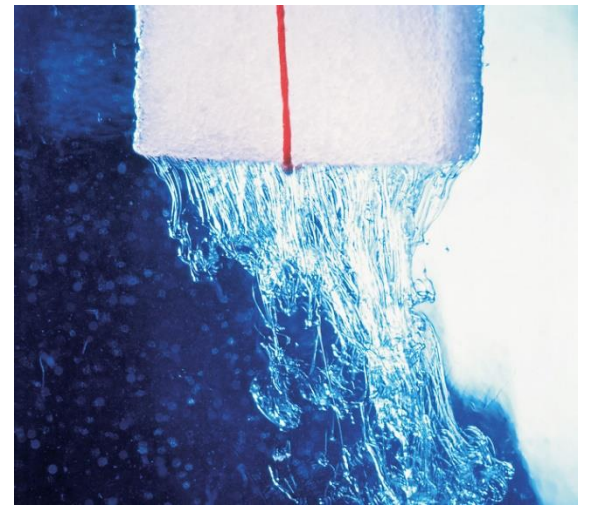


GENEL KİMYA

Prensipieri ve Modern Uygulamaları

Petrucci • Harwood • Herring

8. Baskı



BÖLÜM 26: Radyokimya-Çekirdek Kimyası

Birçok atom dengelidir. Örneğin Karbon-12 atomu, sonsuza kadar Karbon-12 atomu olarak kalacaktır. Benzer şekilde, Oksijen-16 atomu, sonsuza kadar Oksijen-16 atomu olarak kalacaktır. Ancak bazı atomlar, örneğin uranyum, dengeli bir çekirdeğe sahip değildir ve dolayısıyla yapısı bozularak tamam yeni atomlara dönüşebilir. Bu tür atomlara "dengesiz" ya da "radyoaktif" atomlar diyoruz.

Dengesiz bir atomun fazladan iç enerjisi vardır ve bu sebeple aniden (spontane olarak) bir değişim geçirerek daha dengeli bir atoma dönüşebilir.

Radyoaktif bozunma sırasında saçılan radyasyon nötronlar, alfa parçacıkları, beta parçacıkları gibi parçacıklar şeklinde olabileceği gibi, gama ve X-ışını gibi saf enerji formunda da olabilir.

Nükleer Tepkimeler 2'ye ayrılır

1- Doğal radyoaktif bozulmalar (Aşağıdaki partiküllerin çıkışıyla)

Alfa ışınları

Beta ışınları

Gama ışınları

Proton

Elektron

Pozitron

2-Çekirdek Tepkimeleri

Fizyon reaksiyonu

Füzyon reaksiyonları

	Sembol	Yük	Kütle	Eşdeğer
Alfa	α	+2	4	${}_{+2}^4\alpha = {}_2^4\text{He}^{+2}$
Beta	β	-1	0	${}_{-1}^0\beta = {}_{-1}^0\text{e}$
Gama	γ	0	0	${}^0_0\gamma$
Proton	p	+1	1	${}_{+1}^1p = {}_1^1\text{H}^{+1}$
Nötron	n	0	1	1_0n
Elektron	e	-1	0	${}_{-1}^0\beta = {}_{-1}^0\text{e}$
Pozitron	β^+	+1	0	${}_{+1}^0\beta = {}_{+1}^0\text{e}$

Radyoaktiflik

Atom numarası 83'den büyük olan elementler kararsızdırlar yani **radyoaktiftirler**. Bazı hafif elementlerin izotopları da radyoaktif özellik gösterir. ^{14}C radyoaktiftir.

Atomların çekirdeklerinden kaynaklanan olayların tümüne **çekirdek kimyası** denir.

Alfa parçacıkları (α): ${}^4_2\text{He}^{2+}$

Elektrik ve manyetik alanda saparlar. Bir α parçacığı yayınımlı kaybı çekirdeğin atom numarasını 2, kütle numarasını 4 azaltır. Giriciliği düşüktür.



Çekirdek eşitlikleri 2 kurala göre yazılır:

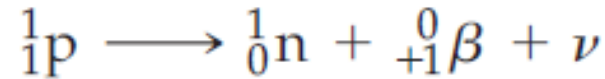
1. Eşitliğin her iki yanındaki kütle numaraları toplamı birbirine eşit olmalıdır.
2. Eşitliğin her iki yanındaki atom numaraları toplamı birbirine eşit olmalıdır.

