

Nükleer Fizik II

Uygulama

Doç. Dr. Turan OLĞAR

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Fizik Mühendisliği Bölümü

UYGULAMA

Problem 1: E kinetik enerjisine sahip bir nötron durgun bir hedef atomundan saçılıyor. Hedefin a) ^2H b) ^{12}C c) ^{238}U olması durumunda nötronun maksimum enerji kaybını bulunuz.

Çözüm 1: Maksimum enerji kaybı $\theta=180^\circ$ karşılık gelir.

$$\left(\frac{E'}{E}\right) = \frac{A^2 + 1 + 2A \cos \theta}{(A + 1)^2}$$

Böylece enerji kaybı,

$$E - E' = E \left(1 - \frac{E'}{E}\right) = E \left[1 - \left(\frac{A - 1}{A + 1}\right)^2\right] = E \frac{4A}{(A + 1)^2}$$

UYGULAMA

Problem 1: E kinetik enerjisine sahip bir nötron durgun bir hedef atomundan saçılıyor. Hedefin a) ^2H b) ^{12}C c) ^{238}U olması durumunda nötronun maksimum enerji kaybını bulunuz.

Çözüm 1:

$$\text{a) } \quad A=2 \text{ için} \quad E - E' = \left(\frac{8}{9}\right)E = 0,89E$$

$$\text{b) } \quad A=12 \text{ için} \quad E - E' = \left(\frac{48}{169}\right)E = 0,28E$$

$$\text{c) } \quad A=238 \text{ için} \quad E - E' = \frac{4 \times 238}{(239)^2}E = 0,017E$$

UYGULAMA

Problem 2: 1 MeV'lik nötronların enerjilerini 1 eV'a düşürmek için gerekli çarpışma sayısını a) Hidrojen b) Karbon c) Berilyum d) Demir atomları için hesap ediniz.

Çözüm 2: n çarpışma sayısı

$$n = \frac{\text{Ln}E - \text{Ln}E'}{\xi} = \frac{1}{\xi} \text{Ln} \left(\frac{E}{E'} \right)$$

a) Hidrojen için ($\zeta=1$) $n = \frac{1}{1} \text{Ln} \left(\frac{10^6}{1} \right) \cong 14$

b) Karbon için ($\zeta=0,158$) $n = \frac{1}{0,158} \text{Ln} \left(\frac{10^6}{1} \right) \cong 87$

UYGULAMA

Problem 2: 1 MeV'lik nötronların enerjilerini 1 eV'a düşürmek için gerekli çarpışma sayısını a) Hidrojen b) Karbon c) Berilyum d) Demir atomları için hesap ediniz.

Çözüm 2: n çarpışma sayısı

$$n = \frac{\text{Ln}E - \text{Ln}E'}{\xi} = \frac{1}{\xi} \text{Ln} \left(\frac{E}{E'} \right)$$

c) Berilyum için (A=9) $\xi = 1 + \frac{(A-1)^2}{2A} \text{Ln} \left(\frac{A-1}{A+1} \right)$

$$\xi \cong 0,207 \quad n = \frac{1}{0,207} \text{Ln} \left(\frac{10^6}{1} \right) \cong 67$$

UYGULAMA

Problem 2: 1 MeV'lik nötronların enerjilerini 1 eV'a düşürmek için gerekli çarpışma sayısını a) Hidrojen b) Karbon c) Berilyum d) Demir atomları için hesap ediniz.

Çözüm 2: n çarpışma sayısı

$$n = \frac{\text{Ln}E - \text{Ln}E'}{\xi} = \frac{1}{\xi} \text{Ln} \left(\frac{E}{E'} \right)$$

d) Demir için (A=56) $\xi = 1 + \frac{(A-1)^2}{2A} \text{Ln} \left(\frac{A-1}{A+1} \right)$

$$\xi \cong 0,0353 \quad n = \frac{1}{0,0353} \text{Ln} \left(\frac{10^6}{1} \right) \cong 391$$

UYGULAMA

Problem 3: Bir termal nötron kaynağının şiddeti, ince bir indiyum metal levhanın nötronlarla bombardıman edilmesiyle oluşan radyoaktiflik sayılarak ölçülür. Levhanın alanı $3,0 \times 3,0 \text{ mm}^2$ ve kalınlığı da $1,0 \text{ } \mu\text{m}$ dir. ^{115}In 'in ^{116}In 'ya ($t_{1/2}=54 \text{ dak}$) dönüşümünün tesir kesiti termal nötronlar için 160 barn 'dır. Levha 1 dakika süreyle ışınlanıyor, fakat sayma işlemi ışınlama bittikten 30 dak sonra başlatılıyor. Sayma sisteminin verimi $2,4 \times 10^{-4}$ 'dür ve 1 saatte $4,85 \times 10^4$ sayma elde ediliyor. Termal nötron akısı nedir.

