

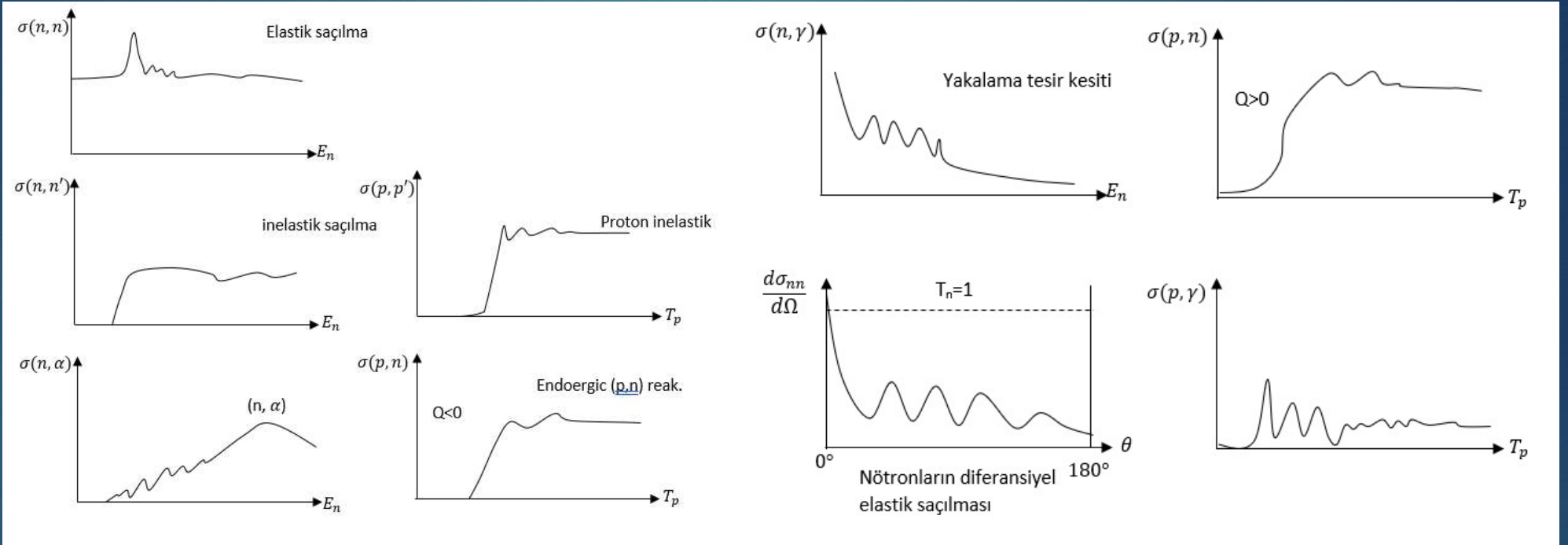


ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

TESİR KESİTİ KAVRAMI - DEVAMI

NÖTRON VE REAKTÖR FİZİĞİNE GİRİŞ
PROF. DR. HALUK YÜCEL

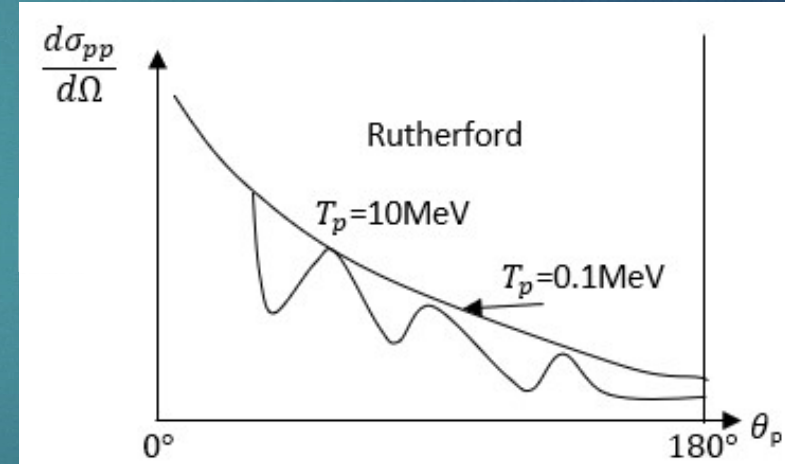
Orta $40 < A < 150$



Yüklü Parçacıkların Elastik Saçılması $\sigma_{p,p} \rightarrow$ Elastik saçılma

- Coulomb engelinden daha düşük enerjilere sahip yüklü parçacıkların elastik saçılmasına “rutherford saçılması” denir.
- Şayet bombardıman eden yüklü parçacıkların enerjisi arttırılırsa, yüklü parçacık coulomb engelini geçerek, hedef çekirdeğin yüzeyine ulaşabilir. O zaman da “elastik saçılma”, nükleer kuvvetlerden bir katkıya sahip olacaktır.
- Elbette yüksüz olan “nötronların” elastik saçılmasına tüm enerjilerde nükleer kuvvetler neden olur.

