ANKARA ÜNİVERSİTESİ

NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

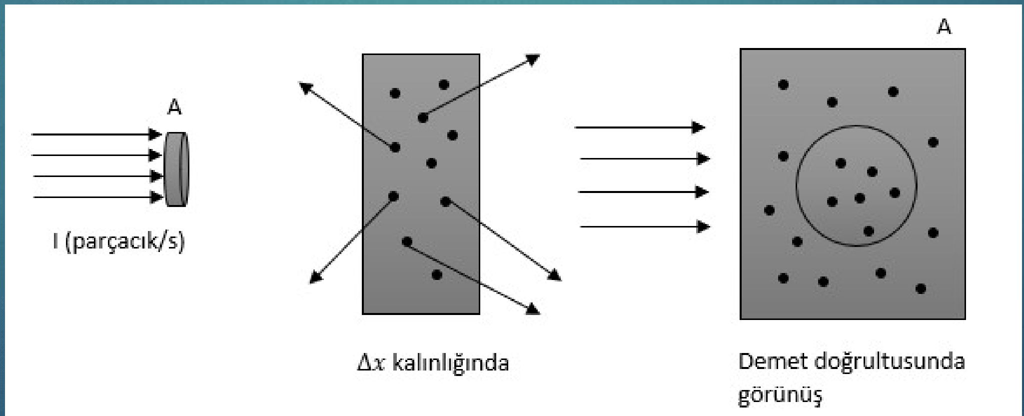
TESİR KESİTİ KAVRAMI

NÖTRON VE REAKTÖR FİZİĞİNE GİRİŞ

PROF. DR. HALUK YÜCEL

Tesir Kesiti

- Bir nükleer reaksiyonun meydana gelme olasılığı, tesir kesiti kavramı (terimleriyle) ile ifade edilir.
- Bir reaksiyonda etkileşmeler, hedef çekirdeklerin her biriyle, diğerinden bağımsız olarak meydana gelir. Bir hedef çekirdekle oluşacak bir reaksiyonun olasılığını ifade etmek için;
- Δx kalınlığında hedef malzeme (çok ince) üzerine monoenerjetik parçacıkların bir demetinin A alanı üzerine düşürüldüğünü varsayalım.



- Nükleer reaksiyon, birim zamanda N tane ürün parçacık oluşturursa, her hedef çekirdeğe eşlik eden bir σ – alanının (demete dik gelen) içine bir bombardıman parçacığı düşerse, çarparsa bir reaksiyon oluşur. Bombardıman parçacığının merkezi, σ etkin alanını kaçırırsa reaksiyon meydana gelmez. σ niceliğine tesir kesiti denir ve hedef çekirdek başına reaksiyonun olma olasılığının bir ölçüsüdür. Bu σ alanı, hayali bir alandır. Çarpılan hedef çekirdeğin (πR^2) – kesitsel alanıyla ilgili değildir.

- Hedef malzemenin birim hacminde, n tane hedef çekirdek varsa,

  Birim yüzey başına düşen çekirdek sayısı = n.Δx

  A – alanındaki toplam çekirdek sayısı = n.$\Delta x.A$

  Her bir çekirdek σ etkin alanıyla reaksiyona katkıda bulunduğundan, bir nükleer reaksiyon için mümkün olan toplam etkin alan = (n.$\Delta x.A$) σ

Etkin alan kesri, bombardıman parçacık demetinin ince levhayı geçerken, şiddetinde (I) meydana gelen değişiklik kesrini temsil eder.

$$f = \frac{toplam\ etkin\ alan}{toplam\ yüzey\ alanı} = \frac{(\mathrm{n}.\Delta x.A)\ \sigma}{A}$$

$$f = -\frac{dI}{I} = n.\sigma.dx$$

$$-\frac{dI}{I} = n.\sigma.dx$$

x=0’ da I_0 şiddeti (-) işareti, kalınlık arttıkça şiddetin azaldığını gösterir.

$$I = I_0 e^{-n.\sigma.x}$$

N bombardıman parçacık sayısı ∝ I demet şiddetiyle orantılı olduğundan, parçacıkların sayısıyla orantılı;

$$N = N_0 e^{-n.\sigma.x}$$

şeklinde yazılır.

