



ANKARA ÜNİVERSİTESİ

NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

KENDİLİĞİNDEN FİSYON - FÜZYON

101513

NÖTRON VE REAKTÖR FİZİĞİNE GİRİŞ

PROF. DR. HALUK YÜCEL

101513 - Nötron ve Reaktör Fizikine Giriş -
Prof. Dr. Haluk YÜCEL

19.3.2019

Kendiliğinden Fisyon (Spontaneous Fission)

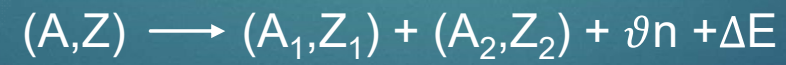
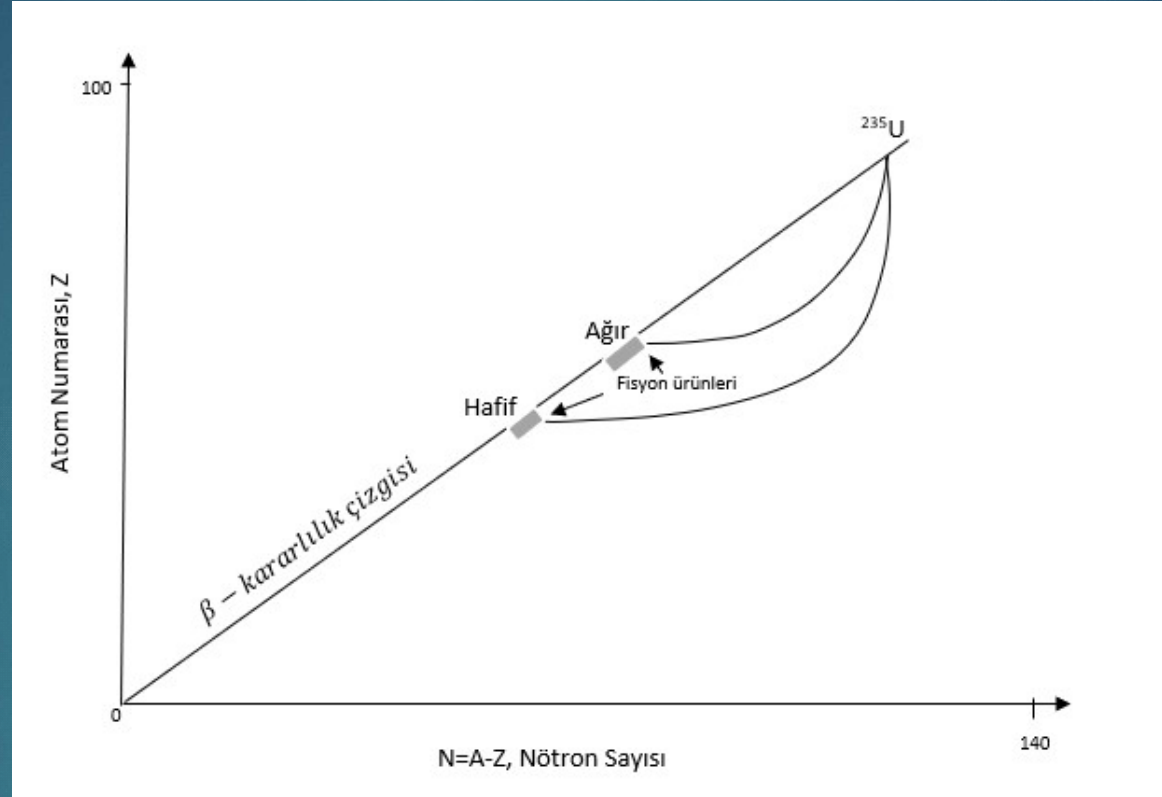
- Kendiliğinden fisyon (sembolü) 1940 yılında Rusya – Dubna’ da Flerov ve Petrzhak tarafından keşfedildi. Kendiliğinden fisyon, aslında radyoaktif bozunmanın başka bir şeklidir. Bu parçalanma şekli (s.f.), sadece yüksek kütle (A) numaralarında gözlenir.

