

- **Öğretim Elemanı:** Dr. Öğretim Üyesi Şeyma PARLATAN
- **E-posta:**  
[seyma.parlatan@istinye.edu.tr](mailto:seyma.parlatan@istinye.edu.tr)
- **Bölüm:** Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu
- **Ders:** Radyasyon Fiziği
- **Dönem:** 2021-2022 Eğitim Öğretim Dönemi Bahar Dönemi



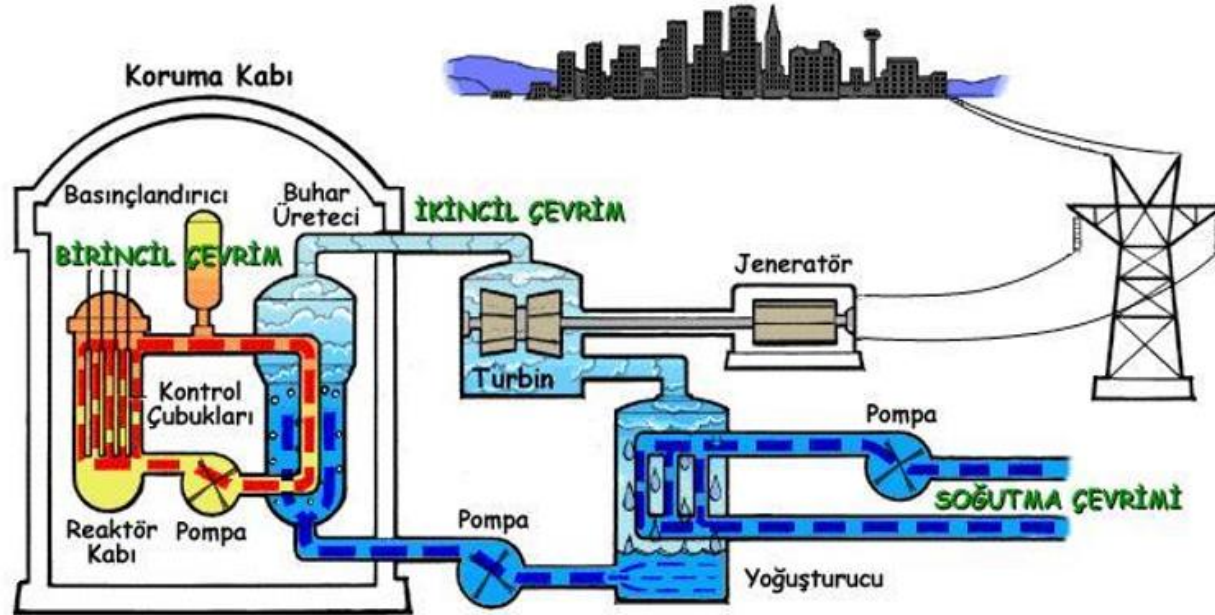
# Nükleer Enerji

Bir atom çekirdeğinde bazı değişikliklere yol açan bir tepkimede açığa çıkan enerjiye **nükleer enerji** denir. Nükleer enerji oluşturmak için iki teknik kullanılır. Bu teknikler

**1) Fisyon:** büyük kütleli bir çekirdeğin daha küçük iki çekirdeğe bölünmesidir.

**2) Füzyon:** İki hafif çekirdek, daha ağır bir çekirdek oluşturmak için birleşmesi olayıdır.

Her iki durumda da enerji açığa çıkar

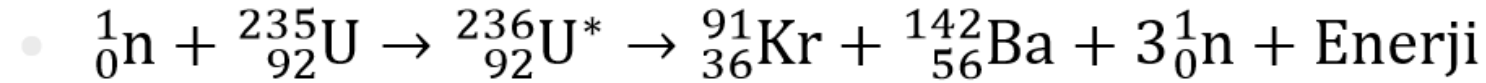


# Nükleer Fisyon

Nükleer fisyon, büyük bir çekirdek küçük bir parçacık ile bombardıman edilir. Çekirdek daha küçük çekirdeğe ve birkaç nötrona ayrılır. Büyük miktarda enerji salınır.

