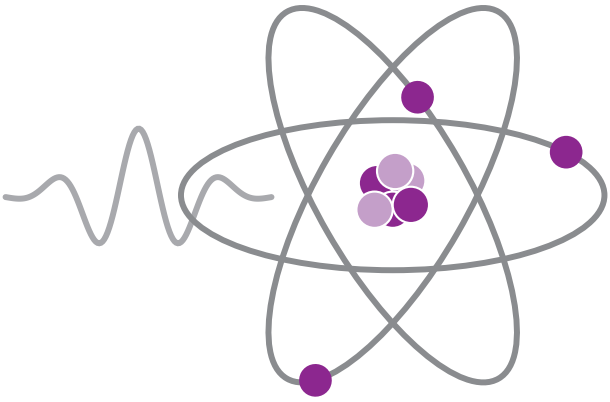
MODERN FİZİK

SORU KİTABI

ÖRNEK SAYFALAR

14 ünite · 172 soru · adım adım çözümler



Ertan Sinan Şahin

ertansinansahin.com

Bu kitap nasıl kullanılır?

- Her ünite, soruların dayandığı tanım ve formülleri özetleyen bir hatırlatma kutusuyla açılır.
- Zorluk: ★☆☆ temel ★★☆ orta ★★★ ileri. Her ünitede birkaç çoktan seçmeli kavram sorusu vardır; ünitenin son sorusu, birden çok konuyu birleştiren sınav tipi bir karma sorudur.
- Her sorunun altındaki noktalı alan sizin çözümünüz içindir. Önce kendiniz çözün; takıldığınızda hatırlatma kutusuna ve ders notuna dönün, çözüme en son bakın.
- Bütün çözümler kitabın sonundadır. Sorunun yanındaki Çözüm → bağlantısı çözüme, çözümdeki ← Soru bağlantısı soruya götürür. Kısa cevaplar **CEVAP** kutusundadır. Her çözüm kısa bir fikir cümlesiyle başlar; parçacık sorularında göreli bağıntı gerekip gerekmediği denetlenir.
- **Ekler:** Fiziksel sabitler, atom kütleleri ve izotoplar, elektron dizilimleri ve matematik yardımcıları kitabın sonundadır. Sabitler soru metninde tekrar verilmez; çözümler ekteki dört anlamlı değerlerle yapılmıştır. Hesapta $hc = 1240$ eV·nm gibi kısaltmalar kullanılır.
- **İleri üniteler: 10, 11 ve 14.** Moleküller (Ünite 10), istatistik fizik ve lazer (Ünite 11), nükleer tepkimeler ve parçacıklar (Ünite 14) derslerin yarısından azında işlenir; içindekilerde İLERİ diye işaretlenmiştir. Dersiniz bu konuları kapsamıyorsa bu üniteleri atlayabilirsiniz; sonraki üniteler onlara dayanmaz.
- **Vize ve final:** Üniteleri kendi izlencenize göre seçin. Göreliliği dönemin sonunda işleyen dersler Ünite 1–2'yi en sona bırakabilir; sonraki üniteler görelilikten yalnız $E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$ bağıntısını kullanır. Elektrik-elektronik ve malzeme bölümleri için Ünite 1–9 ve 12, fizik öğretmenliği için Ünite 1–2 ve 13–14 önceliklidir.

İçindekiler

Sayfa numaraları tam kitaba aittir. Renkli üniteler bu örnekte vardır; tıklayınca o üniteye gidersiniz.

