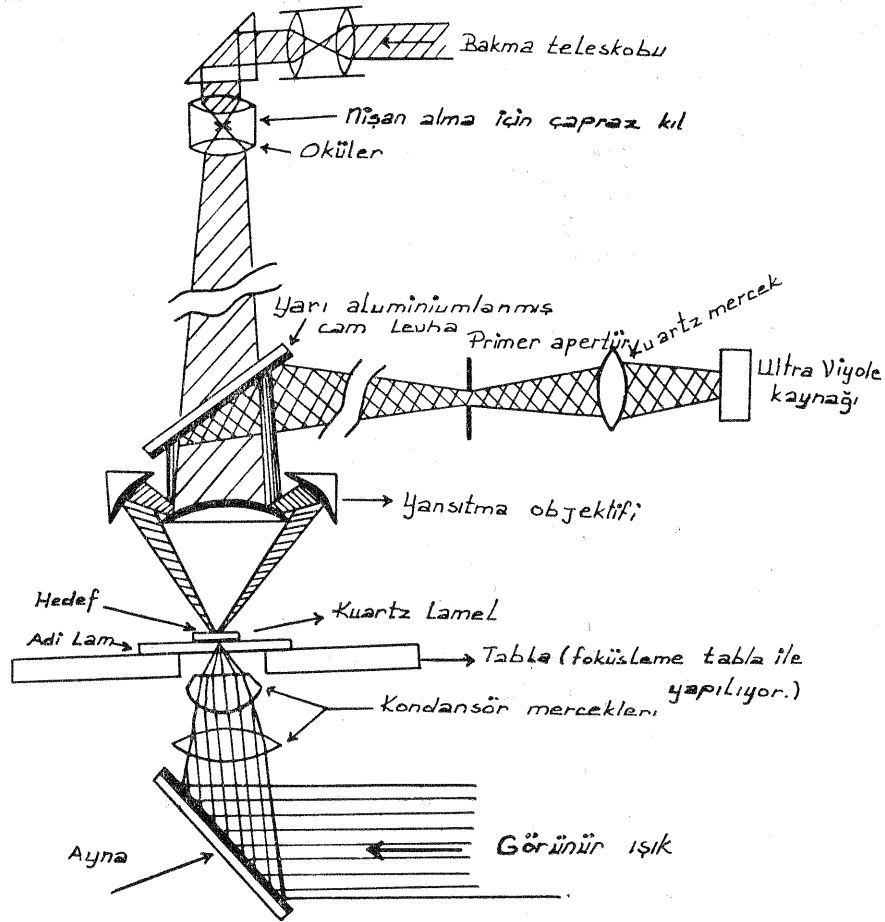
akkında bilgi akkında kısa

LARI

dlü ağır bir l edilebilecek eğimizi gös- itif yük mik-

tarına eşit sayıda oldukları ve çekirdek etrafında belirli enerji bölgelerine dağılmış buldukları farzedilmektedir 1).

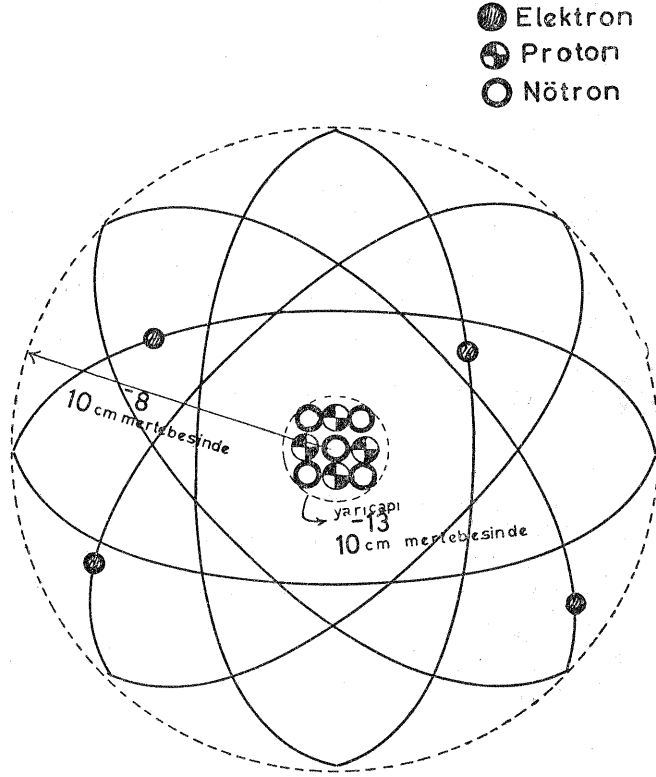
Teoride atom güneş sistemine benzetilmektedir ; güneş, atomun çekirdeği ve elektronlar da güneş etrafındaki gezegenler gibi düşünülebilir. Fakat atom teori- sinde, elektronlarla çekirdek arasındaki çekim kuvvetleri pozitif ve negatif elektrik



Şekil 1 : Uretz ve Perry'nin ultraviyole mikro hüzme cihazı.

- 1) Bir atomun işgal ettiği, yani atomu teşkil eden elemanların içinde yayılmış oldukları hacim, yarıçapı 10^{-8} cm mertebesinde olan bir küre olarak tasarlanabilir. Atom çekirdeği yarıçapı 10^{-12} cm mertebesinde olan bir küre içindedir.

yükleri arasındaki elektrik kuvvetlerdir (Coulomb kuvvetleri). Halbuki gezegenlerle güneş arasındaki kuvvetler gravitasyonel kuvvetlerdir (kütlelerin çekim kuvvetleri). Teoriye göre, elektrik çekim kuvvetleri elektronların kapalı yörüngeler (eliptik) üzerindeki hareketlerinden doğan santrifüj kuvvetlerle dengelenir ve belirli enerjilere tekabül eden yörüngeler üzerindeki hareketlerde elektronların elektromagnetizma kanunlarına tabi olmadığı (elektronların bu yörüngeler üzerindeki hareketlerinde elektromagnetik enerji kaybetmediği) kabul edilmektedir. Elektromagnetizma kanunlarına göre ivmeli hareket yapan elektrik yükleri elektromagnetik dalgalar halinde enerji yayınlırlar.