- Mikroskopik tesir kesiti, $\sigma \longrightarrow 1b = 10^{-24} cm^2$ $1mb = 10^{-3} b$
- Makroskopik tesir kesiti Σ=n.σ (cm^{-1})
- Σ'nin yerine soğurma katsayısı $\mu = n.\sigma$'de kullanılır.

$$N = N_0 e^{-n.\sigma.x} = N_0 e^{-\mu.x}$$

- Şayet levha çok ince ise, yani $\Sigma x \ll 1$ veya $\mu_x \ll 1$ ise;

$$e^{-\Sigma} = 1 - \Sigma x$$

$$N = N_0 e^{-\Sigma x} = N_0(1 - \Sigma x) \text{ olur.}$$

$$= N_0(1 - \mu x)$$

- Böylece x – kalınlığında soğurulan parçacık sayısı,

$$dN = N_0 - N_0(1 - \mu x) = N_0 \mu x$$

veya $dN = N_0 . n . \sigma . x$

Ortalama Serbest Yol (MFP = l)

- Bir parçacığın, soğurulmaya veya saçılmaya uğramadan önce alabileceği ortalama $\bar{x}$ mesafesidir.

$$l = \bar{x} = \frac{x_1 dN_1 + x_2 dN_2 + \cdots + x_2 dN_n}{dN_1 + dN_2 + \cdots + dN_n}$$

$$= \frac{\int_0^N x.dN}{\int_0^{N_0} dN} = \frac{\int_0^{N_0} x.dN}{N_0}$$

$$= \frac{\int N_0.x.n.\sigma.e^{-n.\sigma.x}\mathrm{dx}}{N_0}$$

$$= \frac{1}{n.\sigma}\int_0^{\infty} u.e^{-u}du$$

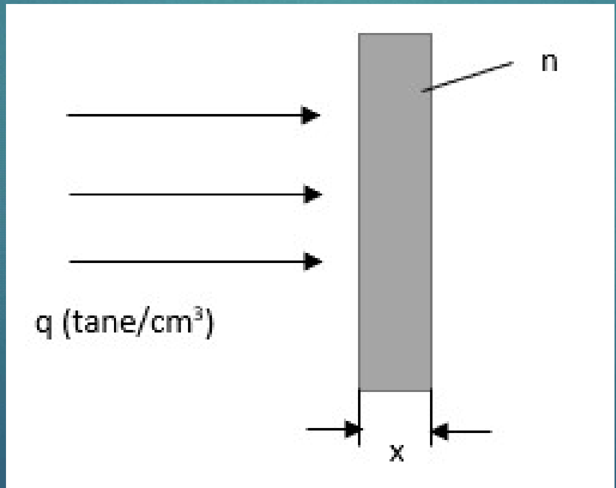
$$N = N_0 e^{-n.\sigma.x}$$

$$dN = -N_0.n.\sigma.e^{-n.\sigma.x}\mathrm{dx}$$

$$\boxed{l = \frac{1}{n.\sigma} = \frac{1}{\Sigma}}$$

Reaksiyon Hızı

- Hedef madde üzerine gönderilen parçacık demetinin birim zamanda meydana getirdiği nükleer reaksiyon sayısına reaksiyon hızı denir.
- Varsayalım ki cm^3 başına q sayıda parçacık içeren bir demetteki parçacıkların hızı da V olsun. Bu demet, birim hacminde n sayıda atomu bulunan A yüzey alanlı x–kalınlıklı bir levha üzerine düşürülsün. (Levha malzemesi, σ-tesir kesitine sahip)