1 Özel Görelilik I: Kinematik ..... 16 soru 4

2 Özel Görelilik II: Momentum ve Enerji ..... 14 soru 13

3 **Işığın Parçacık Özelliği** ..... 14 soru 21

4 Çekirdekli Atom ..... 12 soru 31

5 Maddenin Dalga Özelliği ..... 14 soru 41

6 Schrödinger Denklemi ..... 14 soru 50

7 **Basamak, Engel ve Tünelleme** ..... 10 soru 59

8 Hidrojen Atomu ..... 12 soru 68

9 Spin ve Çok Elektronlu Atomlar ..... 12 soru 77

10 Moleküller İLERİ ..... 8 soru 86

11 İstatistik Fizik ve Lazer İLERİ ..... 10 soru 93

12 Katıhal Fiziği ..... 12 soru 101

13 **Çekirdek Fiziği** ..... 14 soru 110

14 Nükleer Tepkimeler ve Temel Parçacıklar İLERİ ..... 10 soru 120

Çözümler 127

3. ÜNİTE

IŞIĞIN PARÇACIK ÖZELLİĞİ

Wien yasası	$\lambda_{\text{maks}} T = b$	en kısa dalga boyu	$\lambda_{\min} = \dfrac{hc}{eV}$
Stefan–Boltzmann	$I = \sigma T^4$	Bragg koşulu	$2d \sin\theta = n\lambda$
Planck yasası	$I(\lambda, T) = \dfrac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \dfrac{1}{e^{hc/\lambda k_B T} - 1}$	Compton kayması	$\lambda' - \lambda = \dfrac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$
foton	$E = hf = \dfrac{hc}{\lambda}, \quad p = \dfrac{h}{\lambda} = \dfrac{E}{c}$	çift oluşumu eşiği	$E_\gamma \geq 2m_e c^2 = 1.022\ \text{MeV}$
fotoelektrik olay	$K_{\text{maks}} = eV_0 = hf - \phi$	yok olma (durgun)	$e^+ + e^- \to 2\gamma, \quad E_\gamma = m_e c^2$

I, kara cismin birim yüzeyinden yayımlanan toplam güç; $I(\lambda, T)$ ise birim yüzeyden birim dalga boyu aralığında yayımlanan güçtür (spektral ışıma gücü), $I = \int_0^\infty I(\lambda, T)\, d\lambda$. Planck eğrisinin tepesinde $hc/(\lambda_{\text{maks}} k_B T) = 4.965$'tir; Wien sabiti b ve σ ektedir. Fotoelektrik olayda ϕ metalin iş fonksiyonudur (çıkış işi); eşik frekansı $f_0 = \phi/h$'dir ve V_0–f doğrusunun eğimi h/e her metal için aynıdır. Işık şiddeti fotonların sayısını, frekansı her fotonun enerjisini belirler. Compton formülünde θ fotonun saçılma açısı, $h/m_e c = \lambda_C = 2.426$ pm elektronun Compton dalga boyudur. Fotonun boşlukta tek başına bir çift oluşturması ya da bir çiftin tek foton vererek yok olması, enerji ve momentum birlikte korunamadığı için olanaksızdır; çift oluşumu bir çekirdeğin yakınında olur.

Kara cisim ışıması

3.1 ★☆☆ Çözüm →

Bir fırının duvarındaki küçük bir delik kara cisim gibi ışınım yayımlamaktadır. Fırının mutlak sıcaklığı T'den $2T$'ye çıkarılıyor. Aşağıdakilerden hangisi doğrudur?

A) Delikten yayımlanan toplam güç iki katına çıkar.

B) Her dalga boyundaki spektral ışıma gücü artar ve spektrumun tepesinin dalga boyu yarıya iner.

C) Spektrumun tepesinin dalga boyu iki katına çıkar; delik daha kırmızı görünür.

D) Yayımlanan fotonların ortalama enerjisi değişmez; yalnız fotonların sayısı artar.

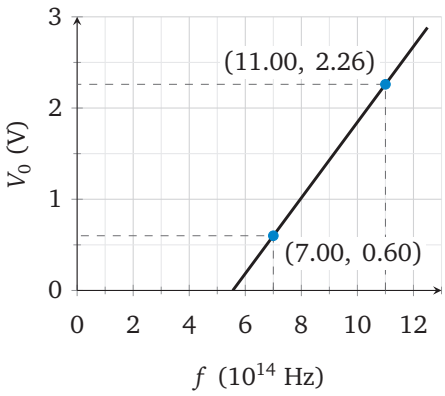
E) Klasik fiziğe göre de toplam güç sonlu ve T^4 ile orantılıdır; Planck yasası yalnız orantı katsayısını düzeltir.