Çözüm 3:

$$A_0 = 0,602 \frac{m}{A} \sigma \frac{\phi}{3,7 \times 10^{10}} (1 - e^{-\lambda t})$$

$$m = \rho V = 7,31 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \left[(0,30 \text{ cm} (0,30 \text{ cm}) 10^{-4} \text{ cm}) \right] = 6,58 (10^{-5}) \text{ g}$$

UYGULAMA

Problem 3: Bir termal nötron kaynağının şiddeti, ince bir indiyum metal levhanın nötronlarla bombardıman edilmesiyle oluşan radyoaktiflik sayılarak ölçülür. Levhanın alanı $3,0 \times 3,0 \text{ mm}^2$ ve kalınlığı da $1,0 \text{ } \mu\text{m}$ dir. ^{115}In 'in ^{116}In 'ya ($t_{1/2}=54 \text{ dak}$) dönüşümünün tesir kesiti termal nötronlar için 160 barn 'dır. Levha 1 dakika süreyle ışınlanıyor, fakat sayma işlemi ışınlama bittikten 30 dak sonra başlatılıyor. Sayma sisteminin verimi $2,4 \times 10^{-4}$ 'dür ve 1 saatte $4,85 \times 10^4$ sayma elde ediliyor. Termal nötron akısı nedir.

Çözüm 3: Işınlamanın sonundaki aktiflik A_0 olarak alınmıştır. 30 dakika bekledikten sonra aktiflik,

$$e^{-0,693(30/54)} A_0 = 0,68 A_0 = A_1$$

değerine iner. 1 saat lik süre içinde elde edilen sayım

UYGULAMA

Problem 3: Bir termal nötron kaynağının şiddeti, ince bir indiyum metal levhanın nötronlarla bombardıman edilmesiyle oluşan radyoaktiflik sayılarak ölçülür. Levhanın alanı $3,0 \times 3,0 \text{ mm}^2$ ve kalınlığı da $1,0 \text{ }\mu\text{m}$ dir. ^{115}In 'in ^{116}In 'ya ($t_{1/2}=54 \text{ dak}$) dönüşümünün tesir kesiti termal nötronlar için 160 barn 'dır. Levha 1 dakika süreyle ışınlanıyor, fakat sayma işlemi ışınlama bittikten 30 dak sonra başlatılıyor. Sayma sisteminin verimi $2,4 \times 10^{-4}$ 'dür ve 1 saatte $4,85 \times 10^4$ sayma elde ediliyor. Termal nötron akısı nedir.

Çözüm 3:

$$\varepsilon \left(\frac{A_1}{\lambda} \right) (1 - e^{-\lambda t}) = 0,537 \left(\frac{A_1}{\lambda} \right) \varepsilon$$

Burada ε sayma sisteminin verimidir. $0,537 \left(\frac{A_1}{\lambda} \right) \varepsilon = 4,85 (10^4)$

UYGULAMA

Problem 3: Bir termal nötron kaynağının şiddeti, ince bir indiyum metal levhanın nötronlarla bombardıman edilmesiyle oluşan radyoaktiflik sayılarak ölçülür. Levhanın alanı $3,0 \times 3,0 \text{ mm}^2$ ve kalınlığı da $1,0 \text{ }\mu\text{m}$ dir. ^{115}In 'in ^{116}In 'ya ($t_{1/2}=54 \text{ dak}$) dönüşümünün tesir kesiti termal nötronlar için 160 barn 'dır. Levha 1 dakika süreyle ışınlanıyor, fakat sayma işlemi ışınlama bittikten 30 dak sonra başlatılıyor. Sayma sisteminin verimi $2,4 \times 10^{-4}$ 'dür ve 1 saatte $4,85 \times 10^4$ sayma elde ediliyor. Termal nötron akısı nedir.

Çözüm 3:
$$0,537 \left(\frac{A_1}{\lambda} \right) \varepsilon = 4,85 (10^4)$$

$\varepsilon = 2,4 \times 10^{-4}$ değeri yerine konulursa,

$$A_1 = 4,83 (10^6) \text{ dak}^{-1}$$

UYGULAMA

Problem 3: Bir termal nötron kaynağının şiddeti, ince bir indiyum metal levhanın nötronlarla bombardıman edilmesiyle oluşan radyoaktiflik sayılarak ölçülür. Levhanın alanı $3,0 \times 3,0 \text{ mm}^2$ ve kalınlığı da $1,0 \text{ } \mu\text{m}$ dir. ^{115}In 'in ^{116}In 'ya ($t_{1/2}=54 \text{ dak}$) dönüşümünün tesir kesiti termal nötronlar için 160 barn 'dır. Levha 1 dakika süreyle ışınlanıyor, fakat sayma işlemi ışınlama bittikten 30 dak sonra başlatılıyor. Sayma sisteminin verimi $2,4 \times 10^{-4}$ 'dür ve 1 saatte $4,85 \times 10^4$ sayma elde ediliyor. Termal nötron akısı nedir.

