

# NÜKLEER FİSYON

**Doç. Dr. Turan OLGAR**

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Fizik Mühendisliği Bölümü

# NÜKLEER FİSYON

## Fisyon Reaktörleri

Reaktör bileşenleri;

- ✓ Yakıt veya fisyon yapabilen malzeme
- ✓ Nötronları yavaşlatmak için yavaşlatıcı (Hızlı nötron kullanan reaktör kullanılıyorsa yavaşlatıcıya gerek yoktur)
- ✓ Nötron kaçağını azaltmak için koru (yakıt+yavaşlatıcı) saran yansıtıcı
- ✓ Gaz olan radyoaktif fisyon ürünlerinin kaçmasını önleyen bir reaktör kabı
- ✓ Nötron ve gamma ışınlarına karşı zırhlama
- ✓ Isıyı çıkartmak için soğutucu
- ✓ Güç miktarını kontrol etmek için kontrol sistemi
- ✓ Acil önlem sistemleri

# NÜKLEER FİSYON

## Fisyon Reaktörleri

Reaktör tipleri;

- ✓ *Güç reaktörleri*
- ✓ Araştırma reaktörleri
- ✓ Dönüşüm reaktörleri

Güç reaktörleri, fisyon ürünlerinin kinetik enerjilerini ısı olarak çıkaran ve bununla suyu kaynatarak buhar üretip bir türbini çalıştıran sistemlerdir.

# NÜKLEER FİSYON

## Fisyon Reaktörleri

Reaktör tipleri;

- ✓ Güç reaktörleri
- ✓ *Araştırma reaktörleri*
- ✓ Dönüşüm reaktörleri

Araştırma reaktörleri, çekirdek veya katıhal fiziği alanlarındaki araştırmalar için nötron üretme amacı ile planlanmışlardır. Bu reaktörler genelde düşük güç seviyelerinde 1-10 MW mertebesinde çalıştırılır.

Araştırma reaktörlerinde nötron akısı büyüktür ( $10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>/s). Örneğin, bu reaktörlerde kristal yapısı araştırılabilir

# NÜKLEER FİSYON

## Fisyon Reaktörleri

Reaktör tipleri;

- ✓ Güç reaktörleri
- ✓ Araştırma reaktörleri
- ✓ *Dönüşüm reaktörleri*

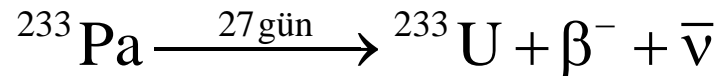
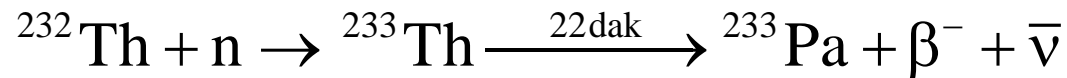
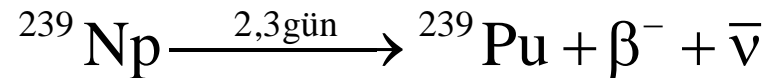
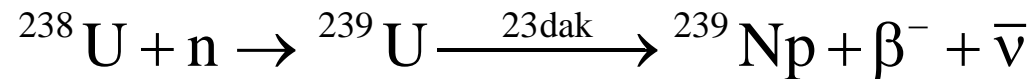
Dönüştürücü reaktörler yavaş nötronlarla fisyon yapamayan maddeleri büyük bir kazançla fisyon yapabilen maddelere dönüştürmek için planlanmışlardır. Dönüşümler arasında bazıları  $^{238}\text{U}$ 'den  $^{239}\text{Pu}$ 'a ve  $^{232}\text{Th}$ 'den  $^{233}\text{U}$ 'e olan dönüşümlerdir. Her iki durumda bir nötron soğurulur ve iki  $\beta$  parçacığı bozunumu olur.