- Reaksiyon hızı,

$$R = q.V(n.\sigma.x)A$$

- Parçacık akısı (flux),

$$\emptyset = qV$$

- Hedef maddenin hacmi=x.A

$$R = \emptyset.n.\sigma.V$$

- Toplam çekirdek sayısı$\longrightarrow N = n.V$

$$R = \emptyset.N.\sigma$$

ve $n.\sigma = \Sigma$ olduğuna göre

$$\boxed{R = \emptyset.\Sigma.\mathrm{V}}$$

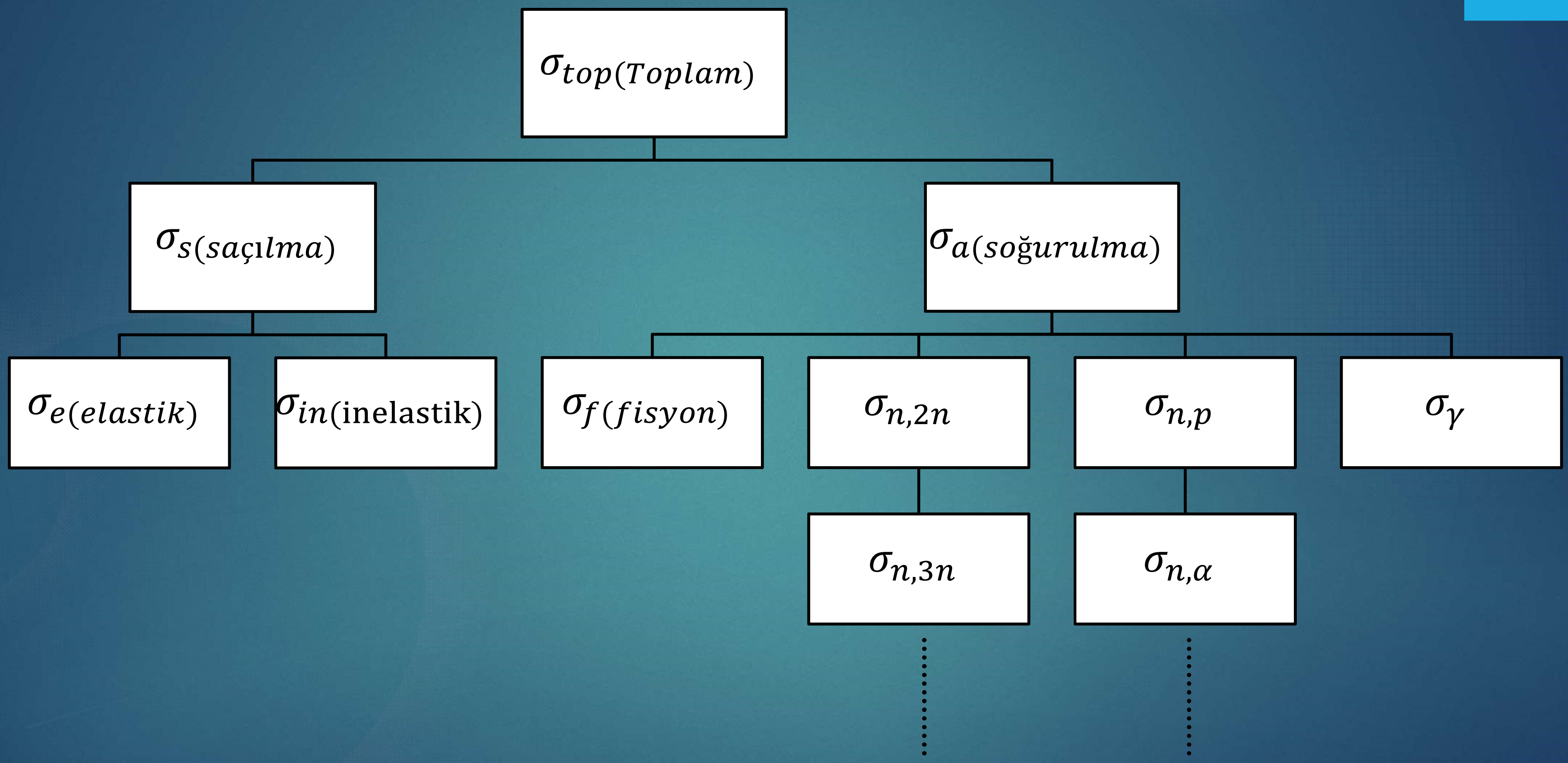
Kısmi (partial) Tesir Kesiti ve Toplam Tesir Kesiti