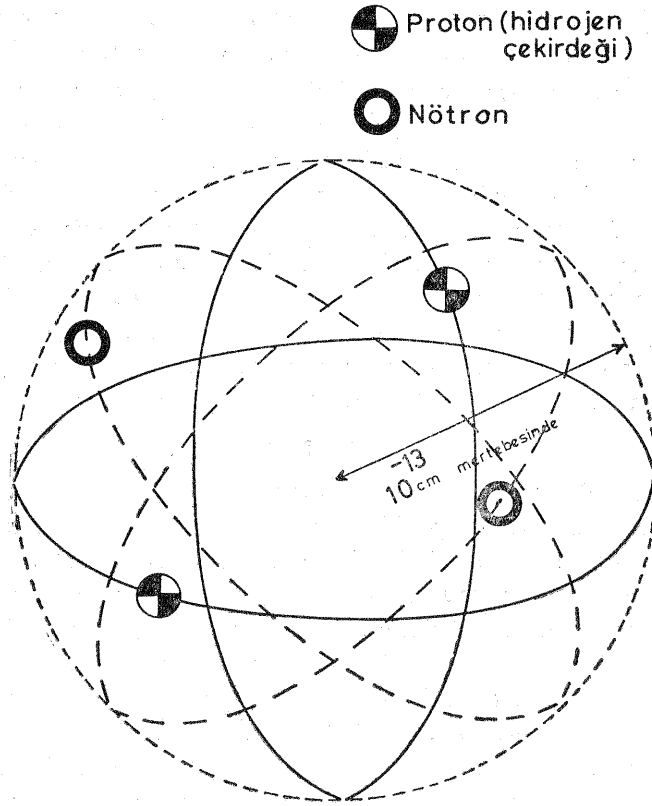


Şekil 2 : Berilyum atomu.

Bir fizik sistemin kararlı dengede olabilmesi için enerjisi minimum olmalıdır ; aynı kanun atomlarda da geçerlidir. Bir atomun normal, yani temel halinde enerjisi minimumdur. Bir atom enerji kazanırsa sistemin kararlılığı bozulur, buna eksite olması hali denir. Eksite olan atom ilk fırsatta fazla enerjisini atarak,

buki gezegen-
n çekim kuv-
vli yörüngeler
lenir ve be-
elektronların
rüngeler üze-
edilmektedir.
ktrik yükleri

normal haline döner. Yalnız atomlar gelişmiş miktarlarda enerji alıp veremezler. Alınan veya verilen enerji miktarları (eksite olurken alır ve normal hale dönerken verir), sistemi bir enerji seviyesinden diğerine geçirecek miktarlarda, yani ancak belirli değerlerde olabilir. Atomlardaki enerji bölgeleri K, L gibi harflerle adlandırılır ve her enerji bölgesindeki elektronların azami miktarları bellidir; meselâ K bölgesinde en fazla 2, L bölgesinde en fazla 8 elektron bulunur. En aşağı enerjili elektron bölgesi K'dır, sonra L ve böylece devam eder. Atomların elektron konfigürasyonlarında enerji minimum olacağından, elektronlar en



Şekil 3 : Helyum çekirdeği: Çekirdek içindeki proton ve nötronların belli yörüngeler üzerinde hareket ettikleri farzedilmektedir.

imum olmalı-
temel halinde
bozular, buna
erjisini atarak,

küçük enerjili kademeleri dolduracak surette dağılır. Bu teori ile optik spektrumlar ve karakteristik X ışınları spektrumları açıklanabildiği gibi, elemanların periyodik sistemi de izah edilebilir. Teoriye göre, benzer elektron konfigürasyonlarını haiz elemanlar benzer kimyasal özelliklere sahiptirler.

Çekirdeklerin yapısı : Diğer taraftan, atom çekirdeği üzerinde yapılan araştırmaların sonuçlarına göre çekirdeklerin de bir yapısı olduğunu farzetmek gerekmektedir. Elemanların atom ağırlıklarının hidrojeninkinin aşağı yukarı tam katları olduğu deneysel bir gerçektir. Buradan hareket ederek çekirdeklerin protonlardan (proton, hidrojen çekirdeğidir ve kütlesi elektron kütlesinin 1840 katıdır) meydana geldiği düşünülebilirse de, elektrik yüklerinin kütle sayılarının takriben yarısına eşit oluşu ve yapı elemanları arasında elektronların bulunamayacağına ait deneysel deliller sebebiyle protonlarla nötronlardan (nötron, kütlesi hemen hemen protonunkine eşit, fakat elektrik bakımından nötr bir taneciktir) yapılmış oldukları farzedilmektedir. Çekirdekteki proton ve nötronların birbirlerine yapışarak katı bir madde meydana getirmeyip, yarıçapı 10^{-13} cm mertebesinde olan bir küre hacmi içine dağıldıkları ve daimi hareket halinde oldukları düşünülmektedir (Şekil : 3). Bunları birarada tutan kuvvetler elektrik ve gravitasyonel kuvvetlere benzememektedir, mahiyet itibariyle tamamen değişik ; kısa mesafe kuvvetleri veya çekirdek kuvvetleri olarak adlandırılırlar. Çekirdek kuvvetleri çekirdek içinde her tarafta aynı şiddettedir ve çekirdek yüzeyi denilen bir sınırın dışında birden yok olur, protonlarla-protonlar, nötronlarla-nötronlar ve protonlarla-nötronlar arasındaki çekirdek kuvvetleri hep aynıdır. Halbuki elektrik menşeli olsaydı Coulomb kanunu gereğince protonların bir araya gelememeleri gerekirdi. Diğer taraftan 'gravitasyonel menşeli olsa idi belli bir sınırın içinde hep aynı değerde ve dışında birden yok olamazdı.

İZOTOPLAR

Bir atoma özelliklerini veren çekirdeğidir. Aynı sayıda proton taşıyan atomlar aynı sayıda elektrona sahip olduklarından aynı kimyasal özellikleri gösterirler ; çünkü kimyasal özellikleri elektron konfigürasyonu tayin eder. Proton sayıları aynı, fakat nötron sayıları farklı olan atomların kimyasal özellikleri aynı olduğu halde fizik özellikleri farklı olur. Atomlar fizikte proton sayıları Z (buna atom numarası denir) ve kütle sayıları A (nötron ve protonların toplam sayısı) ile AX_Z olarak gösterilirler (X burada elemanın sembolü yerine konulmuştur ; meselâ oksijenin 16 numaralı izotopu ${}^{16}O_8$ olarak yazılır).