Çözüm 3:
$$A_0 = \frac{A_1}{0,680} = 7,10(10^6) \text{ dak}^{-1} = 1,18(10^5) \text{ s}^{-1}$$

$$\phi = \frac{A_0}{0,602 \left(\frac{\text{m}}{\text{A}} \right) \sigma (1 - e^{-\lambda t})} = \frac{1,18(10^5) \text{ s}^{-1}}{0,602 \left(\frac{6,58(10^{-5}) \text{ g}}{115 \text{ g}} \right) 160 \left(1 - e^{-0,693 \left(\frac{1}{54} \right)} \right)} = 1,62(10^{11}) \frac{\text{n}}{\text{cm}^2 \text{ s}}$$

UYGULAMA

Problem 4: ^{252}Cf 'nin yarı ömrü 2,64 yıldır ve kendiliğinden fisyon olasılığı % 3,09'dur. Bir miligram ^{252}Cf 'nin fisyonundan kaç tane nötron açığa çıkar

Çözüm 4:
$$N = \left(\frac{10^{-3} \text{ g}}{252 \text{ g/mol}} \right) (6,02 \times 10^{23} \text{ atom/mol}) = 2,39 \times 10^{18}$$

$$A = \lambda N = (2,39 \times 10^{18}) \left[\frac{0,693}{(2,64 \text{ yıl})(3,15 \times 10^7 \text{ s/yıl})} \right] = 1,99 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Fisyon sayısı} = (0,0309)(1,99 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}) = 6,15 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$$

Her ^{252}Cf fisyonunda ortalama 3,86 nötron yayınlanır. Dolayısıyla

$$\text{Nötron sayısı} = 3,86 \times 6,15 \times 10^8 \text{ s}^{-1} = 2,37 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$$

UYGULAMA

Problem 5: ^{254}Cf izotopu hemen hemen yalnız kendiliğinden fisyonla bozunuma uğrar ve yarı ömrü 60,5 gündür. Fisyon başına açığa çıkan enerji yaklaşık 225 MeV'dir. $1,0 \mu\text{g}$ ^{254}Cf tarafından üretilen toplam fisyon gücünü hesaplayınız.

Çözüm 5:

$$N = \left(\frac{10^{-6} \text{ g}}{254 \text{ g/mol}} \right) (6,02 \times 10^{23} \text{ atom/mol}) = 2,37 \times 10^9$$

$$A = \lambda N = (2,37 \times 10^9) \left[\frac{0,693}{(60,5 \text{ gün})(86400 \text{ s/gün})} \right] = 3,14 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$$

$$P = (225 \text{ MeV/fisyon})(3,14 \times 10^8 \text{ fisyon/s})(1,6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV}) = 0,0113 \text{ W}$$

UYGULAMA

Problem 6: ^{236}U 'nın aktivasyon enerjisi 6,2 MeV olarak verilmiştir. A parçacığının enerjisi en az ne olmalıdır ki, bir ^{232}Th hedefinin bombardımanında fisyon meydana gelebilsin.

Çözüm 6:

$$E_{\text{uy}} = \left[m(^{236}\text{U}^*) - m(^{236}\text{U}) \right] c^2 + T_{\alpha} = \left[m(^{232}\text{Th}) + m(^4\text{He}) - m(^{236}\text{U}) \right] c^2 + T_{\alpha}$$

$$E_{\text{uy}} = \left[232,038051\text{u} + 4,002603\text{u} - 236,045563\text{u} \right] (931,502 \text{ MeV / u}) + T_{\alpha}$$

$$E_{\text{uy}} = -4,57 \text{ MeV} + T_{\alpha} > 6,2 \text{ MeV}$$

$$T_{\alpha} > 10,8 \text{ MeV}$$

UYGULAMA

Problem 7: a) ^{239}Pu b) ^{231}Pa c) ^{237}Np d) ^{238}Np çekirdeklerinin termal nötronlarla oluşturulan fisyonu için uyarılma ve aktivasyon enerjilerini karşılaştırınız.