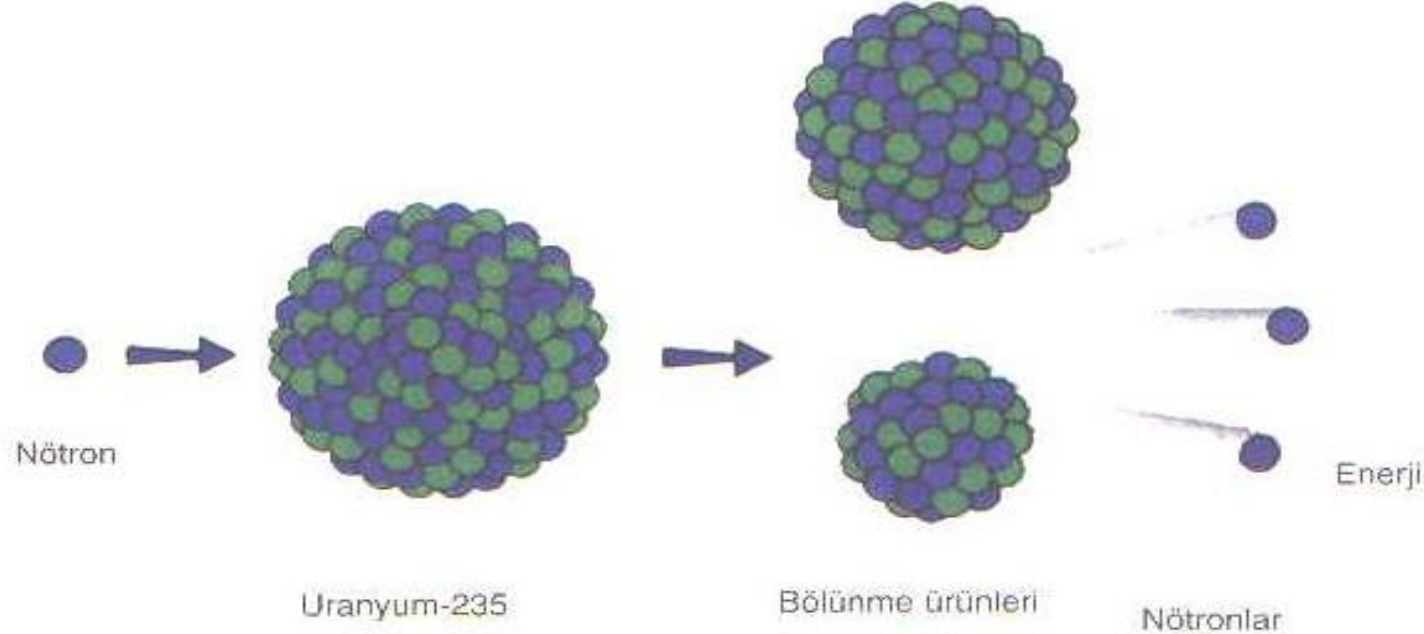
$^{235}\text{U}$  nötronla bombardıman edildiği zaman,

- Kararsız olan  $^{236}\text{U}$  çekirdeği daha küçük iki çekirdeğe Kr-91 ve Ba-142 ayrılır ve açığa enerji çıkar.



Bir atom çekirdeğinin bölünmesi olayına  
**FİSYON** denir.

BÜYÜK KÜTLE  $\longrightarrow$  KÜÇÜK KÜTLE + ENERJİ



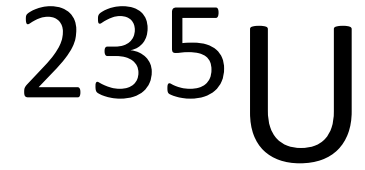
1 kg U-235 izotopunun fisyon yapması sonucu açığa çıkan enerjinin yaklaşık **1.3 milyon kg kömürüne** eşdeğer olduğunu belirtmek yeterli olacaktır.

**YAKLAŞIK 22 MİLYAR KJ ENERJİ**

# Zincirleme Reaksiyon:

Fisyon sonucunda ortaya çıkan nötronların, ortamda bulunan diğer fisyon yapabilen atomların çekirdekleri tarafından yutularak, onları da aynı reaksiyona sokması ve bunun ardışık olarak tekrarlanmasıdır. Kontrolsüz bir zincirleme reaksiyon, çok çok kısa bir süre içinde çok büyük bir enerjinin ortaya çıkmasına neden olur; atom bombasının patlaması bu şekildedir.

Bir kilo zengin uranyum nükleer bomba olarak kullanılacak olursa, açığa çıkaracağı ısı enerjisi 16 milyon litre benzinin vereceği ısı enerjisine denktir.



$^{235}\text{U}$  tabiatta  $^{238}\text{U}$  ile birlikte çok az miktarda bulunur. Bombada kullanılacak olan  $^{235}\text{U}$ 'in çok saf olması gerekir, bu yüzden  $^{238}\text{U}$ 'dan ayrılmalıdır.  $^{239}\text{Pu}$  plutonyum ise tabiatta bulunmaz, nükleer reaktörlerde  $^{238}\text{U}$ 'dan elde edilir.