Protonların diferansiyel elastik saçılması

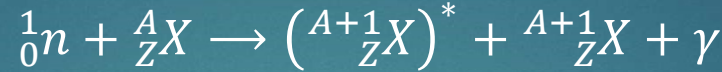


- Yüklü parçacıkların toplam tesir kesitinin bir anlamı yok.

$$\sigma_{Top} \approx \text{anlamsız}$$

(n,γ) – Reaksiyonu

Yakalama reaksiyonu (Radiative Capture)



Gelen nötron



$$E_{neutron} = 6.67 \text{ MeV}$$

$$E_c = m_A c^2 + m_{238} c^2$$

Breit – Wigner Tek Rezonans Formülü:

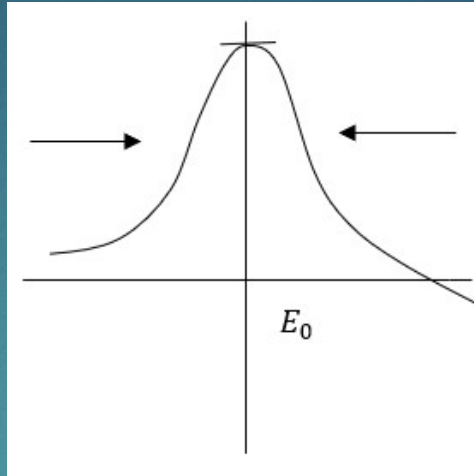
$$\sigma_\gamma(E_c) = \sigma_0 \frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma} \left(\frac{E_0}{E_c} \right)^{1/2} \frac{1}{1 + y^2}$$

Nötron bağlanma enerjisi

$$y = \frac{e}{\Gamma} (E_c - E_0) E_0$$

$$E_0 = \text{Rezonans enerjisi}$$

$$E_0 = E_c + E_b = \text{Bileşik çekirdeğin uyarılma enerjisi}$$



Γ = FWHM toplam
rezonans çizgi genişliği

Γ_γ = Bileşik çekirdeğin gama yayını aracılığı ile bozunma olasılığını karakterize eden radiatif çizgi genişliği

σ_0 = Toplam tesir kesitinin ($\sigma_t(E)$, E_0 enerjisindeki değeri)

$$\sigma_0 = 4\pi \cdot \lambda \cdot \frac{\Gamma_n}{\Gamma} \cdot g = 2.608 \times 10^6 \left(\frac{(A+1)^2}{A^2} \right) \frac{1}{E_0(eV)} \cdot \frac{\Gamma_n}{\Gamma} \cdot g$$

$$g = \frac{(2J_c+1)}{2(2I+1)} \text{ (istatistik spin faktörü) veya}$$

$$g = \frac{2J+1}{(2I_a+1)(2I_x+1)}$$

I_a = Nötronun nükleer spini

l_a = Yörüngesel açısal moment

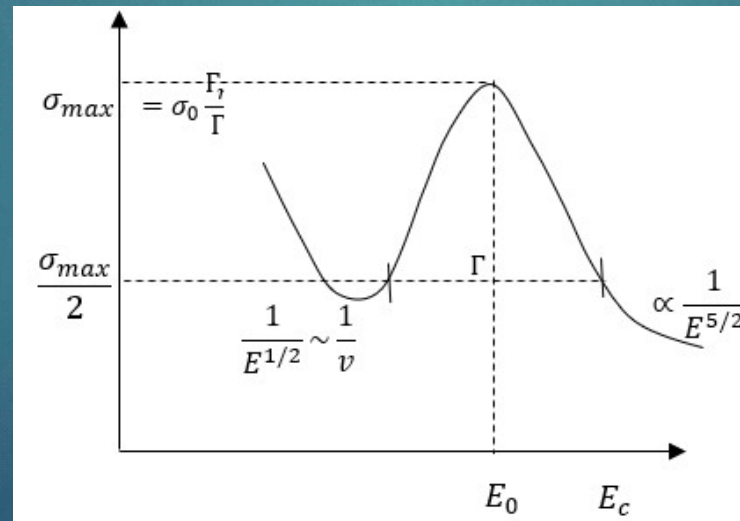
$$I_c = J \pm 1/2$$

I = Nükleer spin

J_c = Bileşik çekirdeğin toplam açısal momentum

$$\vec{I}_n + \vec{I}_x + \vec{l}_a = \vec{J}, \pi_a \cdot \pi_x (-1)^{l_a} = \pi_J \text{ (bileşik çekirdek paritesi)}$$

