

NÜKLEER FİSYON

Doç. Dr. Turan OLĞAR

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Fizik Mühendisliği Bölümü

NÜKLEER FİSYON

Birçok çekirdek nötron yakalama ile β^- yayınlayarak bozunuma uğrar. Bu bozunum sonucu nötron protona dönüşür ve bu şekilde çekirdek nötron fazlalığını dengeler. 1939'da Meitner ve Frisch, uranyumun nötron yakalaması ile oldukça kararsız hale geldiğini ve yakın büyüklükte iki parçaya bölündüğünü veya fisyonu uğradığını ileri sürdüler.

Fisyon ağır çekirdeklerdeki çekirdek kuvveti ile Coulomb kuvvetinin çekiştiği bölgede gerçekleşir.

NÜKLEER FİSYON

Protonlar arasındaki Coulomb itme kuvveti (dolaylı olarak itme enerjisi) Z^2 ile orantılıdır. Çekirdeğin bağlanma enerjisi ise A ile orantılı bir şekilde artar.

Fisyon doğal bozunma sonucu yada nötron, foton gibi düşük enerjili parçacığın soğurulması sonucunda da gerçekleşebilir.

Nötron ile oluşan fisyon sonucu, iki ağır fisyon ürününe ek olarak birkaç nötron çıkar. Bu çıkan nötronlar yeni fisyon olaylarına neden olarak sürecin fisyon zincir reaksiyonu şeklinde devam etmesini sağlar.

NÜKLEER FİSYON

Çekirdek Neden Bölünür?

Kenneth Krane Introductory Nuclear Physics, Şekil 3.16'ya göre uranyum bölgesindeki çekirdekler için nükleon başına bağlanma enerjisi 7.6 MeV civarındadır. ^{238}U , $A=119$ olacak şekilde eşit ağırlıkta iki çekirdeğe bölünecek olursa bu çekirdekler için nükleon başına bağlanma enerjisi yaklaşık 8.5 MeV'dir.

Böyle bir bölünme sonucu yaklaşık olarak 214 MeV'lik enerji açığa çıkar.

Fisyon parçalanma modu olasılığı, diğer bozunma modu olasılıkları ile yarış halindedir.

NÜKLEER FİSYON

Çekirdek Neden Bölünür?

^{238}U için α -bozunma modu $t_{1/2} = 4,5 \times 10^9$ yıl,
Fisyon modu için kısmi yarı ömür 10^{16} yıldır.

^{238}U birbirine eşit iki parçaya bölünecek olursa

$$R_1 + R_2 = 1,25 (119)^{1/3} = 6,1 \text{ fm}$$

NÜKLEER FİSYON

Çekirdek Neden Bölünür?

Coulomb Engeli,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{z_1 z_2 e^2}{R}$$
$$= 1,44 \text{ MeV}\cdot\text{fm} \frac{46^2}{12,2 \text{ fm}} = 250 \text{ MeV}$$

NÜKLEER FİSYON

Çekirdek Neden Bölünür?

Eğer fisyon sonucu eşit ağırlıkta iki ürün çekirdek çıkmasaydı, kütle ve atom numaraları oranı 2:1 oranında olacak şekilde fisyon ürünü açığa çıksaydı Coulomb engeli enerjisi 221 MeV olacaktır.

Bazı çekirdekler için fisyon sonucu açığa çıkan enerji Coulomb engelinin enerjisine eşit yada hemen altında olabilir. Bu çekirdeklere *kendiliğinden fisyon yapabilen* çekirdekler denir.

Bazı çekirdekler içinse açığa çıkan enerji kendiliğinden fisyon gözlenemeyecek kadar engelin altında olabilir. Fakat bu tür çekirdekler düşük enerjili nötron yada fotonlar yardımıyla küçük miktarda enerji soğurduklarında *indüklenmiş fisyon* meydana gelir.

NÜKLEER FİSYON

Çekirdek Neden Bölünür?

Bazı çekirdeklerde indüklenmiş fisyon için termal nötron enerjileri yeterli olurken bazılarında ise hızlı nötronlara gerek kalabilir.

Fisyon engelini taban durumu üzerindeki yüksekliğine aktivasyon enerjisi denir.

Başlangıçta küresel olan çekirdeğe, hacim sabit kalacak şekilde dereceli olarak bir germe uygulandığını varsayalım.

NÜKLEER FİSYON

Çekirdek Neden Bölünür?

Yarı ampirik kütle formülündeki Coulomb ve yüzey terimleri germe altında değişir. Gerilmiş bir çekirdek dönel elipsoit ile temsil edilir. Elipsoitin R yarıçaplı bir küreden sapması bir ε distorsyon parametresi cinsinden ifade edilebilir.

$$a = R(1 + \varepsilon)$$

$$b = R(1 + \varepsilon)^{-1/2}$$

Burada a elipsoidin büyük yarıkseninin, b de küçük yarıkseninin uzunluğudur. ε elipsin eksantrisitesidir. β deformasyon parametresi eksantrisiteye

NÜKLEER FİSYON

Çekirdek Neden Bölünür?

$$\varepsilon = \beta\sqrt{5/4\pi}$$

formülü ile bağlıdır. Gerilen küre elipsoid şeklini alınca yüzey enerji terimi

$$S = 4\pi R^2 \left(1 + \frac{2}{5}\varepsilon^2 + \dots\right)$$

denklemine göre artar. Coulomb enerji terimi ise

$$\left(1 - \frac{1}{5}\varepsilon^2 + \dots\right)$$

çarpanı ile düzeltilir.