# NÜKLEER FİSYON

## Fisyon Reaktörleri

Reaktör tipleri;

- ✓ Güç reaktörleri
- ✓ Araştırma reaktörleri
- ✓ *Dönüşüm reaktörleri*



# NÜKLEER FİSYON

## Fisyon Reaktörleri

Reaktör tipleri;

- ✓ Güç reaktörleri
- ✓ Araştırma reaktörleri
- ✓ *Dönüşüm reaktörleri*

$^{238}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$  gibi yavaş nötronlarla fisyon yapabilen maddelere dönüşebilen izotoplara üreyebilen (fertil) malzeme denir.  $\eta$  değeri 2 olan bir reaktör planlanırsa yakıtta bir nötron soğurulmasına karşılık çıkan iki nötrondan biri zincir reaksiyonun devamına diğeri de fertil malzemeye gider.  $\eta > 2$  yapılabilirse harcanandan daha fazla fisyon yapabilen malzeme üretilir ve bu tür reaktörlere *üretken reaktör* denir

# NÜKLEER FİSYON

## Fisyon Reaktörleri

Nötron Enerjisi;

Reaktörler yavaş, orta ve hızlı nötronlarla çalıştırılabilir.

Hızlı reaktörlerde yavaşlatıcı kullanılmaz. Hızlı nötronlar için tesir kesiti düşük olduğundan aynı gücü sağlamak için hızlı reaktörlerin yalıt gereksinimi , termal reaktörlerinkinin 10-100 katı kadardır. Ayrıca yavaşlatıcı kullanılmadığından hızlı reaktörlerin koru daha az hacim kaplar.



# NÜKLEER FİSYON

## Fisyon Reaktörleri

Yakıt Tipi;

En çok kullanılan yakıtlar doğal uranyum (0,72 %  $^{235}\text{U}$ ), zenginleştirilmiş uranyum ( $>0,72$  %  $^{235}\text{U}$ ),  $^{239}\text{Pu}$  ve  $^{233}\text{U}$ 'dür.

$^{239}\text{Pu}$  ve  $^{233}\text{U}$  dönüştürücü yada üretken reaktörlerde fertil malzemedен kimyasal yolla ayrılarak elde edilirler.

Reaktörlerde kullanılan zenginleştirilmiş uranyum, küçük kütle farkına duyarlı gazlı difüzyon yöntemi ile elde edilir. Bunun için  $^{235}\text{U}$  ve  $^{238}\text{U}$  arasındaki küçük kütle farkına duyarlı uranyum heksaflorid ( $\text{UF}_6$ ) gözenekli yapıdaki engel kullanılır.

# NÜKLEER FİSYON

## Fisyon Reaktörleri

Yakıt Tipi;

Bir gazın difüzyon sabiti, gazın kütlesinin kare kökü ile ters orantılıdır. Daha hafif olan izotop, termal dengede olan  $^{235}\text{U}$  ve  $^{238}\text{U}$  karışımından hızının büyük olmasından dolayı daha çabuk difüzyona uğrar. Engelden bir geçiş ile elde edilen zenginlik bağıl olarak 0,4% tür. Yani başlangıçta 0,72 %  $^{235}\text{U}$  için, bir geçiş sonucu zenginlik  $1,004 \times 0,72$  olur. Dolayısıyla engel binlerce kez geçilmelidir.

# NÜKLEER FİSYON

## Fisyon Reaktörleri

Yavaşlatıcı;

İdeal bir yavaşlatıcı

1. Ucuz ve bol olmalıdır
2. Kimyasal olarak kararlı olmalıdır
3. Kütlesi yaklaşık 1 olmalıdır
4. Yoğunluğu büyük bir sıvı veya katı olabilir
5. Nötron yakalama tesir kesiti minimum olmalıdır

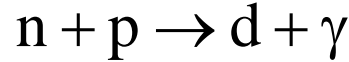
Grafit şeklindeki karbon 1,2,4 ve 5 kriterlerini sağlar.

# NÜKLEER FİSYON

## Fisyon Reaktörleri

Yavaşlatıcı;

Normal su 1,2,3,4 kriterlerini sağlar ancak sudaki protonun nötron yakalama tesir kesiti yüksektir.



Ağır suyun ( $D_2O$ ) nötron yakalama tesir kesiti çok küçüktür, fakat yakalama ile radyoaktif trityum oluşur.