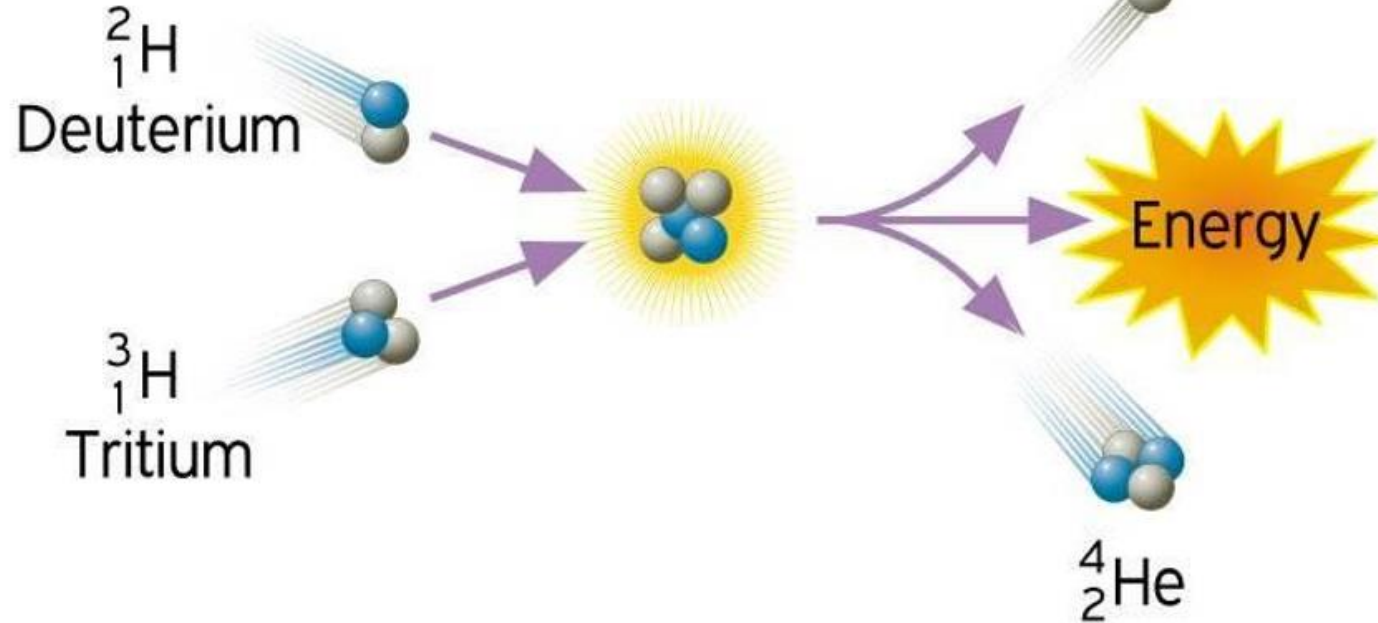


6 Ağustos 1945 sabahı ilk atom bombası “Enola Gay” isimli bir bombardıman uçağı ile **Hiroşima’ya** atıldı. Saniyenin onbinde biri kadar kısa bir sürede gerçekleşen patlamanın ilk etkisi gözleri kör eden bir ışıktı. Ardından gelen 300.000 °C’lik ısı etkisi ise yaklaşık 3 km çapındaki her şeyin yanmasını sağladı. Daha sonra ise patlamanın etkisiyle başlayan ve saatte 1800 km ile esen alev rüzgarı çevredeki her yükseltiyi dümdüz etti. Ama asıl kalıcı etkiyi patlamadan bir kaç dakika sonra başlayan bir yağmur gerçekleştirdi. Yağmur ile tüm radyoaktif serpinti bölgeye inmiş oldu. Saniyelerle ölçülebilecek bir zaman dilimi içerisinde Hiroşimayı yok eden bu korkunç bombanın bilançosu yaklaşık 80.000 ölü ve 100.000 yaralı olarak belirlenmiştir.