- Bombardıman parçacığı hedef çekirdekler reaksiyona girdiğinde, farklı türlerde reaksiyon meydana getirmeleri de mümkündür. Yani bu parçacıkların sadece bir tür nükleer reaksiyon meydana getirmeleri gerekmez. Şayet birden fazla türde reaksiyon meydana gelmişse her bir türdeki reaksiyonun tesir kesiti de farklı olacaktır.

$$\sigma_{top} = \Sigma_i \sigma_i$$

i: reaksiyon türü (saçılma, soğurulma)

$$\sigma_{top} = \sigma_{s(saçılma)} + \sigma_{a(soğurulma)}$$
$$\sigma_{saçılma} = \sigma_{e(elastik)} + \sigma_{in(inelastik)}$$
$$\sigma_{a(soğurulma)} = \sigma_f + \sigma_\gamma + \sigma_{n\alpha} + \sigma_{np} + \cdots$$


$\sigma_{top(Toplam)}$
$\sigma_{s(saçılma)}$
$\sigma_{a(soğurulma)}$
$\sigma_{e(elastik)}$
$\sigma_{in(\text{inelastik})}$
$\sigma_{f(fisyon)}$
$\sigma_{n,2n}$
$\sigma_{n,p}$
σ_{γ}
$\sigma_{n,3n}$
$\sigma_{n,\alpha}$

- Birim zamanda, N_1, N_2, N_3 tane farklı reaksiyon ürünü meydana gelirse

$$\sigma_{top} = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \cdots}{(\frac{I}{A})(n.A.\Delta x)}$$

$$\sigma_i = \frac{N_i}{(\frac{I}{A})(n.A.\Delta x)}$$

$$\sigma_{top} = \Sigma_i \sigma_i$$

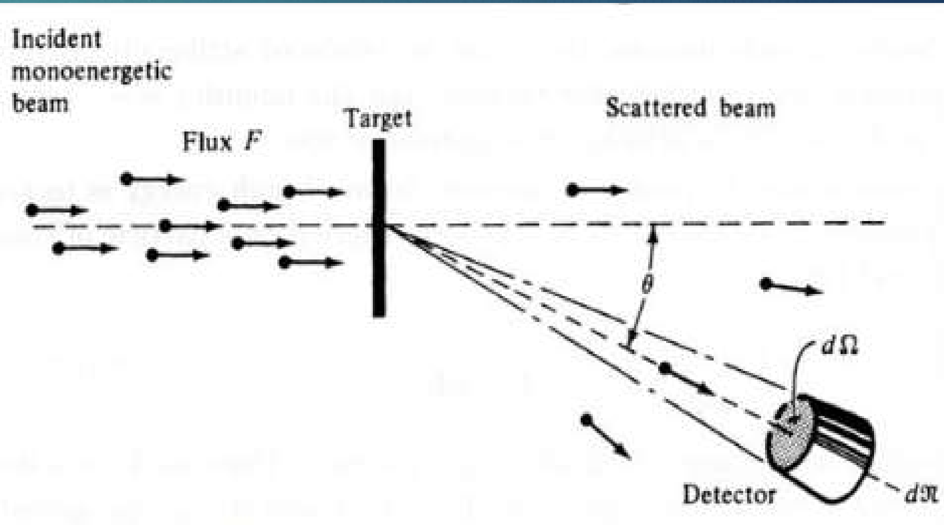
- Kısmi tesir kesitleri bilinirse, ilgilenilen reaksiyon ürünlerinin oranı hesaplanır. Bu oran ince bir dilim için;

$$\frac{N_i}{I_0} = \frac{\sigma_i}{\sigma_{top}}(1 - e^{-n.\sigma_{top}.x})$$

Diferansiyel Tesir Kesiti

- Birçok nükleer reaksiyonda, açığa çıkan hafif kütleli ürün parçacıkları, gelen demetin doğrultusuna göre izotropik tarzda meydana gelmezler. Nükleer reaksiyon veya saçılma meydana geldikten sonra, dışarı gönderilen parçacıkların dağılımı anizotropik olduğu gibi, farklı açılarda farklı enerjilere sahip olurlar.