Z leri aynı, A ları farklı (atom ağırlıkları farklı) atomlara elemanların periyodik cetvelinde aynı yeri işgal ettikleri için *i z o t o p* denir; bunlar aynı kimyasal özelliklere sahip oldukları için kimyasal yolla birbirlerinden ayırdedilemezler, ancak fizik metodlarla (kütle spektrografı gibi) ayrılırlar. İzotoplar fizik bakımından birbirlerinden çok değişik özelliklere sahip olabilirler. Özelliklerdeki değişiklikler nötron sayılarının farklı oluşundan ilerigedir. Radyoaktif olan izotoplar çok önemlidirler, çünkü kimyasal bakımdan kararlı izotop gibi hareket ettiklerinden radyoaktiviteleri yardımıyla kolaylıkla izlenebilirler ; böylece, biyolojik ve kimyasal birçok araştırmada aydınlatıcı büyük bir rol oynarlar.

yapılan arař-
faretmek ge-
ı yukarı tam
dekların pro-
ninin 1840 ka-
le sayılarının
rın bulunamı-
ötron, kütlesi
bir taneciktir)
nların birbir-
13 cm mertee-
alinde olduk-
er elektrik ve
mamen deęi-
ıdlandırılırlar.
çekirdek yü-
nlar, nötron-
etleri hep ay-
e protonların
nşeli olsa idi
nazdı.

taşıyan atom-
llikleri göste-
eder. Proton
zellikleri aynı
yıları Z (buna
toplam sayısı)
konulmuştur ;

manların peri-
ar aynı kimya-
ırdedilemezler,
lar fizik bakı-
Özelliklerdeki
aktif olan izo-
ç gibi hareket
; böylece, bi-
ynarlar.

Tabiatıta mevcut atomlar çok çeşitli değildir, çünkü kararlı bir çekirdek te-
şekkül edebilmesi için proton ve nötron sayılarının belirli bir oran civarında
olması lâzımdır (hafif ve orta büyüklükte atomlarda takriben yarıyarıya, ağır
atomlarda ise nötronlar daha fazladır). Eğer bir çekirdekte nötron veya proton
fazlalığı var ise o çekirdek kararlı değildir. Proton ve nötronların yeniden orga-
nizasyonu ile daha kararlı bir çekirdek meydana gelir. Bu yeniden organizasyon
aşağıdaki yollarla olabilir :

1. Bir nötronun protona dönüşmesi ile çekirdekte bir elektron fırlatılır
(çekirdekte elektron bulunmaz, fakat hasıl olabilir). Çekirdekte fırlıyan bu elekt-
ronlara β ışınları denir.

2. Bir protonun nötrona dönüşmesi ile çekirdekte pozitif elektrik yüklü
bir elektron fırlar ; buna p o z i t r o n denir. Bu pozitronlara da gene β ışın-
ları adı verilir, fakat normal elektronların meydana getirdiği beta ışınlarından
ayırarak için β^+ olarak gösterilirler, diğer beta ışınları da β^- ile gösterilir. Bazen
de çekirdek pozitron yayınlıyacak yerde etrafında kendine en yakın elektronlar-
dan birini kapar ve yok eder. Böylece bir proton nötrona döner ve fazla enerji
X ve γ ışınları olarak yayınlanır. Bu olaya da e l e k t r o n k a p m a denir.

3. Çekirdek bir alfa taneciği (helyum çekirdeği) fırlatarak geri kalan nükleon-
larını yeniden organize eder (nükleon, proton ve nötronlara verilen ortak
addır). Bu olaya alfa aktivitesi ve fırlatılan helyum çekirdeklerine de alfa ışın-
ları denir. Bu olay daha ziyade atom numarası 82 den büyük olan çekirdeklere
görülür.

Bu olaylara radyoaktivite ve böyle çekirdeklere de radyoaktif çekirdekler
diyoruz. Genellikle yeni hasıl olan çekirdekte bir miktar fazla enerji kalır ve çe-
kirdek bu enerjiyi de γ (gamma) ışınları dediğimiz X ışınlarına benzer, fakat çok
daha kısa dalga boylu ışınlar halinde yayınlar. Yalnız burada X ışınlarıyla gam-
ma ışınlarını birbirine karıştırmamak lazımdır 2).

Radyoaktif (kararsız) bir çekirdeğin ihtiva ettiği enerji yeni teşekkül edecek
çekirdeğinkinden fazla olmalıdır ; bu enerji farkı neşredilen α , β ve γ ışınları
vasıtasıyla atılmış olur ve bu fazla enerji ne kadar büyükse çekirdek o kadar kar-
rarsızdır, yani bozunma (değişme) ihtimali o kadar fazladır. Bozunma ihtimalinin
artması yarı ömrün kısalması demektir. Bu bakımdan, yayınladığı ışınların ener-
jisi büyük olan radyoaktif izotopların yarı ömürleri kısa olur.

2) X ve γ lar arasındaki fark : X ışınları atomun elektron tabakalarında daha yüksek
enerji seviyesinde olan elektronların daha aşağı enerji seviyesine düşmesinden meydana
gelir. Bu ışınlar dış tabakalardaki elektronların çekirdeğe çok yakın tabakalara (enerji
bölgelerine) geçişlerinden hasıl olur. Atomun çekirdeğinden gelmez. Halbuki, gamma
ışınları çekirdeğin yüksek bir enerji durumundan aşağı enerji durumuna geçmesi sebe-
biyle yayınlanırlar.

Diğer taraftan, çok ağır elemanlardan bazıları nötron ve proton oranları kararlılık sınırları içinde olduğu halde kararlı değildirler. Eğer bir çekirdeğin toplam enerjisi (burada kütlelerini de enerji olarak düşünüyoruz ³⁾) nükleonların bölünmesiyle meydana gelecek iki çekirdeğin enerjileri toplamından büyükse, bu sistem ikiye bölünmekle enerjisi küçüleceğinden, çekirdek kararsızdır ve bölünmek suretiyle daha kararlı çekirdekler meydana gelir. Bu olaya bölünme (fission) diyoruz. Çekirdek değişim ile kararlı hale varamıyabilir ve kararlı bir çekirdek haline gelinceye kadar ardarda α ve β ışınları yayınlayabilir; bu suretle radyoaktif aileler meydana gelir.

Tabiiatta mevcut radyoaktif çekirdeklerin α , β ve γ olmak üzere üç çeşit ışın yayınladıklarını görüyoruz.

α ışınları : α ışınlarının radyoaktif çekirdeklerin fırlattıkları helyum çekirdekleri olduğu belirtilmişti. Helyum çekirdeğinin kütlesi 4 atomik kütle birimi elektrik yükü iki pozitif yük birimine eşittir ⁴⁾. α ışını yayınlayan bir çekirdeğin atom numarası 2, kütlesi de 4 birim azalır.