# Nükleer Füzyon

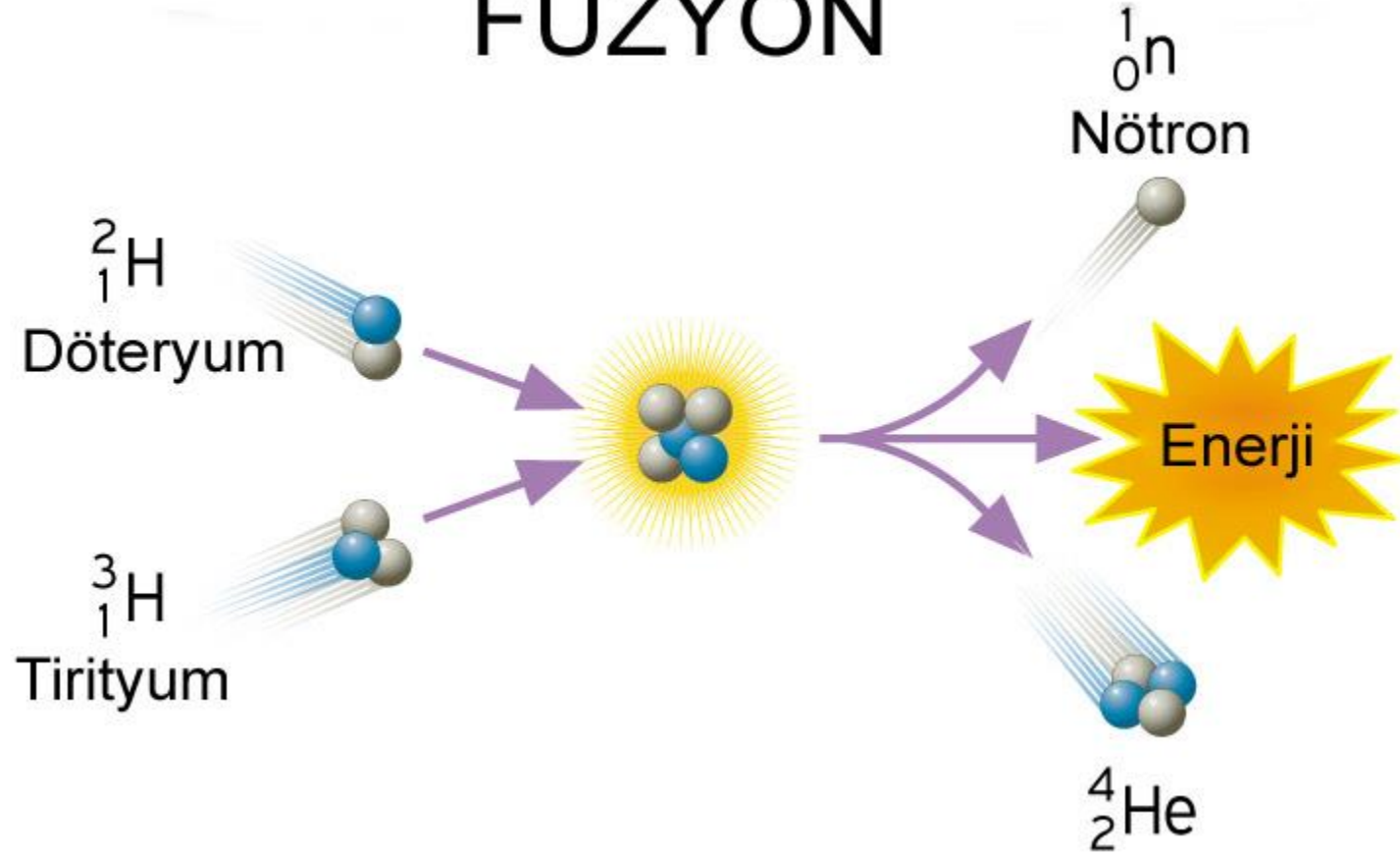


Küçük çekirdekler, enerji açığa çıkararak daha büyük nükleit oluşturmak üzere bir araya gelir

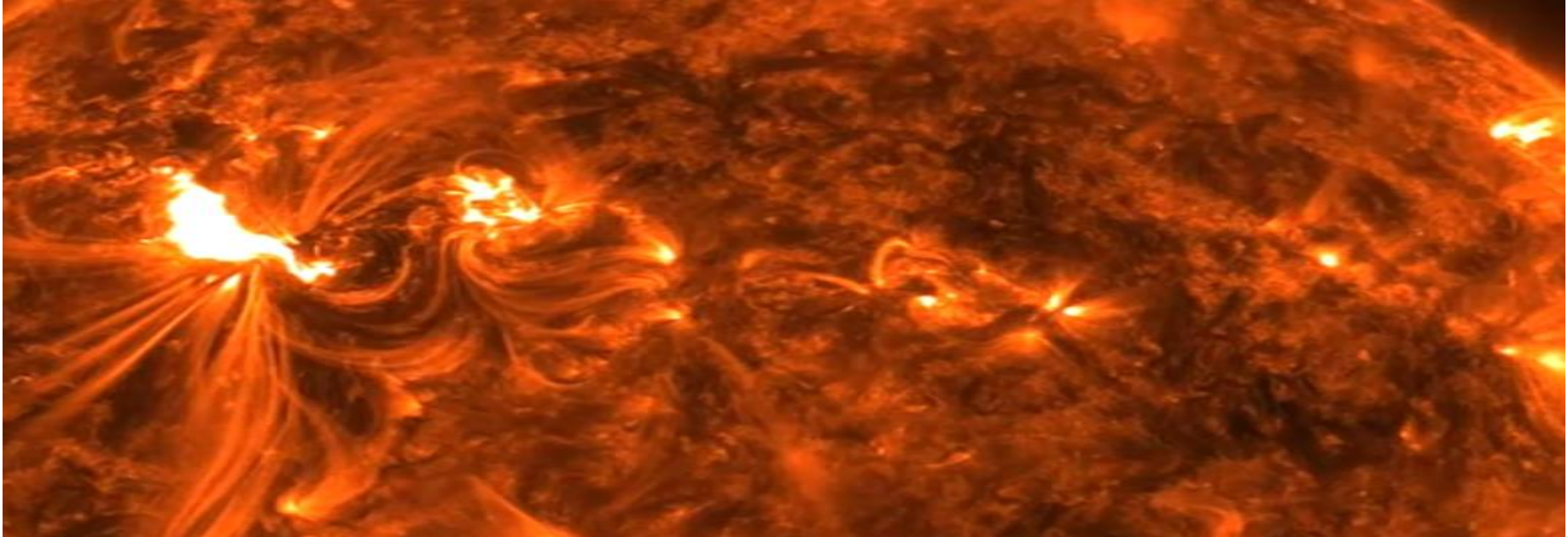


- Çekirdek Tepkimesi olarak da bilinen bu tepkimenin sonucunda çok büyük miktarda enerji açığa çıkar. Reaksiyona giren çekirdek Deuterium ve Tritium ler atom numarası 1 olan Hidrojen veya izotopları gibi düşük atom numarasına ait elementlerde ortaya çok büyük miktarda enerji çıkar.

# FÜZYON



- Füzyon tepkimeleri Güneşte her an doğal olarak gerçekleşmektedir. Güneşten gelen ısı ve ışık, Hidrojen çekirdeklerinin birleşerek Helyuma dönüşmesi ve bu dönüşüm sırasında kütle kaybı karşılığı enerjinin ortaya çıkması sayesinde meydana gelmektedir.



Kaynaşma tepkimelerinde açığa çıkan enerji, bölünme tepkimelerinden daha büyüktür.

**Füzyon** reaksiyonunda küçük kütleli çekirdekler birleşip büyük bir çekirdek oluştururlar. *Güneş ve yıldızların enerji üretimleri füzyon reaksiyonlarına dayanır, yani evrenin yaratılışındaki enerji kaynağı füzyon reaksiyonlarına dayanır.*

**Füzyon** çevre dostu, temiz bir enerjidir. Füzyon yakıtı hidrojenin izotopları döteryum D (deniz suyundan), tridyum T ise yapay olarak elde ediliyor.