Ağır sulu reaktörler, düşük nötron yakalama tesir kesitinden dolayı yakıt olarak doğal uranyum kullanabilir. Fakat hafif su ile çalışan reaktörler, yüksek nötron yakalama tesir kesitinden dolayı zenginleştirilmiş uranyum kullanırlar. Çünkü bu tür reaktörlerde ekstra nötron soğurulması gerçekleşecektir.

# NÜKLEER FİSYON

## Fisyon Reaktörleri

Birleştirme;

Reaktörler genellikle heterojen ve homojen olarak, sınıflandırılırlar. Heterojen reaktörlerde yakıt ve yavaşlatıcı ayrık, homojen reaktörlerde ise karışık şekilde bulunur.

Heterojen reaktörlerde  $k$  termik faydalanma katsayısı ve  $p$  rezonans kurtulma olasılığının hesaplanması zordur. Homojen bir reaktör (doğal uranyum grafit karışımı) kritikliğe ulaşmaz ancak heterojen bir reaktör kritikliğe gidebilir.

# NÜKLEER FİSYON

## Fisyon Reaktörleri

Soğutucu;

Soğutucu, reaktör korunun erimesine fırsat vermeden ısı çıkışını sağlayan başlıca elemanıdır. Güç reaktörlerinin tasarımındaki en önemli bileşen soğutucunun ısı transferindeki verimlilik kabiliyetidir. Soğutucu malzemeler ısı sığası yüksek olan, gazlar (hava, CO<sub>2</sub>, helyum), su ve diğer sıvılar olabilir.

Soğutucu olarak su kullanan reaktörlerde buharın ısı sığası küçük olduğundan, suyun sıvı halde kalmasını sağlamak için su yüksek basınçta tutularak kaynama noktası normal seviyeye göre yükseltilir. Bu tür reaktörlere *basınçlı su reaktörleri* denir.

Kaynama noktasının yüksek oluşu ve normal basınçta sıvı halini koruması nedeniyle (yüksek basınç zorunluluğu yoktur) sıvı sodyum, yakıt yoğunluğu yüksek olan hızlı üretken reaktörlerde soğutucu olarak kullanılır. Çünkü çok küçük hacimde verimli ısı transferi sağlanır.

# NÜKLEER FİSYON

## Fisyon Reaktörleri

Soğutucu;

Kaynar sulu yada basınçlı-su reaktörlerinde, hem yavaşlatıcı hem de soğutucu olarak normal (hafif) su kullanılır.

Normal su kullanan reaktörlerde zenginleştirilmiş uranyum (2-3%  $^{235}\text{U}$ ) kullanılır. ABD de genelde normal sulu reaktörler kullanılır. Çünkü zenginleştirilmiş uranyum temini burda kolaydır.

Kanada da ise ağır su ve doğal uranyum temini daha kolay olduğundan ağır sulu reaktörler kullanılır (Soğutucu olarak ağır yada normal su kullanırlar).

Yavaşlatıcı olarak grafit kullanan reaktörler, parçalı yani heterojen olarak tasarımılandıklarından yakıt olarak doğal veya zenginleştirilmiş uranyum kullanabilirler.

# NÜKLEER FİSYON

## Radyoaktif Fisyon Ürünleri

- Fisyon enerjisinin küçük bir kısmı (10-15%)  $\beta$  ile  $\gamma$  bozunumu ile açığa çıkar. Nötron fazlalığı olan ürünler kararlı bir izobara dönüşene kadar kütle zinciri içinde  $\beta$  bozunumuna uğrarlar.
- Her zincir kararlılığa yaklaştığında iki durum ortaya çıkar. Bunlar bozunum enerjisinin azalması ve yarı ömrün artmasıdır. Uzun yarı ömürlü ürün atıkları nükleer reaktörlerin atıkları arasında en tehlikeli olanlarıdır.
- Reaktörlerin çalışmaları süresince yakıt elemanları içinde biriken fisyon ürünleri, nötron yakalama tesit kesitlerinin yüksek oluşundan dolayı fisyonu yavaşlatabilirler.
- Bazı radyoaktif fisyon ürünleri araştırma amaçlı kullanılabilir dolayısıyla bazı izotopların elde edilmesinde ekonomik yol bunların kullanılan yakıttan ayrıştırılmasıdır.



