



ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

NÖTRON VE REAKTÖR FİZİĞİNE GİRİŞ

101513

NÖTRON VE REAKTÖR FİZİĞİNE GİRİŞ
PROF. DR. HALUK YÜCEL

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

19.3.2019

Nötron ve Reaktör Fiziğine Giriş

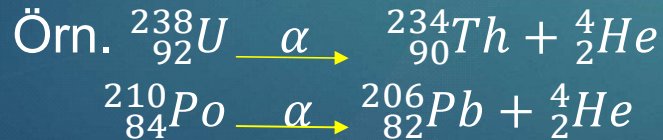
Bu iki alt dal, nükleer fiziğin tarihsel gelişimi sürecinde 1939 yılından sonra ortaya çıkmıştır.

Nükleer fizik temel iki problem üzerinde araştırmalarını yoğunlaştırır.

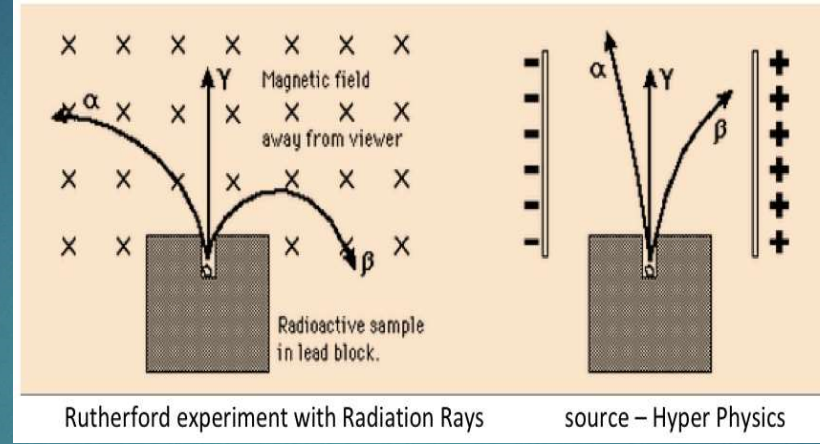
1. Çekirdek Kuvvetleri: Çekirdeği bir arada tutan kısa menzilli güçlü etkileşmeleri temsil eden kuvvetler.
2. Çekirdeklerin dinamik davranışları: Çok sayıda parçacıktan (nükleon) oluşan çekirdek sistemlerinin dinamik davranışlarının açıklanması.

Nükleer Fizik Tarihsel Gelişiminde Önemli Fizik Olayları

- 1896 - Radyoaktivitenin keşfi (Henry Becquerel), bu keşif belirli radyoaktif mineralin yakınına yerleştirilen fotografik plakaların “tesadüfi” olarak siyahlaşmasının farkına varılması ile başlamıştır.
- 1898 - Radyum elementinin mineralden kimyasal olarak ayrılması (Pierre & Marie Curie)
- 1905 - Özel relativite teorisi (Albert Einstein)
- 1909 - 1911 Rutherford atom modeli:
 - Rutherford ve çalışma arkadaşları, radyoaktif olarak bozunan bir maddenin kimyasal formunda bir değişiklik olması gerektiği fikrini ileri sürdüler.

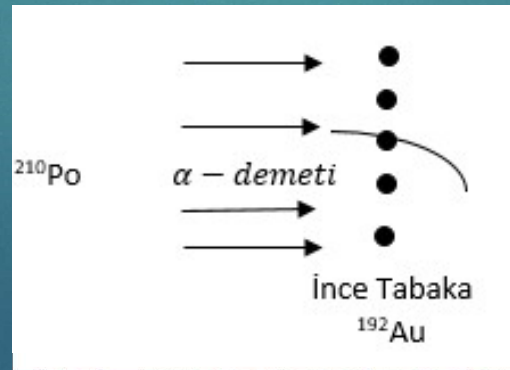


- Rutherford ve arkadaşları α, β, γ radyasyonlarını keşfettiler.