Füzyon reaksiyonları

**$D + D$**                        **$He + n + enerji$**

**$T + D$**                        **$He + n + enerji$**

Bu reaksiyonların gerçekleşebilmesi için

T = 100 milyon °C sıcaklığa kadar erişilmesi gerekir.

Güneşin yüzey sıcaklığı 6000 °C dir.



- Bir ton deniz suyu yaklaşık olarak 33 gr döteryum içerir.

1 gr döteryum-trityum füzyon reaksiyonundan elde edilecek enerji yaklaşık 160 Milyon kj dur.

# ELEKTRON,PROTON VE NÖTRONLARIN MADDE İLE ETKİLEŞİMLERİ

# ELEKTRONLARIN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ

- Elektronlar madde ile iki şekilde etkileşerek enerji kaybederler:
  - Çarpışma ile ( Atomik elektronlarla)
  - Işıma yolu ile (Çekirdeğin elektromanyetik alanı ile)
- Her iki etkileşimde inelastiktir.

# Çarpışmayla Enerji Kaybı

- İki şekilde meydana gelir:
  - İyonizasyon
  - Uyarılma
- Bu olayların olma olasılığı gelen elektronun enerjisine ve çarpışmaların gerçekleştiği ortamın atom numarasına ( $Z$ ) bağlıdır.
- Suda veya yumuşak dokuda elektronlar, diğer yüklü parçacıklar gibi daha çok uyarılma ve iyonizasyon yoluyla enerji kaybederler.

- Çarpışmayla enerji kaybı; gelen elektron, atomik elektronu bulunduğu kabuktan dışarı fırlatacak kadar yakınından geçerse gerçekleşir. Eğer,
  - Kopan elektron atomdan tamamen uzaklaştırılırsa atom iyonize olur.
  - Bu elektron geçici olarak bir üst enerji seviyesine yükseltirse atom uyarılmış olur.
- Çarpışmayla enerji kaybı sonucu oluşan iyonizasyon ve uyarılma hücrede biyolojik zarara yol açar.

# İyonizasyon

- Gelen elektron, yörünge elektronunun bağlanma enerjisini yenecek kadar yeterli enerjiye sahipse, o elektron bulunduğu kabuktan dışarı fırlatılır ve atom iyonize olur.
- Eğer kopan elektron 100eV dan daha fazla enerjiye sahipse *ikincil elektron* veya *delta ışını* olarak adlandırılır ve bu elektronun kendisi de çarpışmalarla iyonizasyon veya uyarılma meydana getirebilir.

# Uyarılma

- Gelen elektrondan yörünge elektronuna aktarılan enerji bağlanma enerjisinden küçükse, bu elektron bir üst enerji seviyesine geçer ve atom uyarılmış olur.
- Eğer ortam gaz ise uyarılan atom fazla enerjisini elektromanyetik ışına yaparak dışarı salar ve taban durumuna geri döner.
- Eğer ortam katı bir malzeme ise atom herhangi bir ışına yapmadan fazla enerjiyi çevresine ısı olarak verir.
- Bu olay için gereken enerji sadece birkaç eV dur ve gelen elektronun enerji kaybı çok küçüktür.