Beta parçacıkları (β^-): ${}_{-1}^0\beta$

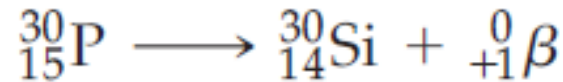
Elektrik ve manyetik alanda α 'ya göre daha çok saparlar.



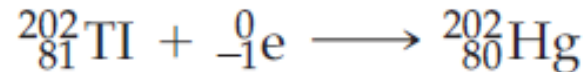
Bazı bozunma olaylarında çekirdekteki proton nötrona dönüşür ve **pozitron** (β^+) ve **nötron** (${}^1_0\text{n}$) yayımlanır.



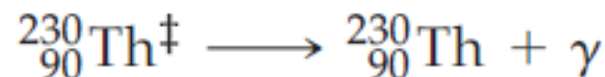
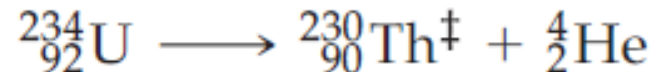
Pozitron parçacıkları (β^+) : ${}^0_{+1}\beta$ pozitif elektron



Elektron yakalanması:



Gama ışınları (γ): Elektrik ve manyetik alanda sapmazlar.

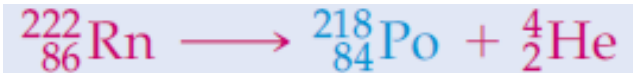


Ör: Verilen çekirdek eşitliklerini yazınız.

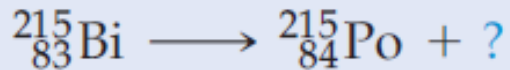
a) $^{222}_{86}\text{Rn}$ 'un α parçacığı yayınlaması

b) $^{215}_{83}\text{Bi}$ 'un $^{215}_{83}\text{Po}$ 'a radyoaktif bozunması

a)

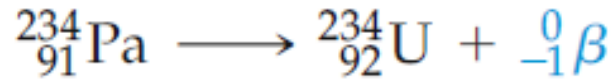
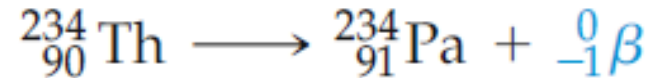
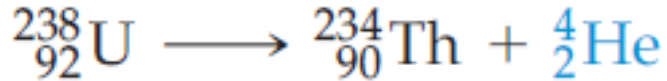


b)

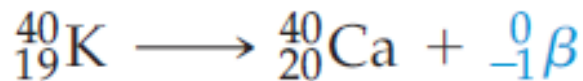


Doğal radyoaktif izotoplar

Atom ve kütle numarası en büyük kararlı çekirdek ${}_{83}^{209}\text{Bi}$ olup ${}_{92}^{238}\text{U}$ radyoaktiftir ve α parçacıkları yayımlayarak bozunur.

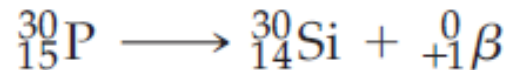


Atom numarası büyük olan izotoplarda yaygın olan radyoaktivlik, daha hafif olan doğal izotoplarda daha az gözlenir.