Şekil-1. Rutherford deney düzeneği

- 1911 - Geiger & Marsden, α -saçılma deneyinin sonuçlarını Rutherford yorumladı, ancak bugün bilinen modelden eksik olan bu modele “Rutherford Atom Modeli” denir.



Şekil-2 Rutherford deney düzeneği

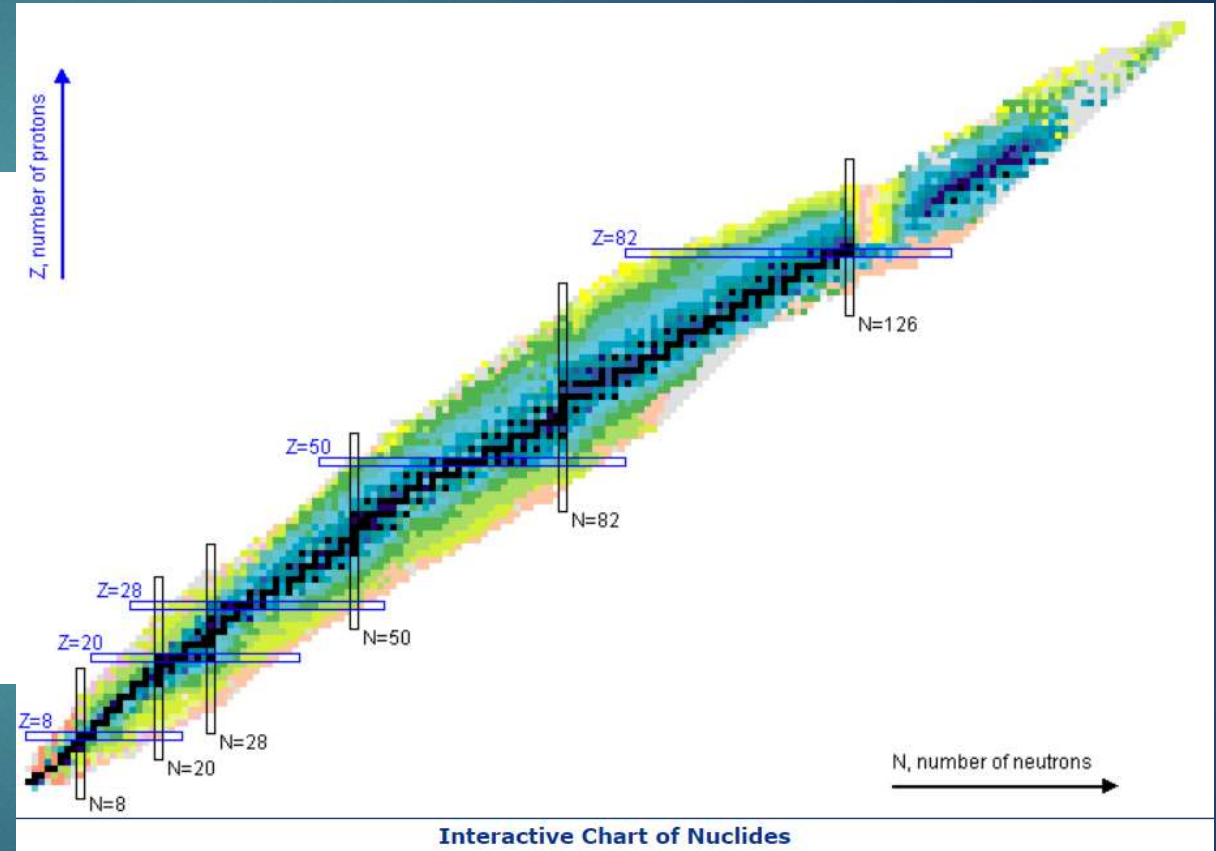
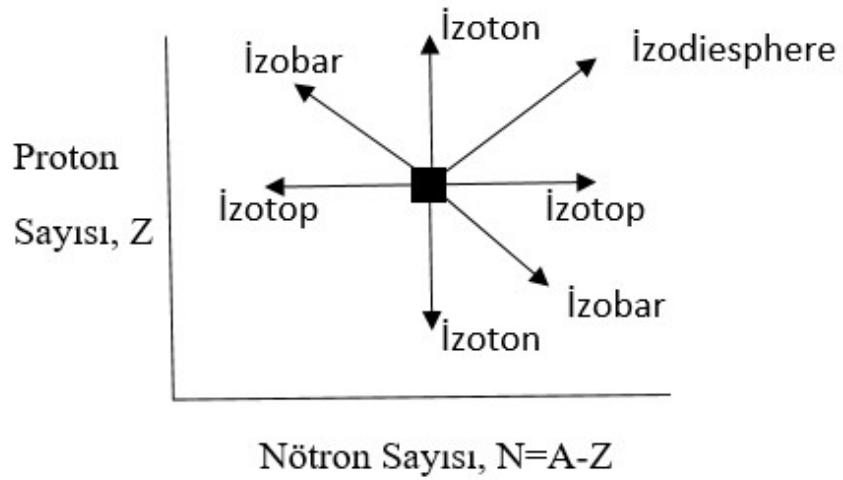
Atom Modeli: Etrafı elektronlar tarafından çevrelenen ve yarıçapı 10^{-18} cm olan bir atom ve bundan daha küçük ($\approx 10^{-12}$ cm) pozitif elektrik yüklü ve daha ağır kütleye sahip bir çekirdekten bir atom oluşur (Bugün için daha detaylı biliniyor!).