# Işımalı Enerji Kaybı (Bremsstrahlung)

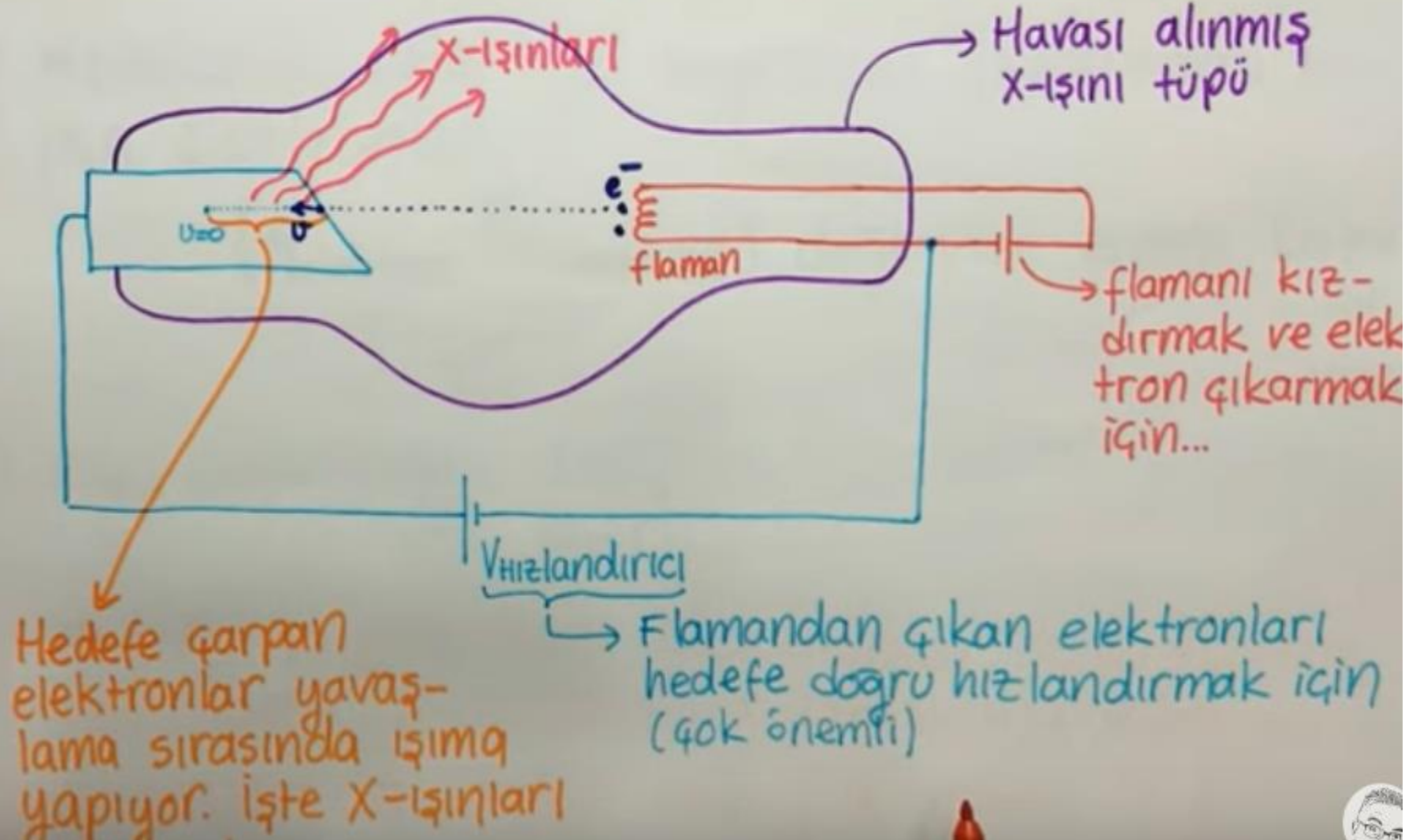
- Gelen elektron atom çekirdeğinin çok yakınından geçerse oluşan Coulomb kuvvetinin etkisiyle yavaşlar, yönü ve doğrultusu değişerek uzaklaşır. Bu sırada elektromanyetik ışıma yaparak enerji kaybeder. Yayınlanan ışınım ***Bremsstrahlung (frenleme ışınımı)*** denir.
- Eğer elektronun atoma en yakın yaklaşma mesafesi atomun yarıçapından daha küçükse bu tür etkileşme olma olasılığı yüksektir.
- Bu olay x-ışınları üretiminin temelini oluşturur.



- Bazen gelen elektron direkt atomik bir elektronla örneğin K kabuğundaki bir elektronla etkileşir ve karakteristik K radyasyonu salınır. Bu tür etkileşimin olma olasılığı düşüktür.
- Düşük elektron enerjilerinde Bremsstrahlung olayının görülme olasılığı çok azdır. Fakat yüksek enerjilerde bu olay çarpışma ile olan olaylardan daha çok görülür.

- Işımalı enerji kaybı, elektromanyetik ışıınının üretilmesi ve gelen elektronun yolundan sapması ile sonuçlanır.
- Su, doku gibi düşük atom numarasına sahip ortamlarda elektronlar çoğunlukla atomik elektronlarla iyonizasyon yaparak enerji kaybederler. Kurşun gibi yüksek atom numarasına sahip ortamlarda ise Bremsstrahlung ışıması görülür.

## X-Işınları Nasıl Elde Ediliyor?



Hangi enerji kime dönüştü

Önerilen: Manyetizma ⓘ

$$e \cdot V_{\text{Hız.}} = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2 = E_{\text{X-ışını}}$$

paralel  
levha  
mantığı  
ile kaza-  
nılan

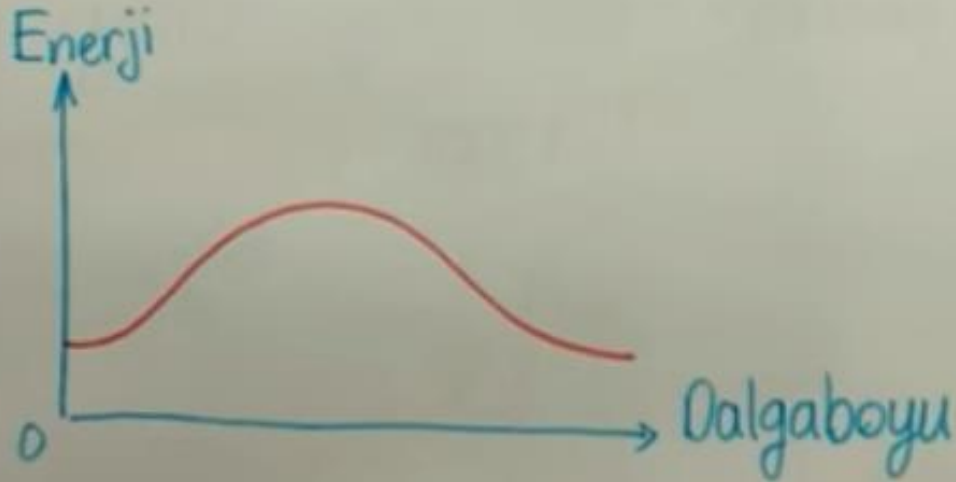
kinetik  
enerjiye  
çevirdik  
gitti  
hedefe  
tosladı