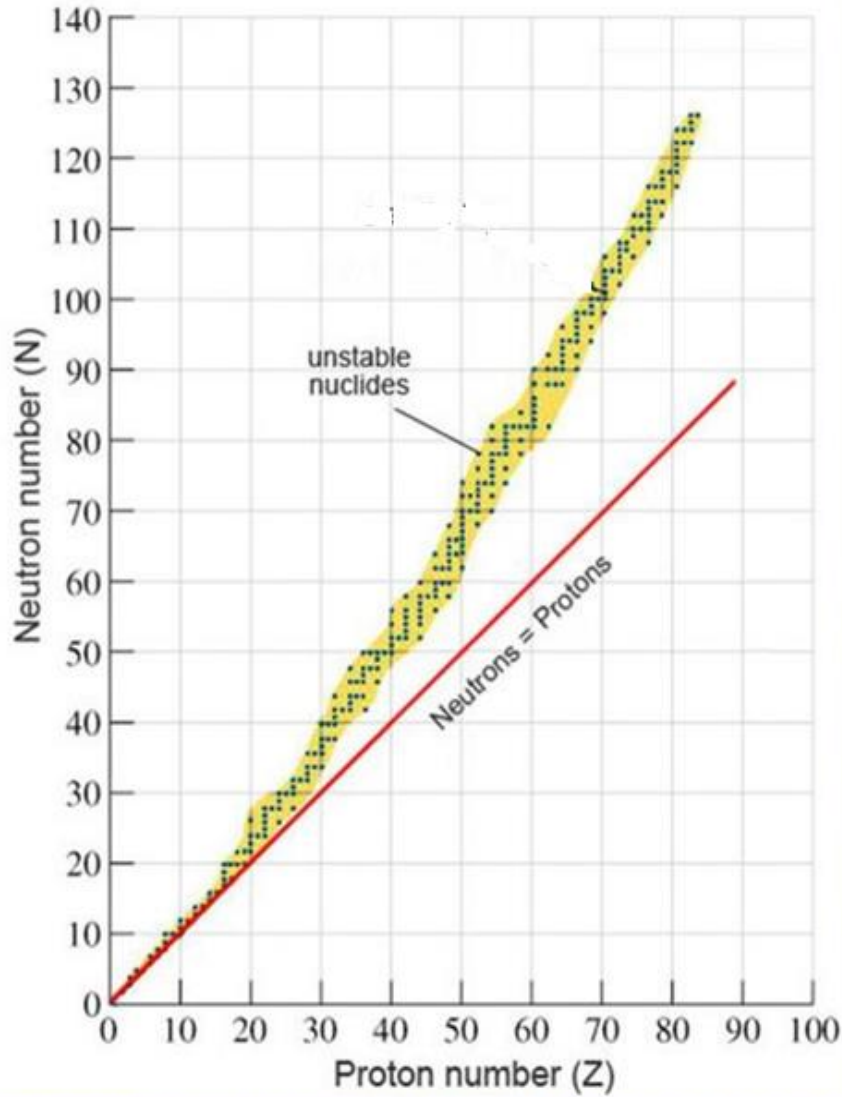
Çekirdek tepkimeleri ve yapay radyoaktiflik

Rutherford, ${}^{14}_7\text{N}$ çekirdeklerinin α parçacıklarıyla bombardımanından ${}^{17}_8\text{O}$ oluşturarak bir elementin atomlarının diğer bir elementin atomlarına dönüştürülebileceğini ispatladı. Böylece atom çekirdeği dışındaki protonlar elde edilebilmektedir.



Örnek: ${}^{59}_{27}\text{Co}$ elementinin nükleonlarla bombardımanı sonucu ${}^{56}_{25}\text{Mn}$ oluşumunu gösteriniz.





Kararlılık kuşağı dışındaki çekirdekler kararsızdırlar ve daha kararlı nötron/proton (n/p) oranına erişmek için radyoaktif dönüşümlere uğrarlar.

Bazı elementlerin radyoaktif dönüşümlere uğramasının temel sebebi budur.

Örneğin, bir çekirdek kararlılık kuşağı üzerinde ise kararlılığa erişmek için nötron/proton oranını azaltmalı (nötron sayısını azaltmalı veya proton sayısını arttırmalı), çekirdek kuşağın altında ise nötron/proton oranını arttırmalıdır.

Radyoaktif bir maddenin parçalanma (bozunma) hızı olan aktiflik, A; maddedeki radyoaktif atomların sayısı ile doğru orantılıdır.

bozunma hızı $\propto N$ ve bozunma hızı $= A = \lambda N$

Bozunma hızı: birim zamanda örneğin saniyede bozunan atom sayısıdır.

N: örnekteki atom sayısı

λ : bozunma sabiti olup birimi zaman⁻¹

1 000 000 atom içeren örnekte saniyede 100 atom bozunuyorsa

N= 1.10^6 dır.

$$\lambda = A/N = 100 \text{ atom s}^{-1} / 1.0 \times 10^6 \text{ atom} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

Radyoaktif bozunma 1. dereceden bir tepkimedir.

$$\ln\left(\frac{N_t}{N_0}\right) = -\lambda t$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