- Elektriksel yükü nötr bir atomda, çekirdeğin taşıdığı pozitif yüklerin sayısı, elektronların sayısına eşittir.
- Elektronların, çekirdek etrafında döndüğünü ise 1913 yılında Bohr açıkladı.
- 1912 - İzotopların keşfi (J. J. Thomson)
- 1919 - Etki ile (Induced) nükleer transmütasyonu (Rutherford)
- 1928 - Kuantum mekaniğinin radyoaktivite olayını açıklanmasında uygulanması.
- 1934 - Alfa Bozunması için (Gamow, Gurney Condon)
Beta Bozunması için (Fermi)
- 1932 - Nötronun keşfi (Chadwick)
- 1932 - n – p hipotezi (Heisenberg)

- 1932 - Pozitronun keşfi (Anderson)
- 1935 - Nükleer kuvvetlerde mezonun rolü (Yukawa)
- 1946 - π – mezonunun keşfi (Powell) Nükleer kuvvetlerde karşılıklı değişen parçacıklar (mezonlar) kuvvetin esas özellikleri
- 1939 - Fisyonun Keşfi (Hahn & Strassmann)
- 1940 - İlk uranyum üretilmesi ve zenginleştirilmesi.
- 1942 – İlk kontrollü fisyon (McMillan & Seabus, Fermi)
- 1945 – İlk atom (fisyon) bombası denemesi
- 1952 – İlk hidrojen (termonükleer) bomba denemesi
- 1956 – Beta bozunmasında paritenin korunumsuzluğu (Lee, Yang, Wu). Zayıf etkileşmelerde paritenin ihlali

İzotoplar

- Günümüzde 109 + 1 elementin var olduğu biliniyor. Bunlardan sadece 81 tanesi kararlıdır. En ağır olan $Z= 83$ (Bizmut). Geriye kalan 28 tane element radyoaktiftir ve en ağır olan element uranyum ($Z= 92$)' dur.
- Günümüzde 1700 – 1800 (3000 ve daha fazlası) civarında nüklit tanımlanmıştır.
- Doğada 340 nüklit bulunur. Diğerleri yapay olarak üretilir.
- Sadece 270 nüklit kararlıdır, geriye kalanlar radyoaktiftir.
- Hidrojen 3 tane, Platin 29 tane izotopa sahiptir.
- Yeni keşfedilen elementler; ^{101}Md (258), ^{102}No (259), 107,112 (Darmstad), 114 (Dubna), 118 (Berkeley)