$$\begin{aligned} &\rightarrow h \cdot f_{\text{X-ışını}} \\ &\rightarrow \frac{h \cdot c}{\lambda_{\text{X-ışını}}} \end{aligned}$$

ani şekilde yavaşlayın-  
ca ışık çıkardı 😊

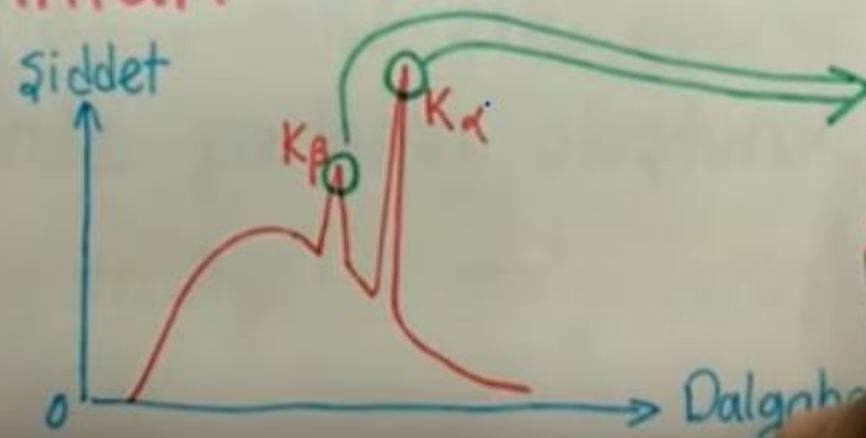
Kaç çeşit X-ışını var?

1 Hızlandırılan elektronlar hedefe çarpıp yavaşlayınca (Hedef atom Coulomb kuvvetiyle yanıt verir) her enerji düzeyinde X-ışını oluşacağından "sürekli spektrum X-ışını" elde edilir.





- ② Hızlandırılmış elektronların enerjileri yeteri kadar yüksek olursa çarptıkları atomun elektronlarını uyarır. Daha sonra temel hale dönmek durumunda olan elektron üzerine aldığı enerjiyi geri vermek zorundadır... Bu yolla yayılan ışınlara "karakteristik X-ışınları" denir.



! Karakteristik X ışınları şiddet-dalgaboyu grafiğinde keskin tepeler oluşur...

- ⊕ Dalga boyları  $0.1 - 100 \text{Å}$  arasındadır
- ⊕ Yüksüz oldukları için manyetik ve elektrik alandan etkilenmezler
- ⊕ Maddeye etki etme (penetrasyon) özelliği fazla olduğundan madde içinden kolaylıkla geçerler. Bu esnada yollarından saparlar ve saçılırlar. Atom numarası yüksek maddeler tarafından ( demir, beton, kurşun gibi ) soğurulurlar ( elektron–madde etkileşimleri )
- ⊕ Düşük enerjili x-ışınları (  $50 - 500 \text{kV}$  ) teşhis ve yüzeysel tümörleri (  $3 \text{cm}$  derinden az ) tedavide, yüksek enerjili x-ışınları (  $6 - 25 \text{MV}$  ) derin yerleşimli tümör tedavisinde kullanılır

# PROTONLARIN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ

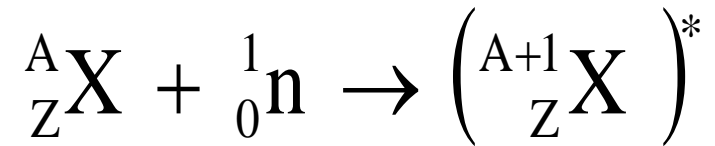
- Bir proton madde içine girdiğinde iyonizasyon yoluyla enerji kaybeder. Eğer yeterli enerjiye sahipse ayrıca nükleer reaksiyonlar da meydana getirir.
- Yüksek enerjili protonlar (Hidrojen çekirdekleri) madde içinde 100 MeV enerjiyle doğrusal olarak yol alırlar.
- Doku içindeki menzilleri yaklaşık olarak 10 cm dir.



- Yüksek enerjili proton demetleri, üretilme yöntemleri nedeniyle dar bir yapıdadır. Bu yüzden kanser çalışmaları için gereken alan büyüklüğü, demeti ileri geri doğrultuda tedavi edilen alan boyunca taratarak bulunur.
- Şimdiye dek , yüksek enerjili proton demetleri beyindeki küçük parçaları ameliyata gerek duymadan yok eden çok özel ışınlamalar için kullanıldı.

# NÖTRONLARIN MADDE İLE ETKİLEŞİMİ

- Nötron yüksüz olduğundan, nötronlarla yörüngesel elektronlar veya çekirdekler arasında Coulomb kuvvetleri yoktur.
- Bu durumda nötronların maddeye etki etmeleri için ya çekirdeğe girmeleri veya çekirdek kuvvetlerinin etkisinde kalmaları gerekir.
- Bir nötronun bir  ${}_Z^AX$  çekirdeği ile etkileşmesi şu şekilde gösterilir:



- Bileşik çekirdek kısa bir süre uyarılmış düzeyde kalır. ( $10^{-12}$ - $10^{-10}$  sn)
- Enerjisinin fazlasını bir veya daha fazla parçacığın yayınlanması ile atabilir.
- Uyarılmış düzeyde bulunan bir çekirdek, uyarılma enerjisinin büyüklüğüne ve çekirdeğin enerji seviyelerine bağlı olarak çeşitli reaksiyonlar meydana getirir.
- Bir nötron demetinin giriciliği genelde nötron enerjisi arttıkça artar. Bu yüzden yüksek enerjili nötronlar radyoterapi için en uygundur.