β ışınları : Radyoaktif çekirdeklerden fırlatılan elektronlardır, bazen yükleri pozitif olanları da olabilir; bunlara pozitron denir. β yayınlayan bir çekirdeğin elektrik yükü bir birim değişir (normal elektron, yani negatif elektron yayınlanırsa çekirdeğin atom numarası bir büyür; pozitron, yani pozitif yüklü elektron yayınlanırsa veya çekirdek elektron kaparsa çekirdeğin atom numarası küçülür). Çekirdek β ışınlarını yayınlarken elektronla birlikte nötrino denilen kütlesi hemen hemen 1/500 elektron kütesine eşit ve elektrik bakımından nötr olan bir tanecik de yayınlanır. Enerji fazlası nötrino ile β ışını arasında bölüşülür; fakat bölüşme oranı sabit olmayıp tamamen tesadüfe bağlıdır, bazen bütün enerjiyi β alır, nötrinonun kinetik enerjisi sıfır kalır, bazen de nötrino bütün enerjiyi kapar, β kinetik enerjisi sıfır olur.

Mesela $^{32}\text{P}_{15}$ in β ışınları enerjisi 1,71 MeV ⁵⁾ denildiği zaman bu fırlatılan elektronların maksimum enerjisi 1,71 MeV dir, yani enerjileri 0 ile 1,71 MeV ara-

3) Einstein'a göre, madde enerjinin yoğunlaşmış halidir ve m gram maddeye denk enerji erg cinsinden $E = mc^2$ formülü ile verilir, burada C cm/san olarak ışık hızıdır.

4) Atom kütleleri için hidrojen atomunun kütlesi birim olarak alınır ve bu birime atomik kütle birimi denir. Herhangi bir atomun kütlesi hidrojen kütesinin katı olarak ifade edilir. Mesela, He un kütlesi 4 atomik kütle birimi demek, helyum atomununun kütlesi hidrojen kütesinin dört katı demektir.

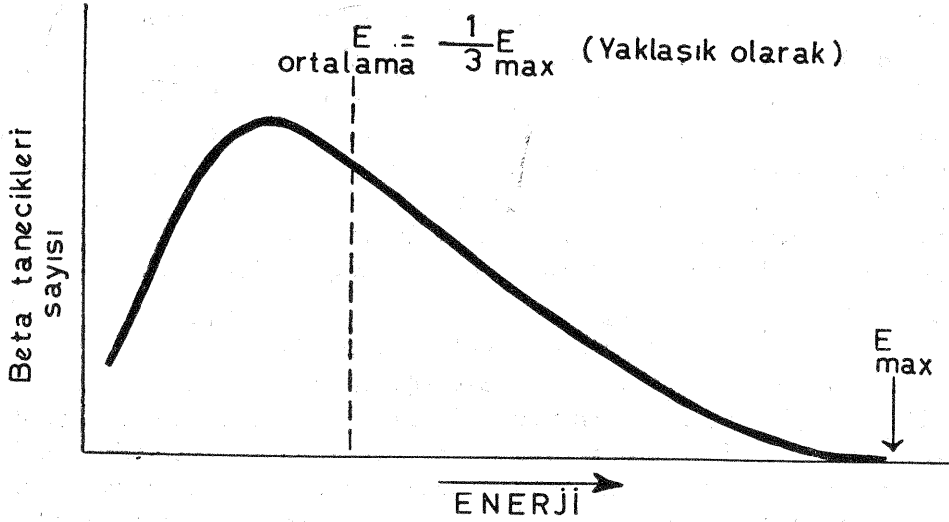
Diğer taraftan, tabiatın elektrik yük birimi elektronun elektrik yüküdür ve bütün elektrik yükleri elektron yükünün tam katıdır. Elemanter yük denilen elektron yükü e harfi ile gösterilir ve $e = 1,6.10^{-19}$ Coulombdur. Bu çok küçük bir birim olduğu için pratikte elektrik birimi olarak Coulomb kullanılır ve $1 \text{ Coulomb} = 6,25.10^{18}$, e dir.

5) Atom ve çekirdek fiziğinde enerji birimi eV - elektron volt - dir, bunun bir milyon katına MeV - milyon elektron volt - denir. eV bir elektronun bir voltluk elektrik gerilimde kazandığı enerjidir ($1 \text{ eV} = 1,60207.10^{-12}$ erg).

sında her enerjide elektron fırlatır demektir (Şekil : 4). Bu β ışınlarının en önemli özelliğidir ; fakat meselâ $^{210}\text{Po}_{84}$ ün α ışınlarının enerjisi 5,3 MeV dir dendiği zaman, yayınlanan her α ışını bu enerjiye sahiptir.

Şekil : 4, radyoaktif izotoplar tablosunda enerjisi E_β olarak verilen β ışını yayınlayan bir izotoptan çıkan β ışınlarının enerji spektrumunu göstermektedir. Şekilden yayınlanan β ışınlarının hepsinin enerjilerinin E_β olmadığı görülmektedir. Çıkan β ışınlarının enerji ortalaması E_{ort} ile gösterilmiştir ve $E_{\text{ort}} \approx \frac{1}{3} E_\beta$ dir. Beta ışınlarının absorplanması halinde ortama bıraktıkları enerjiyi hesaparken E_{ort} yı kullanmak gerekir.

γ ışınları : Çekirdekte yayınlanan elektromagnetik ışınlardır. Özellikleri itibariyle X ışınlarıyla aynı, fakat menşeleri bakımından farklı olduğu belirtilmiştir.



Şekil 4 : Beta enerji spektrumu.

RADYOAKTİF İZOTOPLARIN YARI ÖMRÜ (PERYODU) VE ORTALAMA ÖMRÜ

Radyoaktif bozunmalar (değişimler) ihtimal kanunlarına bağlı olaylardır. Radyoaktif bir izotopun ömründen bahsedilemez, yalnız belli bir miktar çekirdeğin yarısının bozunması için geçen zamana yarı ömür veya daha doğrusu yarılama süresi denir ve $T_{1/2}$ ile gösterilir. N_0 adet radyoaktif çekirdekte t zaman sonunda kalan miktar

$$N = N_0 e^{-\frac{0,693 \cdot t}{T_{1/2}}} \quad (1)$$

formülü ile hesaplanır, yani $T_{1/2}$ zaman sonra yarıya, $2T_{1/2}$ zaman sonra $1/4$ e, $3T_{1/2}$ zaman sonra $1/8$ e düşer; bu hususa bilhassa dikkat etmek lâzımdır.