(160) 162 Z=Çift , N=Çift	Çok sayıda kararlı nüklit örneği, Sn ve Xe
(53) 55 Z=Çift , N=Tek	Maksimum 2 kararlı izotop var. (¹¹⁵ Sn, ¹¹⁷ Sn, ¹¹⁹ Sn istisna)
(49) 49 Z=Tek , N=Çift	Maksimum 2 kararlı izotop var.
(4) 5 Z=Tek , N=Tek	Kararlı izotopları yok. İstisnai olanlar; ² ₁ H(%0.015), ⁶ ₃ Li(%7.5), ¹⁴ ₇ N(%99.63), ⁵⁰ ₂₃ V(%0.25), ¹⁸⁰ ₇₃ Ta(%0.012)

Nötronların Nükleer Etkileşmesi ve Üretilmesi

Nötronların Fiziksel Özellikleri

1932 CHADWICK Nötronların Keşfi



Nötronlar:

1. Serbest parçacıklar olarak “kararlı” değildirler.
2. Çekirdek içinde “kararlı” bir parçacık olarak kaldığı günümüze kadar test edilmek üzere varsayıldı.
3. $m_n > m_p$ Nötron protondan daha ağırdır.

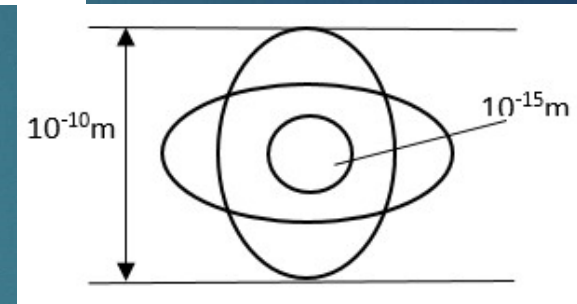
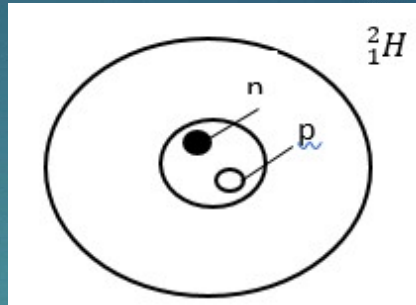
4. Deuteron \rightarrow nötron + proton

$$m_d = m_n + m_p + Q$$

Nötronun kütlesi:

$$m_n = m_d - m_p + \frac{BE_d}{c^2}$$

$$E_d \approx 2.223 \text{ MeV}$$



- **Mass Defect – Kütle Kusuru**

$$M - A = \Delta = \Delta m \cdot c^2 = \text{amu} \times 931,5 \quad \Delta M = Z(m_p + m_e) + (A - Z)m_n - M(A, Z)$$

$$M (\text{amu}) = \frac{\Delta}{931.494013} + A$$

$M(A, Z) =$ gerçek kütle

Bazı Hafif Kütleli Parçacıkların Özellikleri

Parçacık	Kütle (g)	Enerji Eşdeğeri Δ (MeV)	Kütle (Atom Ağırlığı Biriminde)	Yükü	Spin (J*)	Magnetik Moment
Nötron (n)	1.67466×10^{-24}	8.071	1.0086654	$\equiv 0$ $< 10^{-18} e$	$(1/2)^+$	-1.913148 NM ²
Proton (p)	1.672357×10^{-24}	6.778	1.007276	+ e	$(1/2)^+$	2.79270 NM
H – atom (1_1H)	1.673268×10^{-24}	7.289	1.0078252	Nötral	-	-
Döteron (2_1H)	3.343057×10^{-24}	13.136	2.013554	+ e	1	0.857407 NM
Elektron (e)	9.1081×10^{-28}	0.511	5.4859×10^{-4}	- e	1/2	1.001159 NM