N_0 : başlangıçtaki ($t=0$) atom sayısı

N_t : t zaman sonraki atom sayısı

λ : bozunma sabiti

$t_{1/2}$: yarı ömür

Bazı çekirdeklerin yarı ömürleri

Nuclide	Half-Life ^a	Nuclide	Half-Life ^a	Nuclide	Half-Life ^a
${}^3_1\text{H}$	12.26 y	${}^{40}_{19}\text{K}$	1.25×10^9 y	${}^{214}_{84}\text{Po}$	1.64×10^{-4} s
${}^{14}_6\text{C}$	5730 y	${}^{80}_{35}\text{Br}$	17.6 min	${}^{222}_{86}\text{Rn}$	3.823 d
${}^{13}_8\text{O}$	8.7×10^{-3} s	${}^{90}_{38}\text{Sr}$	27.7 y	${}^{226}_{88}\text{Ra}$	1.60×10^3 y
${}^{28}_{12}\text{Mg}$	21 h	${}^{131}_{53}\text{I}$	8.040 d	${}^{234}_{90}\text{Th}$	24.1 d
${}^{32}_{15}\text{P}$	14.3 d	${}^{137}_{55}\text{Cs}$	30.23 y	${}^{238}_{92}\text{U}$	4.51×10^9 y
${}^{35}_{16}\text{S}$	88 d				

^as, second; min, minute; h, hour; d, day; y, year.

Ör: Yukarıdaki çizelgede verilen ^{32}P izotopu biyokimya araştırmalarında, canlılarda fosforun izlediği yolun belirlenmesi için kullanılır. Bu izotopun varlığı β^- yayınlanmasından anlaşılır.

- ^{32}P 'un bozunma sabiti s^{-1} biriminde kaçtır?
- 1 mg ^{32}P örneğinin bozunma hızı nedir? (yani 1 saniyede bozunan ^{32}P atomu sayısı kaçtır?)
- 1 mg ^{32}P örneğinden 57 gün sonra geriye ne kalır?
- 57 gün sonra β^- yayınlanma hızı nedir?

a)

$$\lambda = \frac{0.693}{14.3 \text{ d}} \times \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 5.61 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$$

(b) First, let us find the number of atoms, N , in 1.00 mg of ^{32}P .

$$\begin{aligned} N(^{32}\text{P atoms}) &= 0.00100 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol } ^{32}\text{P}}{32.0 \text{ g}} \times \frac{6.022 \times 10^{23} \text{ } ^{32}\text{P atoms}}{1 \text{ mol } ^{32}\text{P}} \\ &= 1.88 \times 10^{19} \text{ } ^{32}\text{P atoms} \end{aligned}$$

Then, we can multiply this number by the decay constant to get the activity or decay rate.

$$\begin{aligned} \text{activity} &= \lambda N = 5.61 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1} \times 1.88 \times 10^{19} \text{ atoms} \\ &= 1.05 \times 10^{13} \text{ atoms/s} \end{aligned}$$

(c) A period of 57 days is $57/14.3 = 4.0$ half-lives. As shown in Figure 25-4, the quantity of radioactive material decreases by one-half for every half-life. The quantity remaining is $(\frac{1}{2})^4$ of the original quantity.

$$? \text{ mg } ^{32}\text{P} = 1.00 \text{ mg} \times \left(\frac{1}{2}\right)^4 = 1.00 \text{ mg} \times \frac{1}{16} = 0.063 \text{ mg } ^{32}\text{P}$$

(d) The activity is directly proportional to the number of radioactive atoms remaining (activity = λN), and the number of atoms is directly proportional to the mass of ^{32}P . When the mass of ^{32}P has dropped to one-sixteenth its original mass, the number of ^{32}P atoms also falls to one-sixteenth the original number, and the rate of decay is one-sixteenth the original activity.

$$\text{rate of decay} = \frac{1}{16} \times 1.05 \times 10^{13} \text{ atoms/s} = 6.56 \times 10^{11} \text{ atoms/s}$$

Ör: Eski bir kızıldereli mezarında bulunan ağaç parçasının radyoaktif karbonla yaş tayini yapılmıştır. ^{14}C un aktifliği gram başına dakikada 10 olarak ölçülmüştür. Bu ağaç parçasının yaşı nedir? Yani ağaç kesildiğinden beri ne kadar süre geçmiştir?

$$\lambda = \frac{0.693}{5730 \text{ y}} = 1.21 \times 10^{-4} \text{ y}^{-1}$$

$$N_0 = A_0/\lambda = 15/\lambda \quad \text{and} \quad N_t = A_t/\lambda = 10/\lambda$$