Γ_n = Nötron çizgi genişliği, enerjiye göre değişir. Yani: $\Gamma_n \sim \sqrt{E}$



$$E_c = E_0 \Rightarrow y = \frac{2}{\Gamma}(E_c - E_0) = 0$$

$$\frac{1}{1 + y^2} = (1)$$

$$\sigma_\gamma(E_c) = \sigma_0 \frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma} \left(\frac{E_0}{E_c} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{1 + y^2}$$

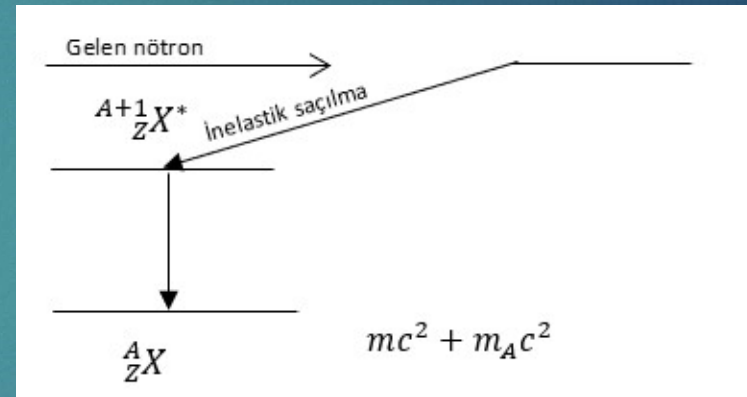
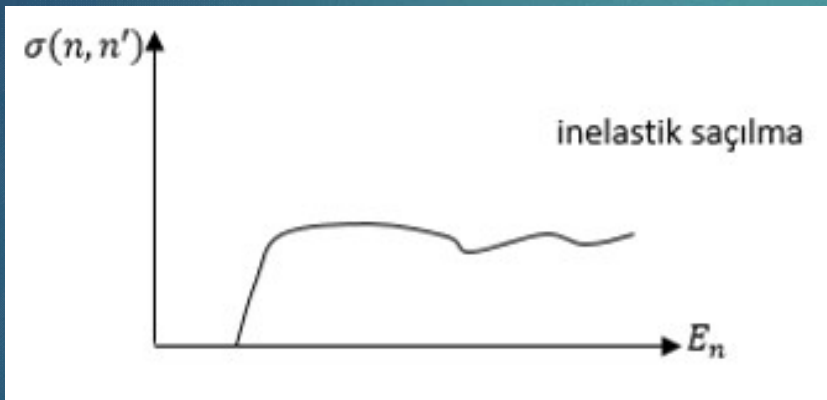
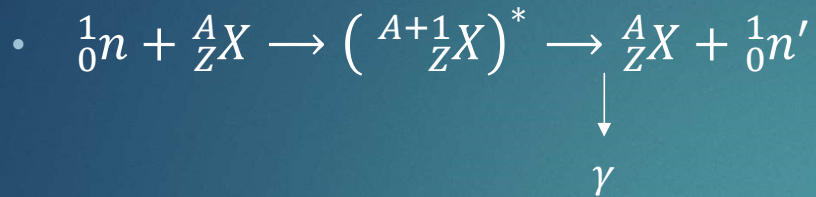
Breit – Wigner

$$E_c = E_0 \Rightarrow \sigma_\gamma(E_c) = \sigma_{max}$$

$$\sigma_{max}(E_0) = \sigma_0 \frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma} \left(\frac{E_0}{E_c} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{1 + 0^2}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_0 \frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma}$$