- $1 \text{ u} = \text{atomik kütle birimi (a.k.b.)} = \frac{1}{12} \times {}^{12}\text{C} = 1.66027 \times 10^{-24} \text{ g}$

Bunun enerji eşdeğeri $E = mc^2$, $1 \text{ u} \approx 931.5 \text{ MeV}$

Tek bir ${}^{12}\text{C}$ atomu = $2 \times 10^{-23} \text{ g}$

- $1 \text{ NM} = \frac{e\hbar}{2m_p c} \longrightarrow 0.505038 \times 10^{-23} \text{ erg/gauss}$

$$1 \text{ M} = \frac{e\hbar}{2m_e c} = 0.927249 \times 10^{-20} \text{ erg/gauss}$$

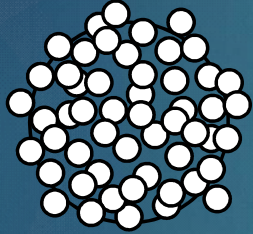
$$E = mc^2 = 1.66 \times 10^{-24} (3 \times 10^{10})^2 = 1.49 \times 10^{-3} \text{ erg}$$

$$1 \text{ MeV} = 1.602 \times 10^{-6} \text{ erg}$$

Sıvı Damlası Çekirdek Modelinde Bağlanma Enerjisi

$$E_B = E_{\text{yüzey}} + E_{\text{hacim}} + E_{\text{coul}} + E_{\text{simetri}} + E_{\text{çift_tek etkileşimi}}$$

- “Gerçek” çekirdekler ise “sonlu” büyüklükte dirler ve genellikle küresel bir şekilde oldukları kabul edilir. Bu sebepten, yüzeydeki nükleonlar, tahmin edilenden daha az çekilirler.



“Sonsuz” Nükleer Madde
İçinde “Küresel” bir çekirdek

- **Yüzey Enerjisi:** Yüzeydeki nükleonların sayısı $\propto A$ veya \propto yüzey alanı $4\pi R^2$
Yüzeydeki nükleonların sayısı ile orantılı bir yüzey terim; çekirdeğin “yüzey enerjisi” çekirdek alanı ile doğru orantılıdır.

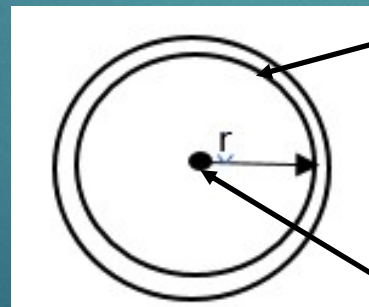
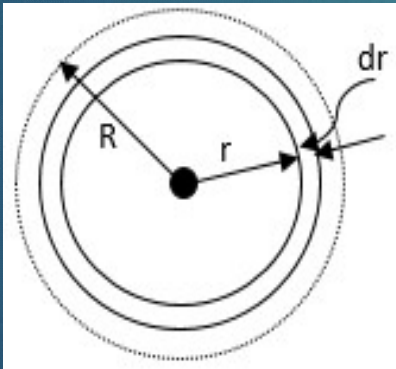
$$E_{\text{area}} \equiv a_S A^{2/3}$$

- **Hacim enerjisi:** Formülün ana terimi; çekirdeğin hacmiyle kabaca orantılı veya çekirdekdeki nükleon sayısıyla orantılı terim

$$E_{vol} = a_V A$$

- Nükleer kuvvetler çok kısa menzilli olduklarından, her parçacık komşusu olduğu belirli sayıda parçacığı görür ve bu komşu nükleonlardan “çekici kuvvetler” bir bağlanma enerjisi sonucuna (E_V) götürür ki bu E_V , nükleer hacimdeki tüm parçacıklar için yaklaşık aynıdır. Bu sebepten, Toplam Bağlanma Enerjisi $B.E_{tot} \propto A$, yaklaştıkça A – nükleon sayısıyla orantılıdır. Bu terim, nükleer kuvvetlerin “yükden bağımsız” varsayımı gibi faktörlere bağımlılık gösterir. Bundan (n,n), (p,p) ve (p,n) nükleer etkileşmelerinin aynı olduğu (identical) sonucu çıkarılabilir.