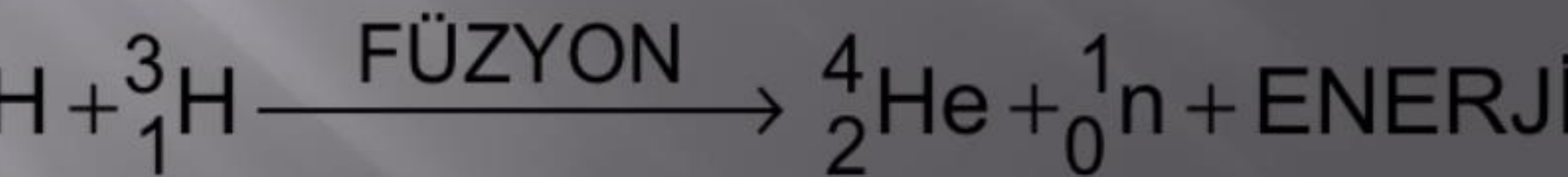
$$\ln \frac{N_t}{N_0} = \ln \frac{10/\lambda}{15/\lambda} = \ln \frac{10}{15} = -(1.21 \times 10^{-4} \text{ y}^{-1})t$$

$$-0.41 = -(1.21 \times 10^{-4} \text{ y}^{-1})t$$

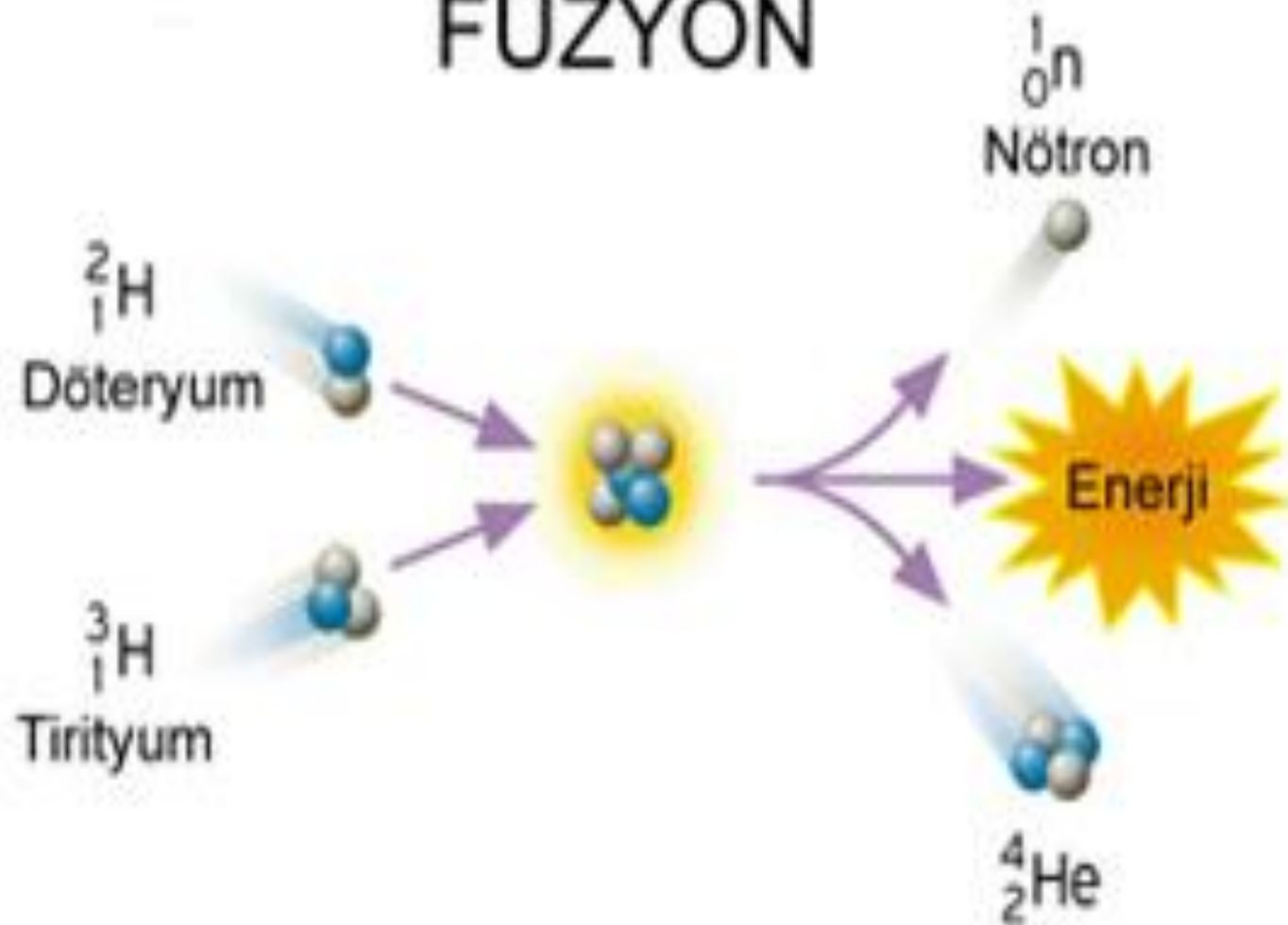
$$t = \frac{0.41}{1.21 \times 10^{-4} \text{ y}^{-1}} = 3.4 \times 10^3 \text{ y}$$