# NÜKLEER FİSYON

## Radyoaktif Fisyon Ürünleri

Ürünün toplam  $\beta$  bozunumundan elde edilen enerjisi yaklaşık 19 MeV'dir. Fisyon ürünlerinden elde edilen  $\gamma$ -bozunumu enerjisi yaklaşık 7 MeV'dir.  $\beta$  bozunumunda enerji elektronla antinötrino arasında paylaşılır. Elektronla verilen ortalama enerji bozunum enerjisinin yaklaşık 0,3-0,4'ü kadardır. Yani 6-8 MeV kadarı ısı olarak çıkar geri kalan antinötrinolar yakıt elemanından kaçarak ne bozunum ısısına ne de radyasyona katkıda bulunur.

# NÜKLEER FİSYON

## Radyoaktif Fisyon Ürünleri

$\beta$  ve  $\gamma$  bozunumunda açığa çıkan enerji,

$$\beta(t) = 1,26t^{-1,2} \text{ MeV / s}$$

$$\gamma(t) = 1,40t^{-1,2} \text{ MeV / s}$$

Burada  $\beta$  ve  $\gamma$  sırasıyla, fisyon başına  $\beta$  ve  $\gamma$  bozunumu olarak depo edilen güçleri zamanın fonksiyonu olarak  $t$ 'nin  $1-10^6$  s değerleri arasında göstermektedir. Bir reaktör çalışırken, fisyon ürünleri sürekli olarak üretilirken diğer yandan diğer ürünler de bozunmaktadır. Reaktör kapatıldığında bozunmakta olan ürünlerin enerjileri, reaktörün ne kadar zaman ve hangi güç seviyesinde çalıştığına bağlıdır. Reaktör 0 ile T zamanı arasında çalıştırılmış olsun.

# NÜKLEER FİSYON

## Radyoaktif Fisyon Ürünleri

Reaktör kapatıldıktan t zaman sonra, başlangıçtaki çalışma seviyesindeki watt başına,  $\beta$  ve  $\gamma$  bozunumu olarak çıkan güç

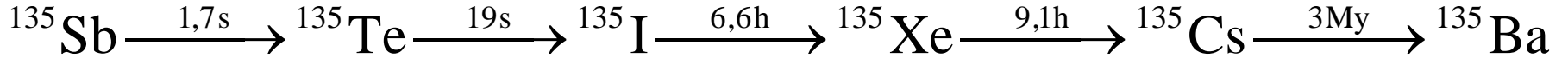
$$P(t) = 4,10 \times 10^{11} \left[ t^{-0,2} - (t + T)^{-0,2} \right] \text{MeV / s}$$

Reaktör kapatılmadan önce  $10^3$  MW güçte çalışıyorsa, ifade  $10^9$  ile çarpılmalıdır.

# NÜKLEER FİSYON

## Radyoaktif Fisyon Ürünleri

Fisyon ürünleri içerisinde önemli olan izotop  $^{135}\text{Xe}$ 'dir ve doğrudan  $^{235}\text{U}$ 'in fisyonundan (%0,2 bollukla) veya  $^{135}\text{I}$ 'in bozunumu ile (bolluk oranı yaklaşık % 6,4) oluşur. Bozunum zinciri



$^{135}\text{Xe}$ 'in yavaş nötron yakalama tesir kesiti  $2,7 \times 10^6$  b' dır. Bu tesir kesiti çok büyüktür ve fisyon yapabilecek nötronların sayısının azalmasına sebep olduğundan reaktörün güç seviyesinin sabit tutulabilmesi için, reaktör kontrol sisteminde bir düzeltmeye ihtiyaç vardır.  $^{135}\text{Xe}$ 'in bu etkisi *fisyon ürünü zehirlenmesi* olarak adlandırılır.