- **Coulomb enerjisi:** $R = r_0 A^{1/3}$ ortalama yarıçaplı küresel simetrik nükleon grubunda Z tane protonun birlikte paketlenmiş olması durumundaki protonların potansiyel enerjisine “Coulomb itme” terimi denir.
- $E_{coul} = -a_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} = \frac{3e^2}{5R} \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}}$
- Düzgünce (uniformly) yüklenmiş küresel bir hacimde, r – yarıçaplı bir küreye “ dr ” kalınlığı eklenirse,



Yük: $4\pi r^2 dr \rho$

Yük: $(4/3)\pi r^3 dr \rho$

- Coulomb kuvvetleri,

Protonların çiftleri arasındaki etkili olmasına rağmen, uniform yüklenmiş, Z_e yüklü bir kürenin “yük yoğunluğu”, ρ $\left(\frac{\text{coul}}{\text{cm}^2}\right)$ göz önüne alınması “Coulomb Enerjisi”, E_C bulmak için yeterlidir.

Z' tane proton yükü \equiv Kütledeki yükün bir noktasal eşdeğeri

$$Z_e = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho \quad (1)$$

$$\rho = \frac{Z_e}{\frac{4}{3}\pi R^3} \quad (2)$$

Orijinal küreye (yükü $\frac{4}{3}\pi R^3 \rho$), dr kalınlığında bir yük eklenirse, yapılacak ilave işin hesabı için, küresel yükün küre merkezinde noktasal yoğunlaştığını ve bir kabuksal yükün bunu kapsadığını düşünersek;

Çekirdeğin potansiyel enerjisi,

$$V_{coul} = \frac{\int_0^R \left(\frac{4}{3}\pi r^3 \rho\right) (4\pi r^2 dr \rho)}{r} \quad (3)$$

$$= \int_0^R \frac{16}{3} \pi^2 \rho^2 (r^4 dr)$$

$$= \frac{16}{3 \times 5} \rho^2 R^5 = \frac{16}{15} \pi^2 \rho^2 R^5$$

$$V_{coul} = \frac{16}{15} \pi^2 \rho^2 R^5 \quad (4)$$

(2) denklemi (4)'te yerine konursa,

$$V_{coul} = \frac{3}{5} \frac{e^2 Z^2}{R} \quad (5)$$

Ancak (5) ile verilen Coulomb enerjisi, her proton için $E_{coul}(Z = 1) = \frac{3}{5} \frac{e^2}{R}$ 'lik hayali bir "self-enerji" terimi ihtiva eder. Çünkü tüm çekirdek üzerinde her protonun yükünün kullanıldığını kabul etmiştik ki bir dalga fonksiyonu resmiyle uyumlu olması gerekir.

Bunun için, Z tane proton için fazlalık enerji terimi $E'_{coul} = Z \left(\frac{3e^2}{R} \right)$ hesaplanır ve (5) denklemindeki çekirdek elektrik potansiyel enerjisinden çıkartılarak “etkileşme enerjisi” düzeltilmesi yapılmış olur.

$$\theta_C = \frac{3e^2}{5r_0} \begin{cases} 0,62 \text{ MeV} \leftarrow r_0 = 1,4F \\ \text{veya} \\ 0,72 \text{ MeV} \leftarrow r_0 = 1,2F \end{cases}$$

$$\begin{aligned} E_{coul} &= V_C - E'_{coul} \\ &= \left(\frac{3e^2}{5R} \right) Z^2 - \frac{3e^2}{R} Z \end{aligned}$$

$$E_{coul} = \frac{3e^2}{5R} Z(Z - 1) = \frac{3e^2}{5r_0} \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}}$$

$$\boxed{E_{coul} = \theta_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}}} \quad \text{coulomb itme}$$