Füzyon

- Küçük kütle numaralı atom çekirdeklerinin kaynaşarak daha büyük kütle numaralı ve kararlı atom çekirdeklerine dönüşmesi olayına FÜZYON denir.
- En iyi örneği hidorej bombasıdır.

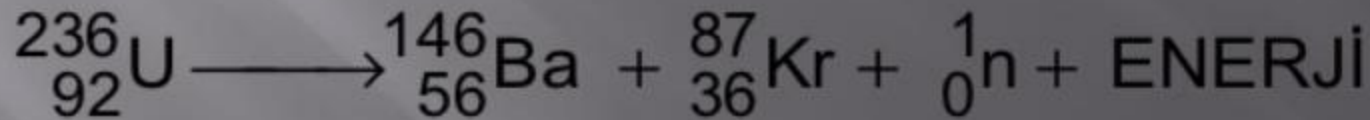
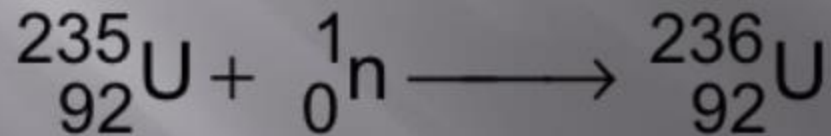


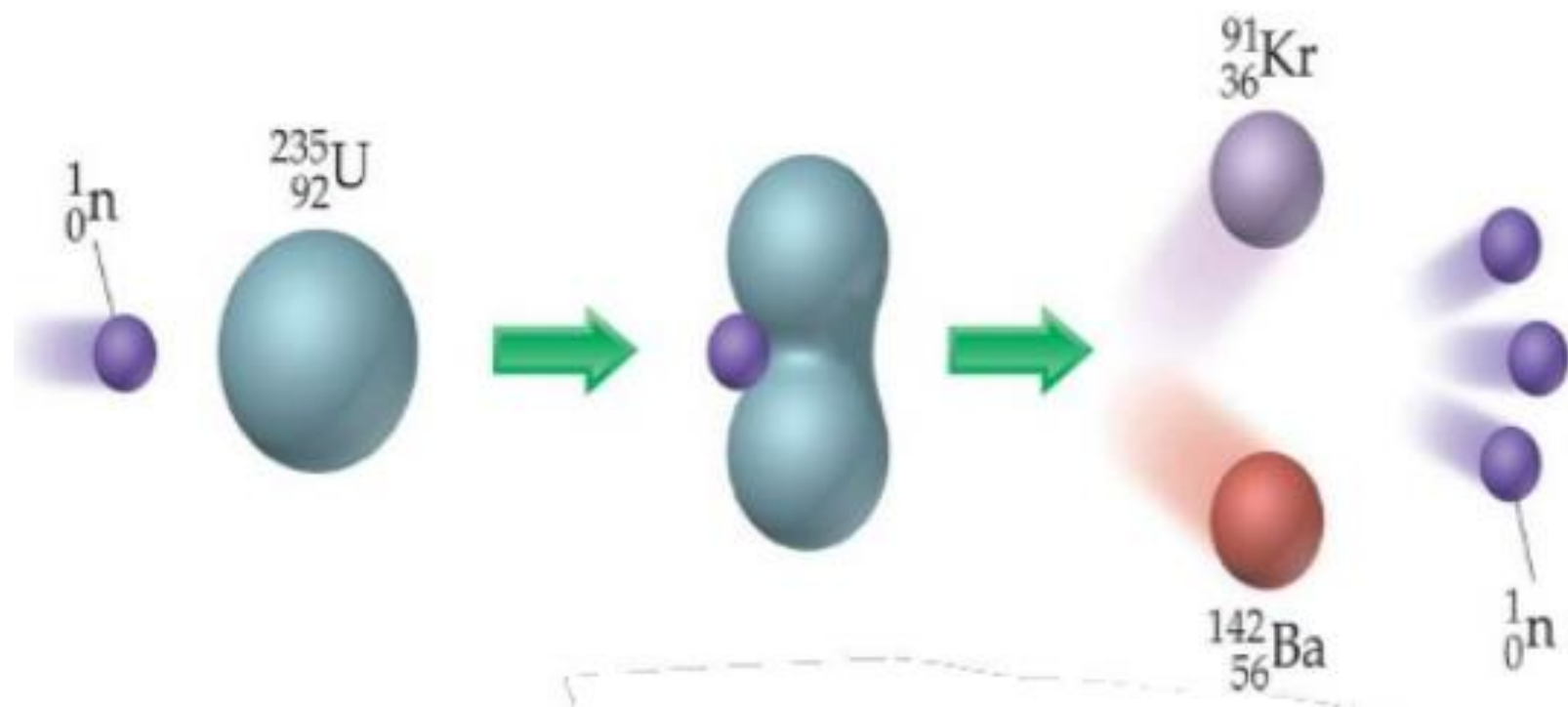
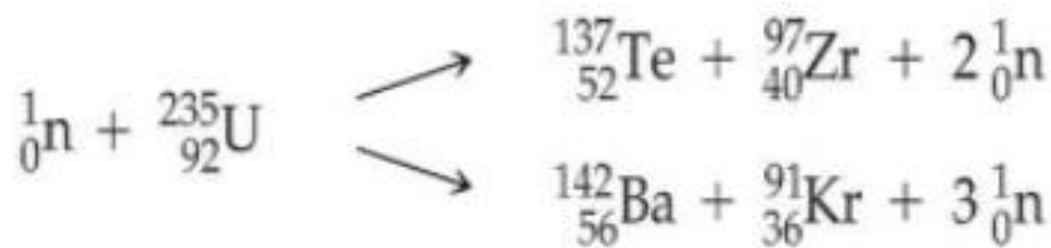
FÜZYON