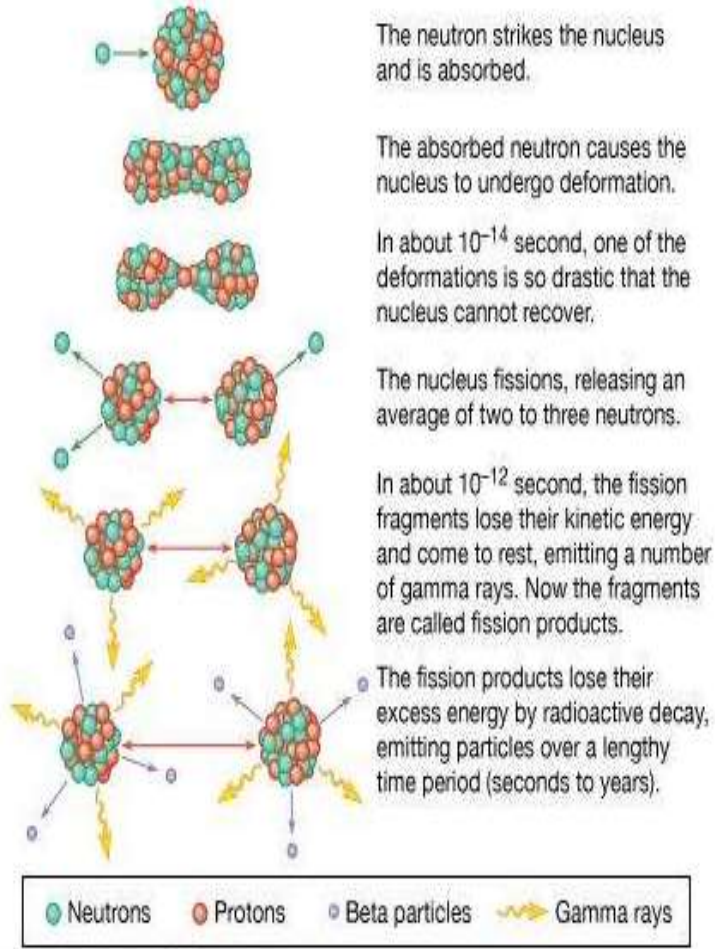
- ^{238}U 'in sf yapma olasılığı, α bozunması olasılığına göre; $\frac{P(sf)}{P_{\text{Toplam}}(\text{bozunma})} = \%92$

$$P_{\text{Toplam}}(sf + \alpha) = \underbrace{\%91.9sf}_{\text{Sf – bozunma}} + \underbrace{\%8.1\alpha}_{\alpha – bozunma}$$

- ^{252}Cf 'nin sf yapma olasılığı sadece $\%3.1$ 'dir. Yani $\frac{P(sf)}{P_{\text{Toplam}}(\text{bozunma})} = \%3.1$

$$P_{\text{Toplam}}(sf + \alpha) = \underbrace{\%96.91\alpha}_{\alpha – bozunma} + \underbrace{\%3.09sf}_{\text{Sf – bozunma}}$$





a) Çekirdek osilasyonu

b) Parçalanma (filyon) parçacıkları

c) Ani nötronlar ve ani gamalar yayınlanır.

d) Gecikmiş nötronlar, beta bozunumu sonucu gama ışınları

Kendiliğinden filyonun aşamaları

- Kendiliğinden fisyon (sf) olayı, α – bozunmasına benzer şekilde tünellemeyle meydana gelir. Şekildeki, sf'un basamakları temsili olarak gösterilmiştir. Bu aşamalar;