Biyolojik ve tıbbi uygulamada bir organizma içine girmiş radyoaktif izotopun tamamen bozunup bitinceye kadar yayınlayacağı toplam ışın sayısını veya bu ışınların organizmada yapacağı etkiyi hesaplamak gerekir. Hesaplarda kolaylık olsun diye radyoaktif izotop için bir ortalama ömür tarif edilir. Hesaplarda ortalama olarak organizmadaki izotopun hepsinin bu süre içinde bozunduğu kabul edilebilir. Ortalama ömrü \bar{T} ile gösterirsek $\bar{T} = 1,44 \cdot T_{1/2}$ dir

Radyoaktivite birimi : Radyoaktif izotopların miktarı bir saniyede yayınladıkları ışın sayısı ile ölçülür ve birimin adı **C u r i e** dir. Bir Curie radyoaktif madde saniyede $3,7 \cdot 10^{10}$ ışın yayınlamaktadır. Bu çok büyük bir aktivitedir. Pratikte Curienin binde biri olan mili Curie (mc) veya milyonda biri olan mikro Curie (μ c) birimleri kullanılır ($1 \text{ mc} = \text{saniyede } 3,7 \cdot 10^7$ ışın ve $1 \mu\text{c} = \text{saniyede } 3,7 \cdot 10^4$ ışın)

Böylece yarı ömrü 1 saat olan $1 \mu\text{c}$ radyoaktif izotopun tamamen bozunup tükeninceye kadar ne kadar ışın yayınlayacağını hesaplayalım. Bu izotopun ortalama ömrü $\bar{T} = 1,44$ saattir. 1 saat 3600 saniye olduğuna ve $1 \mu\text{c}$ radyoaktif madde saniyede $3,7 \cdot 10^4$ ışın yayınladığına göre, bu radyoaktif madde bütün ömrüncü $3,7 \cdot 10^4 \cdot 3600 \cdot 1,44 \approx 1,92 \cdot 10^8$ ışın yayınlamaktadır. Şimdi, bu izotopun üç saat sonrakı aktivitesini hesaplırsak, ilk aktivitesinin $1/8$ kadar kaldığını, yani $1/8 \mu\text{c}$ olduğunu görürüz. Bunu (1) denkleminde kolayca hesaplayabiliriz.

RADYOAKTİF IŞINLARIN (ÇEKİRDEK IŞINLARININ) MADDE İLE KARŞILIKLI ETKİLERİ

Çekirdek ışınlarının enerjileri içinden geçtikleri maddeler tarafından absorbe edilir. Absorplanan enerji sonuç bakımından ısı yükselmesine sebep olursa da asıl önemli olan etkileri şunlardır : Yollarına rastlayan atom ve molekülleri iyonlaştırır veya uyarır ; normal şartlar altında olmayacak kimyasal bir reaksiyonu başlatırlar (kimyasal etkisi) veya fotokimyasal olaylara sebebiyet verebilirler. Çekirdek ışınlarının deteksiyonu yukarıda saydığımız etkilerinden faydalanılarak yapılır. İyonizasyon etkilerinden faydalanılarak iyonizasyon odaları Geiger sayıcıları veya orantılı sayıcılar ve son bir iki yıldır büyük gelişmeler kaydeden yarı iletken maddelerden yapılan jonksiyon detektörleri yapılmıştır. Eksitasyon (uyarma) etkilerinden faydalanılarak sintilasyon (ışıldama) sayıcıları imal edilmiştir. Baş tarafta açıklandığı gibi bir atom veya molekülün uyarılması demek normal haldekinden daha fazla enerji kazanması demektir. Bu fazla enerji ışık şeklinde yayınlanır ; bu ışıldamaları müşahade ederek çekirdek ışınları detekte edilebilirler. Çekirdek ışınlarının deteksiyonunda fotoğra-

fik malzeme kullanılarak fotokimyasal etkilerinden de faydalanılabilir. Bilhassa, dozaj kontrollerinde film badge monitörleri ve araştırmalarda otoradyografi tekniği, çekirdek ışınlarının fotokimyasal etkilerinden faydalanır.

α (ALFA) IŞINLARININ MADDEDEN GEÇİŞİ

Madde içinden geçen elektrik yüklü bir çekirdek ışını (α ve β ışınları gibi enerjisini yoluna rastlayan atom ve moleküllere bırakarak hepsini tüketinceye kadar ilerler; böylece madde içindeki nüfuz yeteneği ışının enerjisine bağlıdır. Elektrik yükü ne kadar fazla, kütlesi ne kadar büyük olursa, yolu boyunca bıraktığı enerji de o kadar fazla olacağından nüfuz yeteneği de o oranda az olur. Bu bakımdan α ışınlarının nüfuz yetenekleri aynı enerjili β lardan çok daha azdır. Buna karşılık ışının enerjisi azalırsa hızı da azalacağından, yoluna rastlayan atom veya moleküllere devredebileceği enerji de o oranda fazla olur. Çünkü hızı azalınca yoluna rastlayan bir atomun yanından geçişi daha uzun sürecek ve bu atoma etkileyeceği kuvvetin etki süresi daha uzun olacaktır. Bir kuvvetin etkisi, sadece kuvvetin büyüklüğüne değil etki süresine de bağlıdır ve kuvvetin büyüklüğü ile etki süresinin çarpımı demek olan kuvvet çarpımı ile orantılıdır (Zuber 1967). Işının enerjisi büyük ise hızı da büyük olur (hız yaklaşık olarak ışın enerjisinin kare köküyle orantılıdır). Böylece büyük enerjili bir ışının yolu üzerindeki kısa bir mesafe içine bıraktığı enerji daha az olur. Enerji azaldıkça, aynı uzunluktaki yol parçası üzerine daha fazla enerji bırakır. Buna göre ışınlar yollarının son kısımlarına doğru ortama daha fazla enerji bırakırlar.

Işınların yolları üzerindeki ufak bir yol parçasına bıraktıkları enerji sadece ışının hızına değil, elektrik yüküne ve kütlesine de bağlıdır. Elektrik yükü ve kütlesi daha büyük ışınlar daha fazla enerji bırakırlar. Bu söylediklerimizden alfa ışınlarının yolları boyunca daha fazla enerji bıraktıkları anlaşılır. Bu sebeple, alfa ışınlarının madde içindeki yolları gayet kısa olur. Alfa ışınlarının kütlelerinin çok büyük olması sebebiyle ortamdaki atomların elektronlarıyla olan çarpışmalarında yollarından pek sapmazlar ve yolları doğru çizgiler halinde olur. Işının bir ortamda gidebileceği yolun uzunluğu (buna erişme uzaklığı denir) ortamın yoğunluğu ile ters orantılıdır. Bu sebeple, ışınların erişme uzaklıkları genellikle mm veya cm olarak değil, gr/cm^2 veya mgr/cm^2 olarak verilir, yani ışının geçtiği maddeden yapılmış ve kalınlığı ışının bu maddedeki erişme uzaklığına eşit 1 cm^2 lik levhanın kütlesiyle ifade edilir.