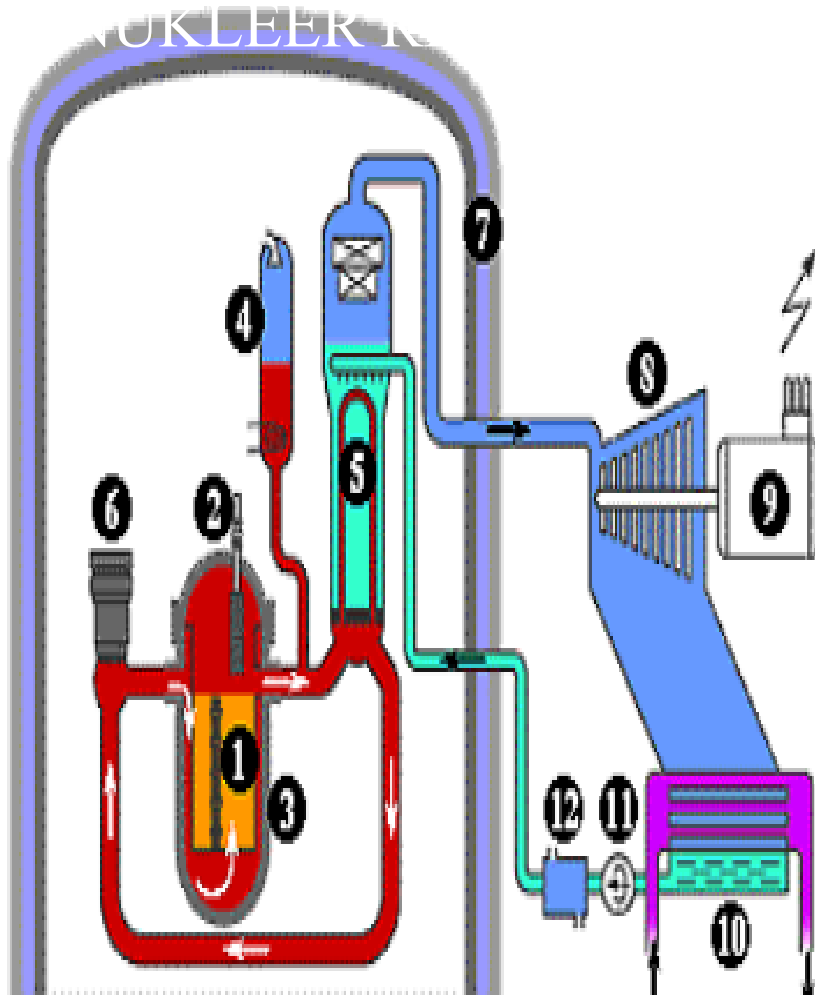
Fisyon

- ▣ Nötron bombardımanı ile kararsız hale getirilen büyük kütleli atom çekirdeklerinin parçalanarak daha küçük kütleli atom çekirdeklerine dönüşmesi olayına denir.
- ▣ Bunun en iyi örneği atom bombası'dır.