- Diferansiyel tesir kesiti, gelen demet doğrultusuyla bir θ açısı yaparak küçük bir dΩ katı açısında birim zamanda (bir saniyede) yayınlanan dN tane hafif ürün parçacığın (dışarı çıkan) sayısı, $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$ diferansiyel tesir kesiti terimiyle ifade edilir.



$$\frac{1}{I}\frac{dN}{d\Omega} = \frac{n.A.\Delta x.\frac{d\sigma}{d\Omega}}{A}$$

- Hedef çekirdek başına diferansiyel tesir kesiti:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\frac{dN}{d\Omega}}{(\frac{I}{A})(n.A.\Delta x)}$$

- σ-tesir kesitini, $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ diferansiyel tesir kesitinden ayırt etmek için, $\sigma = \int \frac{d\sigma}{d\Omega}.d\Omega$ olduğundan, σ' ya integral tesir kesiti (integrated cross-section) adı verilir.

- Birim katı açı başına düşen tesir-kesiti: $\sigma(\theta, \emptyset)$

$$\sigma(\theta, \emptyset) = \frac{d\sigma}{d\Omega}\left(\frac{tesir - kesiti(cm^2)}{steradian}\right)$$

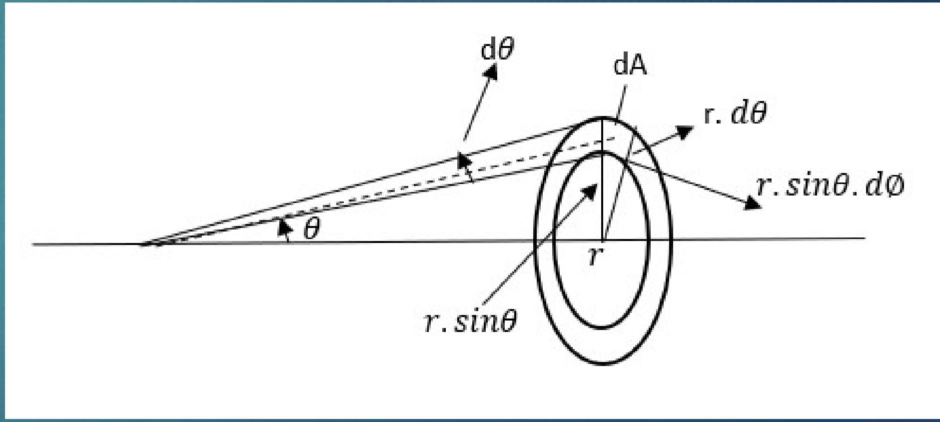
- Toplam (integral) tesir kesiti,

$$\sigma_T = \int \frac{d\sigma}{d\Omega}.d\Omega$$

- Katı açı (şekilden yararlanarak);

$$d\Omega = \frac{alan}{(uzaklık)^2} = \frac{dA}{r^2} = \frac{(r.d\theta)(r.sin\theta.d\emptyset)}{r^2}$$

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \frac{r^2.sin\theta.d\theta.d\emptyset}{r^2} = sin\theta.d\theta.d\emptyset$$



- Toplam katı açı ise

$$\Omega = \int_{\Omega} d\Omega = \int_{\emptyset=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} sin\theta . d\theta . d\emptyset$$