NÜKLEER FİSYON

Çekirdek Neden Bölünür?

Aynı hacime sahip küresel çekirdek ile elipsoid arasındaki enerji farkı

$$\begin{aligned}\Delta E &= B(\varepsilon) - B(\varepsilon = 0) \\ &= -a_y A^{2/3} \left(1 + \frac{2}{5} \varepsilon^2 + \dots \right) - a_c Z^2 A^{-1/3} \left(1 - \frac{1}{5} \varepsilon^2 + \dots \right) + a_y A^{2/3} + a_c Z^2 A^{-1/3} \\ &= \left(-\frac{2}{5} a_y A^{2/3} + \frac{1}{5} a_c Z^2 A^{-1/3} \right) \varepsilon^2\end{aligned}$$

İkinci terim, birinci terimden büyük olduğu sürece sonuç pozitif çıkar ve enerji kazanıldığı anlamına gelir. Gerilmeye karşı çekirdek kararsızdır ve fisyonu uğrar

NÜKLEER FİSYON

Çekirdek Neden Bölünür?

Kendiliğinden fisyon şartı

$$\frac{1}{5}a_c Z^2 A^{-1/3} > \frac{2}{5}a_y A^{2/3}$$

$a_y = 16,8$ MeV ve $a_c = 0,72$ MeV değerleri yukarıdaki ifadede kullanılırsa

$$\frac{Z^2}{A} > 47$$

sonucu elde edilir. Z^2/A nın en büyük değeri, kendiliğinden fisyon ömrünün en küçük değerine karşılık gelir.

NÜKLEER FİSYON

Çekirdek Neden Bölünür?

Kendiliğinden fisyon yarı ömürlerinin fit edilmesi

$$\frac{Z^2}{A} \cong 47$$

değeri için yaklaşık 10^{-20} s verir.

NÜKLEER FİSYON

FİSYONUN KARAKTERİSTİKLERİ

Fisyon Ürünlerinin Kütle Dağılımı



fisyon reaksiyonu termal enerjili gelen nötronlarla mümkündür. İki fisyon ürününün kütlelerinin eşit olma olasılığı $A_1 \cong A_2$, en yüksek olasılığa sahip $A_1 \cong 95, A_2 \cong 140$ bölünmeye göre 600 kat daha azdır.

NÜKLEER FİSYON

FİSYONUN KARAKTERİSTİKLERİ

Yayınlanan Nötronların Sayısı

En kararlı çekirdekler için $Z/A=0,41$ iken, ${}_{37}^{95}\text{Rb}_{58}$ ve ${}_{55}^{140}\text{Cs}_{85}$ fisyon ürünleri için bu oran $Z/A = 0,39$ dır.

Bu tür fisyon ürünleri nötron fazlalığını, fisyon sırasında (10^{-16} s içinde) bir yada birkaçını yayınlıyarak azaltırlar. Bu nötronlara *ani nötronlar* denir. Termal nötronlarla oluşturulan fisyonda, deneysel olarak gözlenen ani nötron (ν) sayısı,

${}^{233}\text{U}$ için 2,48 ; ${}^{235}\text{U}$ için 2,42 ; ve ${}^{239}\text{Pu}$ için 2,86

NÜKLEER FİSYON

FİSYONUN KARAKTERİSTİKLERİ

Yayınlanan Nötronların Sayısı

Fisyonda ani nötronlara ek olarak genellikle *gecikmiş nötronlar* da yayınlanır ve bu nötronlar fisyon ürünlerinin β bozunumundan sonra yayınlanır. ^{93}Rb 'ün, 6s'lik β bozunumundan sonra ^{93}Sr yüksek bir uyarılmış durumda kalır. γ bozunmasıyla yarışan nötron yayınlanabilir.

Nötron yayınlanması dallanma oranı % 1,4'tür.

Gecikmiş nötronlar nükleer reaktörlerin kontrolünde temel bir rol oynar.

NÜKLEER FİSYON

FİSYONUN KARAKTERİSTİKLERİ

Radyoaktif Bozunma Reaksiyonları

Fisyon ürünleri başlangıçta çok radyoaktif olduklarından birçok β ve γ radyasyonu yayınlayarak kararlı izobarlara doğru bozunurlar.



NÜKLEER FİSYON

FİSYONUN KARAKTERİSTİKLERİ

Fisyon Tesir Kesitleri

Fisyonda ortaya çıkan MeV mertebesindeki nötronları, yeni fisyon olayları meydana getirmek için kullanmak istersek tesir kesitini arttırmak amacıyla nötronları önce termal enerjiye yavaşlatmamız gerekir. ^{238}U için, termal bölgenin tamamında fisyon yoktur (Bknz: Şekil 13.9 Nükleer Fizik II. Cilt (Kenneth S. Krane))