Meselâ havada 3,8 cm gidebilen polonyum alfa ışınlarının erişme uzaklığı mgr/cm^2 olarak (havanın yoğunluğu yaklaşık olarak $0,0013 \text{ gr}/\text{cm}^3$ olduğundan) $3,8 \text{ cm} \times 0,0013 \text{ gr}/\text{cm}^3 = 0,00494 \text{ gr}/\text{cm}^2$ veya $4,94 \text{ mgr}/\text{cm}^2$ dir. Bu ışınlar 1 cm^2 si $4,94 \text{ mgr}$ ı geçmiyen kalınlıktaki maddelerden geçerler. Diğer taraftan, alfa ışınlarının erişme uzaklıkları R ile enerjileri E_α arasında yaklaşık olarak $R \approx a \cdot \sqrt[3]{E_\alpha^2}$ (2) gibi bir bağıntı vardır; burada a bir orantı sabitidir.

β (BETA) IŞINLARININ MADDEDEN GEÇİŞİ

β ışınları da maddeden geçerken alfa ışınları gibi yollarına rastlayan atom ve molekülleri iyonlaştırarak veya uyararak giderler. Yani yolları boyunca enerji bırakarak giderler. Aynı alfa ışınlarında olduğu gibi, ışın enerjisi büyükse ufak bir yol parçasında bırakılan enerji küçük olur. Işının enerjisi azaldıkça yolu üzerine bıraktığı enerji artar, yani ışının etkisi artar. β ışınlarıyla alfa ışınları arasında başlıca farklardan biri β ışınının yolunun bir doğru değil, bir zikzak çizgi şeklinde olmasıdır ve diğer bir fark da daha yukarıda söylendiği gibi aynı izotopun yayınladığı β ışınlarının hepsinin enerjisi aynı değildir (Şekil : 4). Diğer taraftan, β ışınlarının yolları üzerindeki ufak bir yol parçasına bıraktıkları enerji aynı enerjili alfa ışınlarından çok daha azdır (β ışınının kütlesi α nınkinden yaklaşık olarak 8000 defa, elektrik yükü de 2 defa daha küçüktür).

β ışınlarının geçebileceği madde kalınlığı da gene gr/cm^2 veya mgr/cm^2 olarak verilir ve ışınların maksimum enerjisi ile geçebilecekleri kalınlık arasında $R = 0,526.E - 0,094 (3)$ bağıntısı vardır; burada R gr/cm^2 olarak madde kalınlığı E de MeV olarak β ışınının maksimum enerjisidir.

β ışınlarının nüfus yeteneği aynı enerjili alfa ışınlarından çok daha fazladır. Fakat daima β ışınlarının hepsini durduracak bir madde kalınlığı seçmek kabildir ve bu kalınlık yukarıdaki formülle hesaplanabilir (ışınlardan korunmak için). β ışınlarının bir ortamda bıraktıkları enerji, yani biyolojik etkilerini hesaplarken ortalama enerjileri gözönüne alınmalıdır.

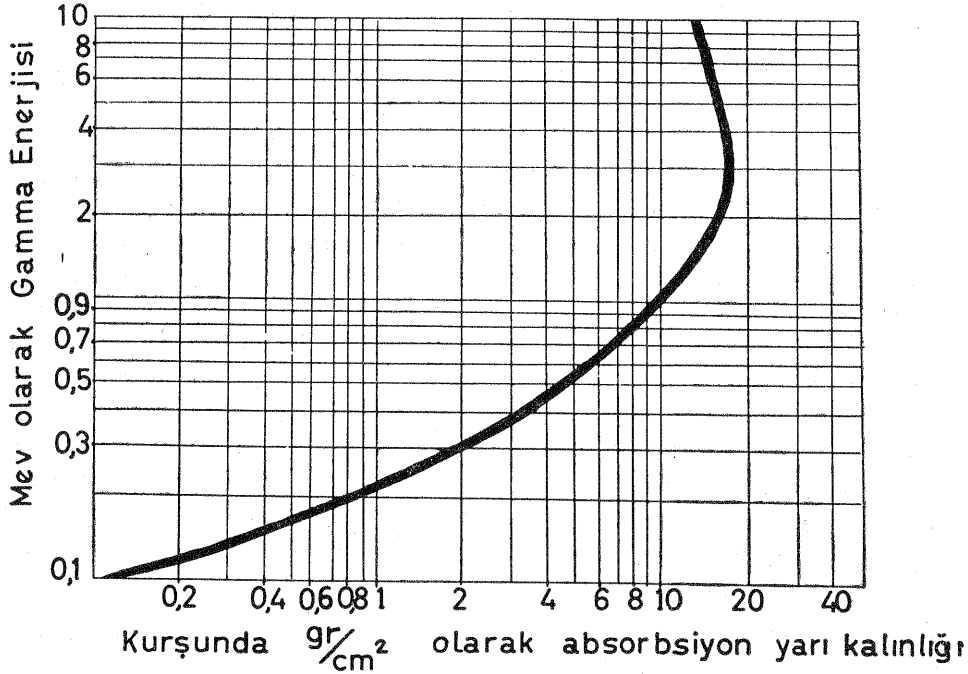
γ (GAMMA) IŞINLARININ MADDEDEN GEÇİŞİ

γ ışınlarına gelince, bunların madde içinde meydana getirdiği etkiler X ışınlarınınkinden aynıdır, fakat alfa ve beta ışınlarından tamamen farklıdır. Zira alfa ve betalar yolları boyunca sürekli olarak enerji bırakarak giderler ve madde içinde enerjilerine bağlı olarak erişebilecekleri belli bir mesafe vardır ve bu mesafeden öteye geçemezler. γ larsa madde içinde yolları boyunca sürekli olarak enerji bırakarak gitmezler ve yolları üzerinde herhangi bir yerde enerji bırakmaları tamamen tesadüfe bağlıdır. Onun için belli bir erişme uzaklıkları yoktur. γ lar madde içinde şu üç mekanizma ile enerji bırakırlar :

1. Compton olayı : Işın enerjisinin bir kısmını yolu üstüne rastlayan bir elektrona devrederek ilk doğrultusundan sapmış ve enerjisi azalmış (dalga boyu büyümüş) olarak yoluna devam eder. Enerji kapalı elektron ise bağlı olduğu sistemden koparak β ışını gibi kazandığı enerjiyi yolu boyunca bırakarak ilerler. Bu olayın ihtimali ortamın atom numarası ile orantılıdır ve 2 MeV enerjinin altındaki gamma ışınları için önemlidir.