- Katı açı kesri ise

$$\frac{d\Omega}{\Omega} = \frac{(\frac{A}{r^2})}{4\pi} = \frac{A}{4\pi r^2}$$

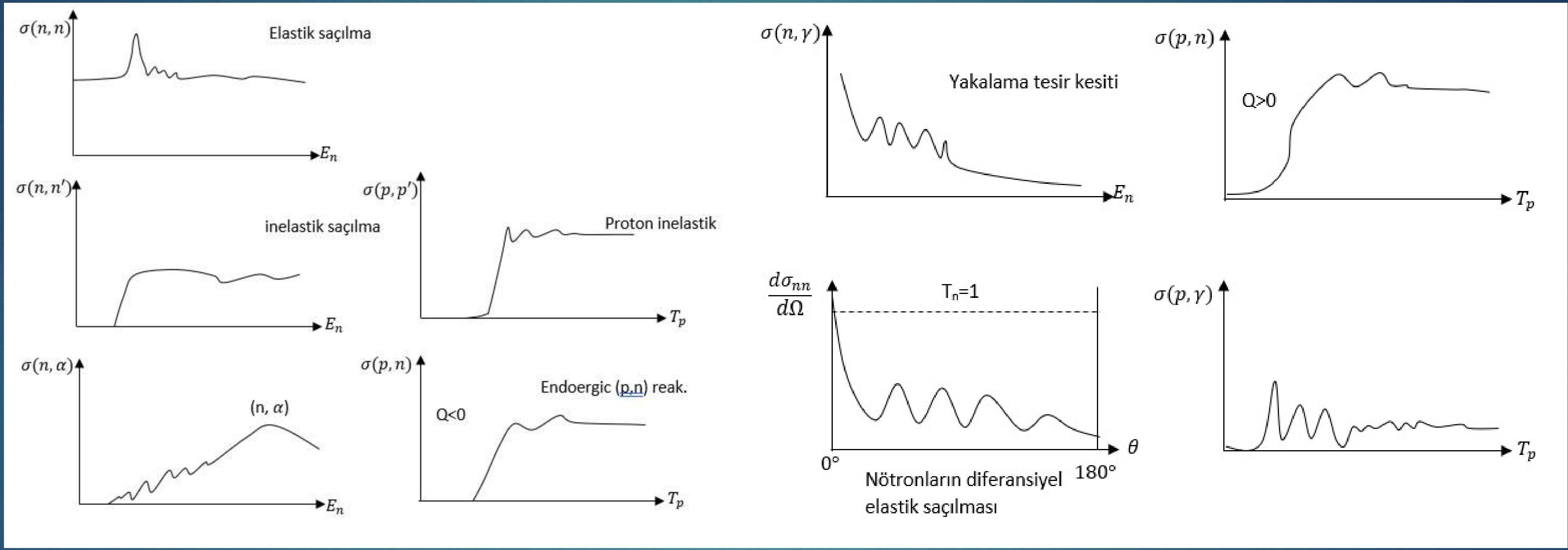
$$\sigma_T = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} . d\Omega = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} sin\theta . d\theta . d\emptyset$$

- Eğer diferansiyel tesir kesiti $\emptyset$'den bağımsız ise yani sadece θ'nın bir fonksiyonu ise $\sigma(\theta)$;

$$\sigma_T = 2\pi \int \frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} . sin\theta . d\theta$$

- Diferansiyel tesir kesiti $\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} = \sigma(\theta)$ açısal bağımlıdır.

Orta 40< A <150



$\sigma(n,n)$
Elastik saçılma
E_n
$\sigma(n,n')$
inelastik saçılma
E_n
$\sigma(p,p')$
Proton inelastik
T_p
$\sigma(n,\alpha)$
(n, α)
E_n
$\sigma(p,n)$
Endoergic (p,n) reak.
Q<0
T_p
$\sigma(n,\gamma)$
Yakalama tesir kesiti
E_n
$\sigma(p,n)$
Q>0
T_p
$\frac{d\sigma_{nn}}{d\Omega}$
T_n=1
θ
0°
180°
Nötronların diferansiyel elastik saçılması
$\sigma(p,\gamma)$
T_p