NUKLEER REAKTÖR



1. Reaktör kalbi (reactor core)
2. Kontrol çubuğu (control rod)
3. Reaktör basınç kabı (pressure vessel)
4. Basınçlandırıcı (pressurizer)
5. Buhar üretici (steam generator)
6. Birincil soğutma su pompası (primary coolant pump)
7. Reaktör korunak binası (containment)
8. Türbin (turbine)
9. Jeneratör - Elektrik üretici (generator)
10. Yoğunlaştırıcı (condenser)
11. Besleme suyu pompası (feedwater pump)
12. Besleme suyu ısıtıcısı (feedwater heater)

Çekirdek tepkimelerinin enerjileri

Bir çekirdek tepkimesine eşlik eden enerji değişimini $E=mc^2$ ile ifade ederiz.

Nükleer enerjinin ifade edildiği diğer bir birim de MeV'tur.

$$1 \text{ eV} = 1.6022 \times 10^{-19} \text{ J.}$$

$$1 \text{ MeV} = 1.6022 \times 10^{-13} \text{ J}$$

1 akb'ye karşılık gelen kütleyi gram cinsinden aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz.

$$1 \text{ u} \times \frac{1 \text{ }^{12}\text{C atom}}{12 \text{ u}} \times \frac{1 \text{ mol }^{12}\text{C}}{6.0221 \times 10^{23} \text{ atoms }^{12}\text{C}} \times \frac{12 \text{ g}}{1 \text{ mol }^{12}\text{C}} = 1.6606 \times 10^{-24} \text{ g}$$

m'in bu değerini kg'a çevirip $E=mc^2$ bağıntısında yerine koyarsak;

$$E = 1 \text{ u} \times \frac{1.6606 \times 10^{-24} \text{ g}}{\text{u}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times (2.9979 \times 10^8)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$
$$= 1.4924 \times 10^{-10} \text{ J}$$

$$1 \text{ atomic mass unit (u)} = 1.4924 \times 10^{-10} \text{ J}$$

$$1 \text{ atomic mass unit (u)} = 1.4924 \times 10^{-10} \text{ J} \times \frac{1 \text{ MeV}}{1.6022 \times 10^{-13} \text{ J}} = 931.5 \text{ MeV}$$

Çekirdek kütlesi= atom kütlesi – elektronların kütlesi

Ör: $^{238}_{92}\text{U}$ ' un bozunmasına eşlik eden enerji kaç joule ve kaç MeV tur?



$$^{238}_{92}\text{U} = 238.0508 \text{ u} \quad ^{234}_{90}\text{Th} = 234.0437 \text{ u} \quad ^4_2\text{He} = 4.0026 \text{ u}$$

The net change in mass that accompanies the decay of a single nucleus of ^{238}U is shown below. Note that the masses of the extranuclear electrons do not enter into the calculation of the net change in mass.

change in mass

$$\begin{aligned} &= \text{nuclear mass of } ^{234}_{90}\text{Th} + \text{nuclear mass of } ^4_2\text{He} - \text{nuclear mass of } ^{238}_{92}\text{U} \\ &= [234.0437 \text{ u} - (90 \times \text{mass } e^-)] + [4.0026 \text{ u} - (2 \times \text{mass } e^-)] - [238.0508 \text{ u} - (92 \times \text{mass } e^-)] \\ &= 234.0437 \text{ u} + 4.0026 \text{ u} - 238.0508 \text{ u} - 92 \times \text{mass } e^- + 92 \times \text{mass } e^- \\ &= -0.0045 \text{ u} \end{aligned}$$

We can use this loss of mass and conversion factors (25.21) and (25.22) to write

$$E = -0.0045 \text{ u} \times \frac{1.49 \times 10^{-10} \text{ J}}{\text{u}} = -6.7 \times 10^{-13} \text{ J}$$

or

$$E = -0.0045 \text{ u} \times \left(\frac{931.5 \text{ MeV}}{\text{u}} \right) = -4.2 \text{ MeV}$$