2. Fotoelektrik olay : γ ışını enerjisinin hepsini yolu üzerine rastlayan ve atoma çok sıkı bağlı bir elektrona devreder. Elektron bağlı olduğu sistemden koparak β ışını gibi kazandığı enerjiyi yolu boyunca bırakarak gider. Bu olayın ihtimali ortamdaki atomların Z atom numaralarının beşinci kuvveti (Z^5) ile doğru, gamma enerjisinin karesiyle ters orantılıdır.

3. Çift teşekkülü : γ ışınının enerjisi 1 MeV dan büyük ise ve içinden geçtiği ortamda bir çekirdeğin çok yakınından geçecek olursa enerjisi yoğunlaşabilir ; böylece biri pozitif, diğeri negatif olmak üzere iki elektron hasil olur. Gam-



Şekil 5 : Gamma enerjisi ile yarı kurşun kalınlığı arasındaki bağıntı.

ma ışını enerjisinin ~ 1 MeV i teşekkül eden bu elektronların kütlelerindedir (bir elektronun kütlesi $\approx 0,5$ MeV enerjiye eşittir) ; geri kalanı da elektron çifti tarafından paylaşılır. Fakat pozitronlar serbest kalamazlar, bir elektrona birleşerek tekrar yarımşar MeV lik iki gamma ışını hasil olur ve bu ışınlar çok defa ortamdan uzaklaşıp giderler.

Buradan görüleceği gibi, γ ışınlarının yollarının neresinde ve enerjilerinin ne kadarını bırakacağı tamamen tesadüfe bağlıdır. Bu bakımdan nüfuz yetenekleri en fazla olan ışınlar γ ışınlarıdır. Şiddeti I_0 olan γ ışınlarının şiddetini yarıya düşüren

madde (genellikle kurşun) kalınlığına γ ışını için yarı kalınlık denir ve yarı kalınlığı $l_{1/2}$ ile gösterirsek (kalınlığı l cm² yüzeye isabet eden kütle, yani gr/cm² olarak ifade ederiz). X kalınlığını geçen hüzmelin şiddeti $I = I_0 \cdot e^{-\frac{0,693 \cdot X}{l_{1/2}}}$ (4) olur. Bu formül $I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$ olarak da ifade edilebilir ve μ ye absorpsiyon katsayısı denir. (4) numaralı formülden anlaşılacağı gibi gamma ışınlarını bir madde ile tamamen durdurmak imkânı yoktur ; fakat kalınlığı arttırarak ışınların şiddeti istenildiği kadar azaltılabilir. Gamma ışınlarının şiddetini yarıya düşüren kurşun kalınlığı ışın enerjisine bağlıdır ve Şekil : 5 de gamma enerjisi ile yarı kurşun kalınlığı arasındaki bağıntı görülmektedir.

RADYOAKTİF İZOTOPLARIN VE IŞINLARIN BİYOLOJİDE KULLANILMASI

Radyoaktif izotoplar biyolojide çeşitli maksatlarla kullanılmaktadır. Bunlardan biri, işaret olarak kullanmak suretiyle bir molekül veya atomik grubu işaretleyip bu grubun biyolojik fonksiyonu ile ilgili davranışlarını incelemektir. Bu iş için izotopların kimyasal özelliklerinin aynı oluşundan faydalanılarak, incelenecek molekülün atomlarından biri yerine bu atomun radyoaktif izotopu konur. Bu izotop radyoaktivitesi yardımıyla kolayca izlenebilir. İzlemek için çalışmanın mahiyetine göre uygun deteksiyon tekniğini ve bu tekniğe en uygun izotopu seçmek gerekir. Meselâ bazı hallerde otoradyografi tekniğini kullanmak maksada daha uygun gelir. Bu halde oldukça düşük enerjili β ışınları veren izotopları kullanmak daha uygun olur.

Diğer taraftan tıpta, bazı hastalıkların teşhisinde ve canlı varlıklar üzerinde vücut içinde izleme ve ölçüler yapılmak istenirse gamma ışınları yayınlayan izotopları kullanmak gerekir.

Radyoizotopların tıpta mühim bir uygulama yeri de kanser teşhis ve tedavisinde kullanılmalarıdır. Bütün bu maksatlar için seçilecek izotop, kullanma yerine ve maksadına göre seçilir. Eğer bir tümörün radyoaktif ışınlarla tahribi isteniyorsa, izotopun ışınlarının etkisi sadece tümör civarında ve gayet şiddetli olmalı, vücudun sağlam kısımlarını pek etkilememelidir. O zaman β veya α ışınları yayınlayan izotoplar daha uygun olur. Çünkü bunların sınırlı bir erişme uzaklıkları vardır.

E K L E R

I Dalga : Uzayın (dolu veya boş) bir noktasının normal halinde meydana gelen bir değişiklik diğer noktalara yayılıyorsa, fakat bu yayılmada bölgenin tümünde kalıcı bir değişiklik meydana gelmiyorsa (yani her nokta tekrar normal haline dönüyorsa) ve herhangi bir noktada meydana gelen değişiklik noktanın mevkiine, zamana bağlı ise, böyle olaylara dalga halinde y a y ı l m a denir.

denir ve yarı
e, yani gr/cm²
$$e^{-\frac{0,693 \cdot X}{1/2}} \quad (4)$$

sorpsiyon kat-
ışınlarını bir
tırarak ışınla-
ldetini yarıya
mma enerjisi

Dalga yayılmasında bir noktadaki değişiklik zamanın periyodik bir fonksiyonudur, yani eşit zaman aralıklarıyla tekrarlanır ; ardarda iki tekrarlanmış arasında geçen zamana p e r i y o d ve bir periyod süresince dalganın yayıldığı mesafeye d a l g a b o y u denir.

Değişik periyodlu birkaç dalga birlikte yayılabilir. Böyle bir dalga zamana bağlı basit bir periyodik olay olarak değil, birkaç periyodik olayın toplamı şeklinde ifade edilebilir.

Genellikle bir değişiklik meydana getirmek için bir enerji sarfetmek gerekir ve değişiklik diğer noktalara yayıldıkça sarfedilen enerji de dalga ile birlikte diğer noktalara doğru yayılır ki, bu enerjinin dalgalar halinde yayılmasıdır.

II Elektromagnetik dalgalar : Bir elektrik yük, civarında bulunan diğer elektrik yükleri üzerine kuvvetler etkiler (Coulomb kuvvetleri). Elektrik yükleri üzerine, kuvvetlerin etkidiği uzay bölgesine e l e k t r i k a l a n denir.