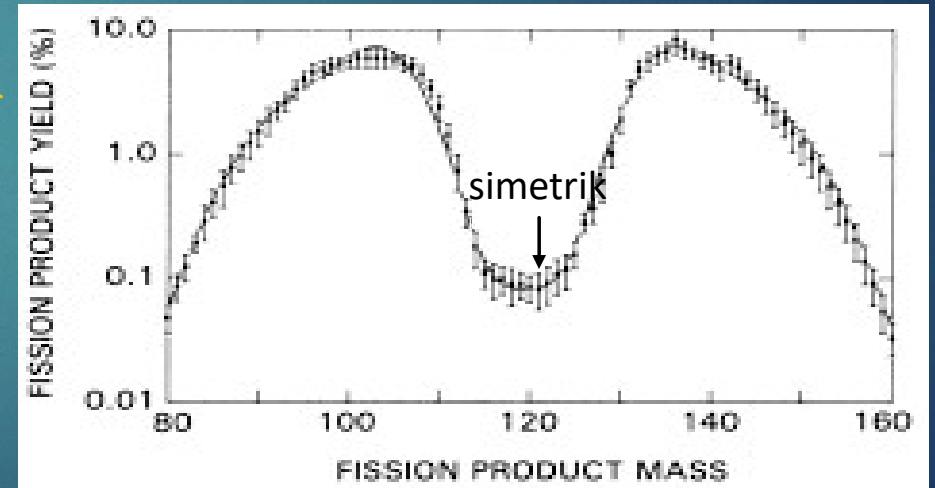
- a) Çekirdek, küresel şekil ile daha elipsoid şekil arasında osilasyon yapmaya başlar. Çekirdekteki bozulma (distorsiyon) arttıkça elipsoid çekirdeğin merkezine yakın yerden daralmaya başlar ve çekirdek küçük halter (dumb-bell) şeklini alır ve en azından çekirdekte proton ve nötron sayıları sihirli (magic) sayılara ulaşır.
- b) Kendiliğinden fisyon yapan çekirdek, iki fisyon parçacığına ayrılır. Bu ayrılma dumb-bell'in solundaki A noktasında vuku bulursa, fisyon parçacıkları yaklaşık eşit kütleyle sahip olurlar, ancak uyarılma enerjileri farklı olan fisyon oluşur. Buna “simetrik fisyon” denir.

$$A_1 \neq A_2$$
$$E\gamma c_1 \cong E\gamma c_2$$

- c) Yüksek derecede uyarılmış fisyon ürünleri ani nötronlar (prompt neutrons) ve ani gama fotonları (prompt γ -rays) ve bazen de aynı zamanda yüklü parçacıklar yayınlarlar. Bu aşamaya gelinceye kadar, fisyon prosesleri sadece $\sim 10^{-15}$ s içinde meydana gelir.
- d) Fisyon ürünleri, bir veya birden fazla beta dönüşümü ile değişikliğe uğrayarak bu esnada γ -ışınları yayınımla kararlı çekirdeklere dönüşürler. Çok yüksek uyarılma enerjileri olması durumunda, ayrıca nötronlar da (gecikmiş nötronlar =delayed neutrons) gözlenebilir.

^{242}Cm fisyon verimi (A'nın fonksiyonu olarak) ←

^{242}Cm 'de görüleceği üzere, B noktasından ayrılarak meydana gelen "asimetrik fisyon" daha baskındır. Asimetrik fisyonda, $A_1 \neq A_2$, $E\gamma_{c_1} \cong E\gamma_{c_2}$



- Hafif kütleli fisyon ürünleri A_1 95 \rightarrow 110 ve ağır kütleli fisyon ürünleri A_2 130 \rightarrow 145 arasında, simetrik fisyon $A \approx 120$ civarında sadece $< \%0.1$ altındadır. İki nükleit üretildiği için fisyon verimlerinin toplamı $\%200$ 'dür.
- Bohr ve Wheler 1939'un sıvı damlası modeline göre, sıvının yüzey gerilimi nedeniyle, sıvı damlası bir küresel şekil almaya zorlanırken, çekirdeğe bir enerji sağlandığında sıvı damlası küresel şekliyle uzamış elipsoid şekli arasında osilasyon yapmaya başlar. Çekirdekteki bu şekil bozukluğu (distortion) arttıkça, çekirdeğin uzaması bir eşik değerine ulaştıktan sonra sıvı damlası iki parçaya bölünür. Çekirdeklerde, itici Coulomb kuvvetleri $\frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}}$ ile orantılıdır. Yüzey gerilimi ise $A^{2/3}$ ile orantılıdır. Bu iki zıt etkinin oranı, kararsızlığın bir ölçüsüdür.