İnelastik Saçılma

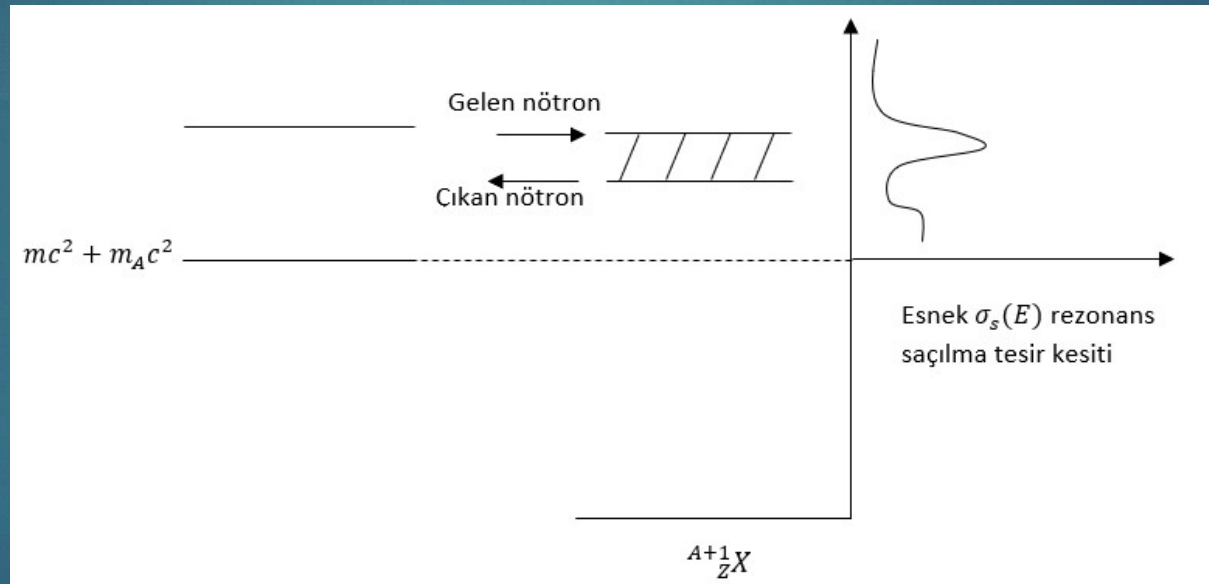


$$E_c = m_Ac^2 + m_n c^2$$

- İnelastik saçılmada hedef çekirdeğe gelen nötron, önce soğurular ve bileşik çekirdek oluşur. Bu bileşik çekirdek tekrar bir nötron yayınlar. Bununla beraber bu son çekirdek hala (${}^A_ZX^*$) uyarılmış haldedir. İnelastik saçılma reaksiyonları (>10 keV) relatif olarak yüksek nötron enerjilerinde genelde meydana gelmektedir.
- Bileşik çekirdeği ilk uyarılmış seviyesine uyarmak için, gelen nötronun kinetik enerjisinin belirli eşik (threshold) değerini aşması gerekir.
- Hedef çekirdeğe çarpan nötronun kinetik enerjisinin çoğu, hedef çekirdeğin uyarılma enerjisine dönüştürülmesine kullanıldığından, inelastik bir saçılmadaki nötron enerjisinin çoğunu bu tür özel inelastik saçılmada kaybeder. Kinetik enerji korunmaz.

Esnek (Elastik) Rezonans Saçılma

- Bileşik çekirdek oluşumuna götüren reaksiyona benzer şekilde, hedefe gelen nötron önce soğurular, bunu takiben hedef çekirdek nötronu tekrar geri yayınlayarak taban durumuna geçer.



- İnelastik (elastik olmayan) saçılmanın aksine, elastik çarpışmalarda kinetik enerji korunur. Çoğunlukla bileşik çekirdek reaksiyonu ortaya çıkar, buna karşılık gelen saçılma tesir kesitinde yine bir rezonans artış davranışı vardır, yani $\sigma_s(E)$ bir pik yapar. Fakat, rezonans esnek saçılma durumunda $\sigma_s(E)$ tesir kesitinin enerjiye bağımlılığı her nasılsa, fisyon $\sigma(n, f)(E)$ ve radiatif yakalama $\sigma(n, \gamma)(E)$ tesir kesitlerinin enerjiye göre değişiminden farklıdır. Rezonans esnek saçılma tesir kesiti $\sigma_s(E)$, rezonans maksimumu öncesi bir miktar düşmektedir.
- $\sigma_s(E)$ 'deki rezonans öncesi düşme, rezonans esnek saçılma prosesi (Kuantum Mekanik ile “potansiyel saçılma” prosesinin girişiminden ileri gelir. Breit – Wigner formülü bu saçılma girişimini hesaba katacak şekilde, aşağıdaki şekilde düzeltilerek verilir.