- Nötronların madde ile etkileşmesi altı şekilde gerçekleşir:
  1. Elastik çarpışma
  2. İnelastik çarpışma
  3. Nötronların tutulması
  4. Yüklü parçacıkların yayınlanması
  5. Fizyon
  6. Spallation

# 1. Elastik Çarpışma

- Nötron, bir atom çekirdeğine çarpar ve kinetik enerjisinin bir kısmını ona verdikten sonra geliş doğrultusundan farklı bir doğrultuya saparak çekirdekten uzaklaşır.
- Çekirdeğin fiziksel yapısı değişmez.
- Momentum ve enerji korunur.

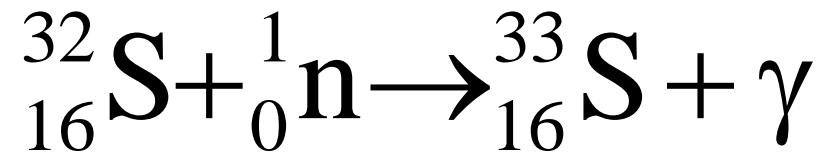
## 2. İnelastik Çarpışma

- Nötron, çarptığı çekirdeğin içine girer ve çekirdeğin fiziksel yapısını değiştirir.
- Nötron kinetik enerjisinin bir kısmını çekirdeğe vererek, çekirdeği geliş doğrultusundan farklı bir doğrultuda ve başlangıçta sahip olduğu  $E_n$  kinetik enerjisinden daha küçük bir enerji ile terk eder.
- Çekirdek bir gama ışını yayınlayarak sahip olduğu fazla enerjiden kurtulur ve temel enerji düzeyine geçer.

- İnelastik çarpışma yüksek enerjili ( $\geq 100$  meV) oldukları için yalnızca hızlı nötronlar için mümkündür.
- Çarpan nötronun sahip olduğu kinetik enerjinin bir kısmı hedef çekirdeğe ait bir iç uyarılma enerjisine dönüştüğünden inelastik çarpışmada momentum korunmaz.

### 3. Nötronların Tutulması

- Gelen nötron çekirdeğin içine girebilir ve onunla birleşerek bombardıman edilen atomun yeni bir izotopunu meydana getirebilir.
- Örneğin kükürt nötronlarla bombardıman edildiği zaman ,



reaksiyonu oluşur.



- Gama ışınlarının meydana gelmesi çekirdeğin reaksiyon sonucunda uyarılmış halde kaldığını gösterir.
- Sahip olduğu fazla enerjiyi gama ışınları şeklinde yayınlayarak temel enerji seviyesine geçer.

#### 4. Yüklü Parçacıkların Yayınlanması (n,p),(n,d),(n,t),(n, $\alpha$ ),(n, $\alpha$ p) reaksiyonları

- Yüklü parçacıkların, çekirdekten uzaklaşmaları için Coulomb potansiyel duvarını aşmaları gerektiğinden bu tip reaksiyonlar en çok hafif çekirdekler ve hızlı nötronlar için mümkündür.

## 5. Fizyon (Bölünme)

- Bir çekirdek tepkimesi sonucunda bir çekirdeğin ikiye bölünmesi olayıdır.
- Tek bir atomun fizyonundan 200 MeV dolayında bir enerji açığa çıkmaktadır.
- Fizyon sonucunda meydana gelen parçacıkların hızları  $10^9$  cm/sn kadardır. Hafif elementler için bu hız biraz daha büyük, ağır elementler için biraz daha küçüktür.
- Kütleleri oldukça büyük olmakla beraber havadaki erişme uzaklıkları ağır parçacıklar için 1.9 cm, hafif parçacıklar için 2.9 cm dir.

## 6. Spallasyon

- 100 MeV veya daha yüksek enerjili nötronların bir çekirdek içinde tutulmaları çeşitli tipte parçacıklardan oluşan bir reaksiyon zincirine neden olabilir. Bu olaya *spallasyon* denir.
- Bu olayda çekirdek daha küçük kütle numaralı yirmi veya otuz çekirdeğe ayrılır.

- Eğer bir nötron bir hidrojen çekirdeği ile çarpışırsa (kütleleri birbirine yakın olduğundan) enerji aktarımı çok yüksektir. Diğer yandan nötron daha ağır bir çekirdekle çarpıştığı zaman çok küçük bir enerji kaybeder.
- Bu nedenle en etkili nötron demeti soğurucuları parafin, polietilen gibi hidrojen içeren malzemelerdir.
- X-ışınları için iyi bir soğurucu olan kurşun, nötronlara karşı zayıf bir koruyucudur.

- Yüksek hidrojen içeriği nedeniyle, nötron demetine maruz kalan yağ dokusunda soğurulan doz miktarı kas dokusuna oranla %20 daha fazladır.
- Nötronlar tarafından meydana getirilen nükleer parçalanmalar sonucunda ağır yüklü parçacıklar, nötronlar ve gama ışınları yayınlanır ve doku dozunun yaklaşık %30 u açığa çıkar.