$$x = \frac{E_c}{E_f} = \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}A^{2/3}} \approx \frac{Z^2}{A}$$

$$x \approx \frac{Z^2}{A} \text{ fisyon yapabilme parametresi}$$

Sıvı Damlası Modeline göre Bağlanma Enerjisi:

$$E_B = E_V + E_C + E_F + E_S + E_g$$

$$E_V = a_V A : \text{Hacim enerjisi, } a_V \approx 14.1 \text{ MeV}$$

$$E_C = -a_C \frac{Z(Z-1)}{A} : \text{Coulomb itme terimi, } a_C \approx 0.585 \text{ MeV}$$

$$E_F = -a_F A^{2/3} : \text{Yüzey enerjisi, } a_F \approx 13.1 \text{ MeV}$$

$$E_S = -a_S \frac{(A-2Z)^2}{A} : \text{Simetri enerjisi, } a_S \approx 19.4 \text{ MeV}$$

$$E_g = \int +\delta (A, Z) \text{ Çift - çift çekirdek}$$

$$E_g = \int 0 \text{ Tek - çift ya da çift - tek çekirdek} \quad a_g \approx 33 \text{ MeV}, \quad \delta = \frac{a_g}{A}$$

$$E_g = \int -\delta (A, Z) \text{ Tek - tek çekirdek}$$

- Spontane fisyonndan açığa çıkan nötronların sayısı (ν_{sf}), kısmi ve toplam ömürleri

Nüklit	$x \approx \frac{Z^2}{A}$	Sf; Kısmi ömür ve Toplam ömür	Sf; Serbest kalan ortalama ani nötron sayısı
$^{242}_{96}Cm$	38.08	sf. 6.5x10 ⁶ y (sf) $t_{1/2}$ =168.8gün	2.59±0.09(ν_{sf})
$^{252}_{98}Cf$	38.11	85y(sf) $t_{1/2}$ =2.645y	3.764(ν_{sf})
$^{235}_{92}U$	36.01	3.5x10 ¹⁷ y (sf) $t_{1/2}$ =7.04x10 ⁸ y	-
$^{233}_{92}U$	36.33	1.2x10 ¹⁷ y (sf) $t_{1/2}$ =1.592x10 ⁵ y	2.28±0.08(ν_{sf})
$^{238}_{94}Pu$	37.13	5.0x10 ¹⁰ y (sf) $t_{1/2}$ =87.7y	
$^{239}_{94}Pu$	36.91	5.5x10 ⁵ y (sf) $t_{1/2}$ =24110y	
$^{242}_{94}Pu$	36.51	7x10 ¹⁰ y (sf) $t_{1/2}$ =3,75x10 ⁵ y	
$^{238}_{92}U$	36.56	9x10 ¹⁵ y (sf) $t_{1/2}$ =4.468x10 ⁹ y	
$^{232}_{90}Th$	34.91	>10 ²¹ y (sf) $t_{1/2}$ =1.405x10 ¹⁰ y	-

- Kendiliğinden fisyonunda meydana gelen, açığa çıkan enerji dağılımı

	%	E(MeV)
Fisyonda anlık çıkan enerji toplamı	~ %89	178
Fisyon ürünlerinin kinetik enerjisi	~%82	146
Ani nötronların kinetik enerjisi	~%3	5.34
Ani gamaların enerjisi	~%4	7.12
Fisyon ürünlerinin uyarılma enerjisi	~%11	22
Gecikmiş β^- enerjisi	~%3	6
Nötrino enerjisi	~%5	1.2
Gama ışınları enerjisi	~%3	6

$$\Delta E = E_{Exc} + E_{prompt}$$

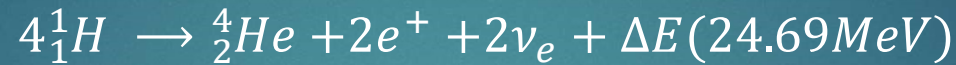
$$\Delta E = 22MeV + 178MeV$$

$$\Delta E = \%11 + \%89$$

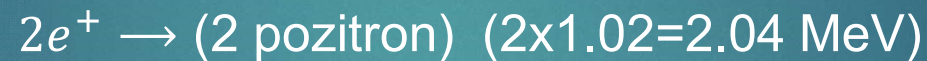
Nükleer füzyon – termo nükleer tepkimeler



Hidrojen füzyonu:

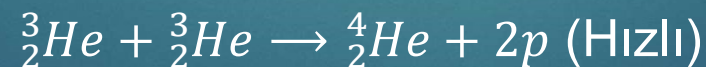


ΔE 'nin %2'si nötrinolar tarafından taşınır

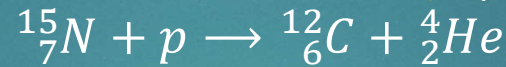
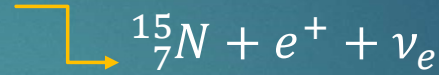


26.2 MeV'lik kullanılabilir enerji açığa çıkar.

Döteryum çevrimi:



Karbon – Azot Çevrimi: $^{12}_6\text{C} + p \rightarrow ^{13}_7\text{N} + \gamma$



Bu çevrimlerin gerçekleşmesi için gerekli proton kinetik enerjisi;

$$E_{kin} = \frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2} k_B T$$

$k_B = \text{Boltzman sabiti}$

$$v = \sqrt{\frac{2}{3} \overline{v^2}} \text{ (Maxwell Hız Dağılımı)}$$

En olası kinetik enerji, $E_{kin} = \frac{mv^2}{2} = k_B T$

$$1\text{eV} = 1.16 \times 10^4 \text{K}$$

$$\bar{E} \cong 0.5 \text{MeV} \rightarrow 5.8 \times 10^8 \text{K}$$

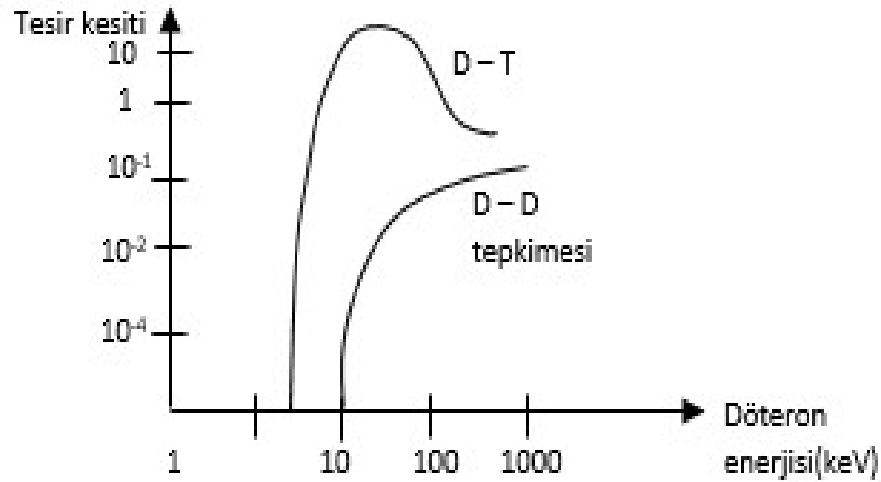
101513 - Nötron ve Reaktör Fizikine Giriş
- Prof. Dr. Haluk YÜCEL

- ✓ Güneşin yüzeyindeki sıcaklık $\sim 6000\text{K}$
- ✓ Güneşin merkezindeki sıcaklık $\sim 1.5 \times 10^7 \text{K}$

- Termo–nükleer tepkimelerin meydana getirilmesi için;
 1. Yüksek sıcaklıklar gerekli
 2. Bu yüksek sıcaklıklarla iyonların ve elektronların bir plazma olarak sınırlandırılmasında karşılaşılan problemleri çözmek için kontrollü termonükleer tepkimeleri teknik ölçekte başarmak için AR – GE faaliyetleri dünyada devam etmektedir.

Özel öneme sahip D – D, D – T ve T – T termonükleer tepkimelerin yüksek tesir kesitleri vardır.