Elektrik alanda elektrik yükler üzerine kuvvetler etkidiği için, bu kuvvetlerin etkisi ile elektrik yüklü cisim kuvvet yönünde hareket ederek bir iş yapar. Demek ki, elektrik alan bir iş yaptırmak yeteneğindedir. İş yapmak veya yaptırmak yeteneğine e n e r j i denir. Öyle ise elektrik alanının enerjisi vardır. Enerji yapılan iş ile ölçülür. Bir elektrik alanın herhangi bir noktasındaki enerji, bu noktanın alanı doğuran elektrik yükü merkezine olan uzaklığına bağlıdır (uzaklıkla ters orantılıdır). Eğer alanı doğuran elektrik yük bir nokta etrafında ve belli bir doğrultuda titreşim hareketi yapacak olursa, o bölgedeki noktalarda elektrik alan değeri de periyodik olarak yükün titreşim periyodu ile aynı periyodla değişir ve bu değişim dalgalar halinde yayılır. Bu dalgalara e l e k t r i k a l a n d a l g a l a r ı denir.

Hareket eden elektrik yükler civarında magnetik bir alan meydana getirirler. Magnetik alan, mıknatıslanabilen cisimler üzerine mıknatıslılıkları sebebiyle kuvvetlerin etkidiği uzay bölgesidir.

Hareket halindeki bir elektrik yükünün meydana getirdiği magnetik alanda alanın bir noktasındaki değeri, bu noktanın, alanı meydana getiren yükün yö-
rüngesine, alan uzaklığına ve yükün hızına bağlıdır. Magnetik alanın da enerjisi vardır. Yük ileri geri titreşim yaparken hızı da periyodik olarak değişir ve bu magnetik alan değişimi dalgalar halinde yayılır.

Demek ki bir elektrik yükün titreşimi civarında hem elektrik, hem de magnetik alan dalgalanmaları meydana getirir. Bu dalgalara elektromagnetik dalgalar denir. Radyo dalgaları ve ışık dalgaları da böyle elektromagnetik dalgalardır. Elektromagnetik dalgaların yayılması için maddesel bir ortama lüzum yoktur, boşlukta da yayılırlar.

Elektromagnetik dalgaların boşlukta yayılma hızları yaklaşık olarak 3.10^{10} cm/san dir ve taşıdıkları enerji frekansları ile orantılıdır (ν frekanslı bir elektromagnetik dalganın erg olarak enerjisi $E = 6,62.10^{-27} \nu$ formülü ile verilir, boşluktaki dalga boyu λ cm olan bir ışının frekansı $\nu = 3.10^{10}/\lambda$ titreşim/san dir).

Elektromagnetik dalgalar elektriği ileten ortamlarda yayılamazlar, bu ortamlara rastlayınca kısmen yansır, kısmen de yutulurlar. Elektriği iletmiyen, yani yalıtkan ortamlarda yayılırlar. Elektromagnetik dalgalar maddesel ortamlarda yayılırken yayılma hızları azalır, meselâ cam içinde 2.10^{10} cm/san civarındadır. Bir elektromagnetik dalganın bir yalıtkan ortamdaki yayılma hızı o ortamın dielektrik sabitinin kare kökü ile ters orantılıdır.

III. Esneklik dalgaları: Bir kuvvet etkisinde şekli değişen, fakat kuvvet kalktığı zaman tekrar ilk halini alan cisimlere esnek cisimler denir. Bir esnek cismin herhangi bir zerresini (bir noktasını) kuvvet etkisiyle normal durumundan ayırır ve sonra serbest bırakırsak, bu zerreye bir enerji vermiş oluruz. Çünkü kuvvet etkisiyle bu zerreyi yerinden oynatırken bir enerji sarfederiz. Bu enerji zerrede potansiyel enerjiye -durum enerjisine- dönüşür; kuvvet kalkınca bu enerji zerreyi harekete geçirerek titreştirir. Zerre titreşirken komşu zerreleri de kendisiyle sürükleyerek titreştirir, titreşimiye başlayan zerreler de kendi komşularını titreştirir. Böylece, zerrelerin normal durumların etrafındaki bu yer değiştirmeler (titreşmeler) dalgalar halinde ortama yayılır. Bu dalgalara esneklik dalgaları denir. Zerrelerin titreşebilmeleri için bu zerreler enerji gitmesi gerekir, yani burada da enerji dalgalarla yayılmaktadır. Öyle ise esneklik dalgalarına da bir bakıma radyasyon gözü ile bakılabilir. Yalnız esneklik dalgalarının yayılabilmesi için esnek maddesel ortamlara ihtiyaç vardır. Meselâ ses bir esneklik dalgasıdır.

IV. Erg: Uzunlukların santimetre, kütlelerin gram ve zamanın saniye ile ölçüldüğü temel birim sisteminde (C. G. S. birim sistemi) enerji (iş) birimi erg dir. Bir erg bir dinlik bir kuvvet kullanarak bir cisme bir santimetre yer değiştirtildiği zaman yapılan iş (sarfedilen enerji) dir. Bir dinlik kuvvet, bir gramlık cismin ağırlığının (dünyadaki) yaklaşık olarak $1/981$ ine eşit bir kuvvettir.

SUMMARY

The general definition of radiations is given. The properties of electromagnetic and corpuscular radiations are briefly summarized. Radioactivity and terminology in radioactivity and main interactions of nuclear radiations with matter and their use in medical and biological application are recorded.

BİBLİYOGRAFYA

1. ALEXANDER, P. (1959): Atomic radiation and life. London.
2. ARTUNKAL, S. (1962): Radioizotopların klinikte kullanılması. Tedavi Kliniği Radioizotop kursu dersleri. İstanbul.
3. ENER, C. (1969): Denel fizik ders kitabı. İstanbul.
4. FAIRES, A. R. ve PARKS, B. H. (1960): Radioisotop laboratory techniques. London.
5. KAMEN, M. D. (1957): Isotopic tracers in biology. An introduction to tracer methodology. New York.
6. ZUBER, K.; çev. ENER, C. (1967): Denel fizik ders kitabı. 3. Baskı. İstanbul.

: olarak 3.10^{10}
anslı bir elekt-
ilü ile verilir,
 λ titreşim/san

lar, bu ortam-
letmiyen, yani
sel ortamlarda
civarındadır.
uzı o ortamın

fakat kuvvet
e r denir. Bir
normal duru-
vermiş oluruz.
sarfederiz. Bu
st kalkınca bu
ju zerreleri de
kendi komşu-
bu yer değiş-
ı e s n e k l i k
enerji gitmesi
sneklik dalga-
k dalgalarının
ses bir esnek-

nın saniye ile
(iş) birimi erg
stre yer değiş-
t, bir gramlık
uvvettir.

of electromag-
tivity and ter-
as with matter