Çözüm 7:

$$\text{a)} \quad E_{\text{uy}} = \left[m(^{240}\text{Pu}^*) - m(^{240}\text{Pu}) \right] c^2 = \left[m(^{239}\text{Pu}) + m_n - m(^{240}\text{Pu}) \right] c^2$$

$$E_{\text{uy}} = \left[239,052158\text{u} + 1,008665\text{u} - 240,053808\text{u} \right] 931,502 \text{ MeV / u} = 6,5 \text{ MeV}$$

$$E_{\text{akt}} = 6,0 \text{ MeV}$$

$$\text{b)} \quad E_{\text{uy}} = \left[m(^{232}\text{Pa}^*) - m(^{232}\text{Pu}) \right] c^2 = \left[m(^{231}\text{Pa}) + m_n - m(^{232}\text{Pu}) \right] c^2$$

$$E_{\text{uy}} = \left[231,035880\text{u} + 1,008665\text{u} - 232,038565\text{u} \right] 931,502 \text{ MeV / u} = 5,6 \text{ MeV}$$

$$E_{\text{akt}} = 7,6 \text{ MeV}$$

UYGULAMA

Problem 7: a) ^{239}Pu b) ^{231}Pa c) ^{237}Np d) ^{238}Np çekirdeklerinin termal nötronlarla oluşturulan fisyonu için uyarılma ve aktivasyon enerjilerini karşılaştırınız.

Çözüm 7:

$$\text{c) } E_{\text{uy}} = \left[m(^{238}\text{Np}^*) - m(^{238}\text{Np}) \right] c^2 = \left[m(^{237}\text{Np}) + m_n - m(^{238}\text{Np}) \right] c^2$$

$$E_{\text{uy}} = \left[237,048168\text{u} + 1,008665\text{u} - 238,050941\text{u} \right] 931,502 \text{ MeV / u} = 5,5 \text{ MeV}$$

$$E_{\text{akt}} = 6,2 \text{ MeV}$$

$$\text{d) } E_{\text{uy}} = \left[m(^{239}\text{Np}^*) - m(^{239}\text{Np}) \right] c^2 = \left[m(^{238}\text{Np}) + m_n - m(^{239}\text{Np}) \right] c^2$$

$$E_{\text{uy}} = \left[238,050941\text{u} + 1,008665\text{u} - 239,052933\text{u} \right] 931,502 \text{ MeV / u} = 6,2 \text{ MeV}$$

$$E_{\text{akt}} = 6,0 \text{ MeV}$$

UYGULAMA

Problem 8: ^{239}Pu 'un termal fisyon tesir kesiti 742b ve diğer fisyon­suz soğurulma tesir kesiti 267b'dır. Her fisyonda ortalama 2,86 hızlı nötron açığa çıkar. ^{239}Pu 'un termal nötron başına oluşan fisyon nötronlarının ortalama sayısı nedir.

Çözüm 8:

$$\eta = \nu \left(\frac{\sigma_f}{\sigma_f + \sigma_a} \right) = 2,86 \left(\frac{742}{742 + 267} \right) = 2,1$$

UYGULAMA

Problem 9: Sürekli olarak 1000 kW'lık güç üretilen bir nükleer reaktörde bir yıllık çalışma süresinde kullanılan ${}_{92}\text{U}^{235}$ miktarını hesaplayınız.

Çözüm 9:

$$P = 1000 \text{ kW} = 1 \times 10^6 \text{ J/s}$$

Bir yılda üretilen toplam enerji,

$$E = P \times t = (1 \times 10^6 \text{ J/s})(365 \times 24 \times 3600 \text{ s}) = 315,4 \times 10^{11} \text{ J}$$

$$E = (315,4 \times 10^{11} \text{ J} / 1,6 \times 10^{-13}) = 197 \times 10^{24} \text{ MeV}$$

UYGULAMA

Problem 9: Sürekli olarak 1000 kW'lık güç üretilen bir nükleer reaktörde bir yıllık çalışma süresinde kullanılan ${}_{92}\text{U}^{235}$ miktarını hesaplayınız.

Çözüm 9: ${}_{92}\text{U}^{235}$ 'in bir fisyonunda açığa çıkan enerji ortalama 200 MeV'dir.

$$\begin{aligned} \text{1 yıl sonunda kullanılacak } {}_{92}\text{U}^{235} \text{ sayısı} &= (197 \times 10^{24} \text{ MeV} / 200 \text{ MeV}) \\ &= 9,85 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_{92}\text{U}^{235} \text{ miktarı ise} &= [(235 \text{ g/mol}) 9,85 \times 10^{23} \text{ atom}] / 6,02 \times 10^{23} \text{ atom/mol} \\ &= 384,51 \text{ g} \end{aligned}$$