1. $d + d \rightarrow t + p + 4.03 \text{ MeV}$
2. $d + t \rightarrow {}^4_2\text{He} + n + 17.6 \text{ MeV}$ veya
3. $d + d \rightarrow {}^3_2\text{He} + n + 3.27 \text{ MeV}$
4. $d + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + p + 18.3 \text{ MeV}$
5. $t + t \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2n + 11.3 \text{ MeV}$



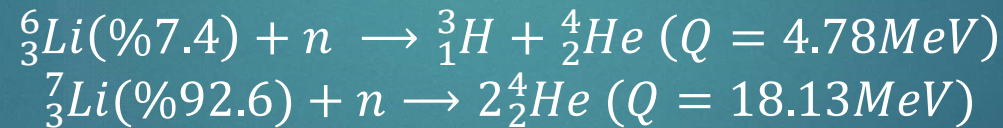
10keV enerjide (sıcaklık 10^8 K)
D – T tepkimesinin başlaması için 0.5×10^8 K,
D – D tepkimesinin başlaması için 5×10^8 K
sıcaklık gerekir.

Kontrollü Termo Nükleer Reaktörler

- 2050 yılından önce endüstriyel ölçekte başlaması henüz öngörülmemektedir.
- D – D tepkimesi için başlama $(3 - 5) \times 10^8 K$
- D – T tepkimesi için başlama (ignition) $(3 - 5) \times 10^7 K$
- H – H tepkimesi için başlama sıcaklık $10^{10} K$
- Tercih edilen yaklaşım D^+ ve T^+ plazmasını manyetik etkiyle oluşturma.
- Bu sıcaklıklara dayanabilecek hiçbir malzeme olmadığı için plazmayı duvardan uzak tutmak gerekiyor. Çok kuvvetli manyetik alanlar gerekir.
- Deneysel reaktörler:
 - 1) TOKAMAK
 - 2) JET Makinesi (Joint European Torus)
 - 3) ITER Makinesi (International Thermonuclear Reactor Experiment)

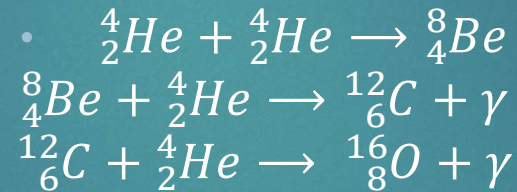
- Şimdiye kadar elde edilen en iyi sonuçlar:
 - Plazma merkezindeki sıcaklık $\sim 4 \times 10^8 K$
 - Parçacık yoğunluğu $5 \times 10^{19} \frac{\text{parçacık}}{\text{cm}^3}$
 - Plazma sınırlama süresi (confinement) $\approx 2s$

- Nötron enerjisi tutmak için,
Lityum Blanket (Li – metal veya Li_2BeF_4)



- 1 litre sudaki D atomlarının füzyonu ile üretilen enerji 120kg kömüre eşdeğer.

- Döteryum çevrimi güneşte ve soğuk yıldızlarda vuku bulan termo nükleer tepkimelerdir.
- Karbon – Azot çevrimi ise, sıcak yıldızlarda vuku bulunduğu varsayılmaktadır. Yıldızların merkezinde, yoğunluğu 10^5 g/cm³ ve sıcaklıkları 10^9 K mertebesinde olduğu tahmin edildiğine göre aşağıdaki diğer termonükleer tepkimelerin mümkün olabileceği varsayılmaktadır.



- ${}^8_4\text{Be}$ kararsız olduğu için düşük denge konsantrasyonu söz konusudur.

- Ayrıca 10^9 K sıcaklıkta, $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C} \rightarrow ^{24}_{12}\text{Mg} + \gamma$
 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C} \rightarrow ^{23}_{11}\text{Na} + p$
 $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C} \rightarrow ^{20}_{10}\text{Ne} + ^4_2\text{He}$
 $^{12}_6\text{C} + ^{16}_8\text{O} \rightarrow ^{28}_{14}\text{Si} + \gamma$
 $^{12}_6\text{C} + ^{16}_8\text{O} \rightarrow ^{24}_{12}\text{Mg} + ^4_2\text{He}$
 $^{16}_8\text{O} + ^{16}_8\text{O} \rightarrow ^{32}_{16}\text{S} + \gamma$
 $^{16}_8\text{O} + ^{16}_8\text{O} \rightarrow ^{28}_{14}\text{Si} + ^4_2\text{He}$,tepkimleri de meydana gelebilir.
- Yüksek enerjili α – parçacıkları ile $^{32}_{16}\text{S} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{36}_{18}\text{Ar} + \gamma$

Tüm yukardaki tepkimeler ısı veren (exoergic) termonükleer tepkimelerdir.