$$\sigma_s(E_c) = \sigma_0 \underbrace{\frac{\Gamma_n}{\Gamma} \left(\frac{E_0}{E_c}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{1+y^2}}_{\text{Rezonans Saçılma}} + \sigma_0 \underbrace{\frac{2R}{\lambda_0} \frac{y}{1+y^2}}_{\text{Girişim Saçılması}} + \underbrace{4\pi R^2}_{\text{Potansiyel Saçılma}}$$

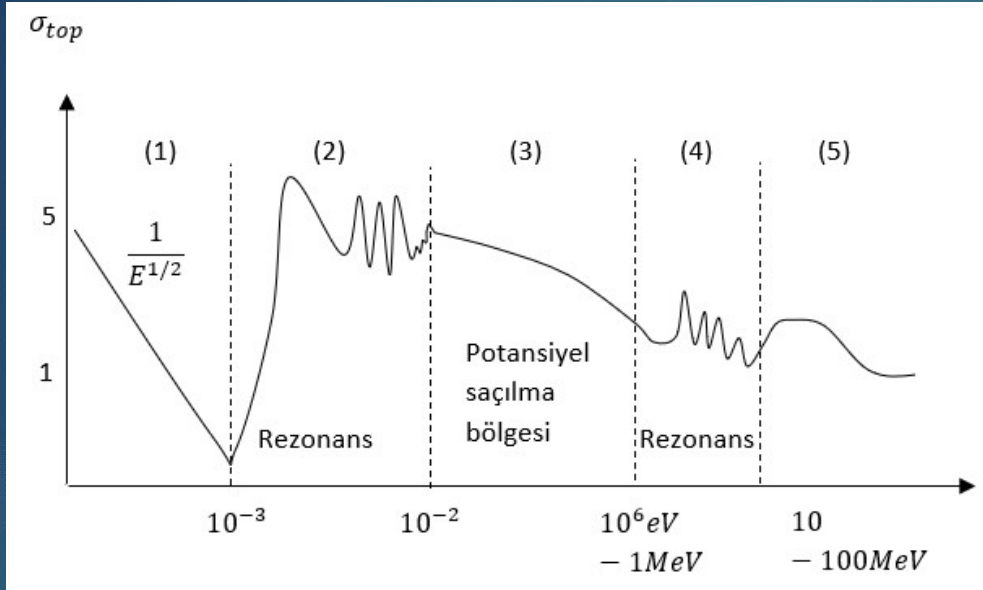
Burada, $y = \frac{2}{\Gamma}(E_c - E_0)$

$R \approx 1.25 \times 10^{-1} A^{1/3} \text{cm}$

Potansiyel Saçılma

- Nükleer etkileşmenin en basit türü “potansiyel saçılma”dır ki çekirdeğe gelen nötron nükleer yüzeye nüfuz etmeksizin, nükleer potansiyel tarafında esnek olarak saçılır. “Bilardo toplarının” çarpışmasına benzer ki tesir kesiti σ_p enerjiden bağımsız ve büyüklüğü orta enerjiler için çekirdeğin geometrik tesir kesiti $4\pi R^2$ mertebesindedir.

$$\sigma_{pot} = 4\pi R^2$$



Toplam tesir kesiti bölgeleri ($^{12}_6C$ için)

(1) $E_n < 10^{-3}$, $\frac{1}{\sqrt{E}} \propto \frac{1}{v}$

(2) $10^{-3} \rightarrow 10^{-1}$ orta enerjiler (rezonans)

(3) $10^{-1} eV \rightarrow 10^5 eV$ smooth

(4) $10^6 eV \rightarrow 10^7 eV$ Rezonans

(5) Birkaç MeV mertebesinde nötron enerjilerinde toplam tesir kesiti (çeşitli reaksiyonlarla birlikte) çekirdeğin “geometrik tesir kesiti” ne yaklaşır.

$$\sigma_t \approx \sigma_{\text{absorption} + \text{inelastic scattering}} + \sigma_{\text{elastic scattering}} \approx \pi R^2 + \pi R^2 \approx 2\pi R^2$$

$$R \approx 1.3 \times 10^{-15} A^{\frac{1}{3}} (\text{m})$$

$$\sigma_t \approx 0.11 A^{\frac{1}{3}} (\text{barn})$$

Toplam mikroskopik tesir kesiti

Nötron soğurulması:

1. Işımalı yakalama gama radyasyonu emisyonu, (n, γ)
2. Alfa parçacığı atılması, (n, α)
3. Proton atılması, (n, p)
4. Fisyon olayı, (n, f)

$$\sigma_a = \sigma_\gamma + \sigma_{n,\alpha} + \sigma_{n,p} + \sigma_p + \dots$$