Fotoelektrik olay

3.5 ★★☆ Çözüm →

Şekil, bir fotoselde katot metali için ölçülen durdurma potansiyelini ışığın frekansına göre veriyor; ölçülen iki nokta işaretlenmiştir. Bazı metallerin iş fonksiyonları (çıkış işi) şöyledir:

metal	Cs	K	Na	Ca	Mg
ϕ (eV)	1.95	2.29	2.75	2.87	3.66



a. Grafikten h'yi bulunuz; ekteki değerden yüzde kaç farklıdır?

b. Katodun iş fonksiyonunu, eşik frekansını ve eşik dalga boyunu bulunuz. Katot hangi metal olabilir?

c. Katot magnezyumla değiştirilirse V_0–f doğrusu nasıl olur? Grafiğe çiziniz (ekteki h'yi kullanınız) ve eşik dalga boyunu bulunuz.

d. Dalga boyları 405 nm, 450 nm ve 650 nm olan üç lazerden hangileri b'deki metalden (tablodaki değerle) ve magnezyumdan elektron koparır? Koparanlar için K_{maks}'ı bulunuz.

7. ÜNİTE

BASAMAK, ENGEL VE TÜNELLEME

dalga sayıları $k = \dfrac{\sqrt{2mE}}{\hbar}, \quad \kappa = \dfrac{\sqrt{2m(U_0 - E)}}{\hbar}$

basamak, $E > U_0$ $\quad R = \left(\dfrac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2}\right)^2$

$\quad T = \dfrac{4k_1k_2}{(k_1 + k_2)^2}, \quad R + T = 1$

basamak, $E < U_0$ $\quad R = 1, \quad \psi \propto e^{-\kappa x}\ (x > 0)$

geçme katsayısı $\quad T = \dfrac{|\psi_{\text{geçen}}|^2 v_{\text{geçen}}}{|\psi_{\text{gelen}}|^2 v_{\text{gelen}}}$

engel, $E < U_0$ (tam) $\quad T = \left[1 + \dfrac{U_0^2 \sinh^2(\kappa L)}{4E(U_0 - E)}\right]^{-1}$

kalın engel, $\kappa L \gg 1$ $\quad T \approx 16 \dfrac{E}{U_0}\left(1 - \dfrac{E}{U_0}\right) e^{-2\kappa L}$

engel, $E > U_0$ (tam) $\quad T = \left[1 + \dfrac{U_0^2 \sin^2(k' L)}{4E(E - U_0)}\right]^{-1}$

$\quad k' = \dfrac{\sqrt{2m(E - U_0)}}{\hbar}$

tünelleme akımı $\quad I \propto e^{-2\kappa d}$

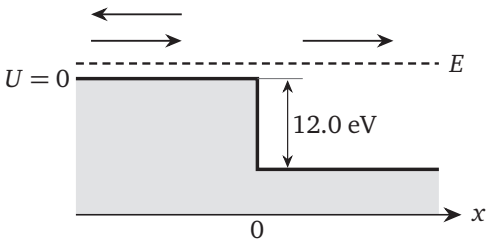
Basamakta ya da engelde parçacık soldan gelir; T ve R, gelen parçacıkların geçen ve yansıyan kesirleridir. Geçme katsayısında (geçirim katsayısı) dalga fonksiyonunun genliğinin karesi parçacığın hızıyla çarpılır: iki yanda hız farklıysa $|C/A|^2$ tek başına T değildir. Engelin iki yanında potansiyel aynıysa geçen parçacığın enerjisi ve dalga boyu gelenle aynıdır. $E < U_0$ olan bölge klasik olarak yasak bölgedir; orada ψ salınmaz, $e^{\pm\kappa x}$ biçimindedir. Kalın engel yaklaşıklığı κL birkaç birimden büyükken kullanılır; hangi ifadenin kullanıldığı her çözümde yazılır. Elektron için $\hbar c = 197.3$ eV·nm ve $mc^2 = 0.5110$ MeV ile $\kappa = \sqrt{2mc^2(U_0 - E)}/(\hbar c)$.

Basamak potansiyeli

7.2

★☆☆ Çözüm →

Kinetik enerjisi 2.00 eV olan elektronlar soldan, $x = 0$'da potansiyel enerjinin aniden 12.0 eV düştüğü bir bölgeye geliyor (şekil).



a. Elektronun basamağın iki yanındaki dalga sayısını ve de Broglie dalga boyunu bulunuz.

b. Elektronların yüzde kaçı yansır, yüzde kaçı geçer?

c. Kinetik enerjisi 14.0 eV olan elektronlar aynı basamağa sağdan gelseydi yansıma katsayısı ne olurdu?

Dikdörtgen engel

7.6 ★★★ Çözüm →

Bir elektron, yüksekliği $U_0 = 3.00$ eV, genişliği $L = 0.600$ nm olan dikdörtgen bir engele geliyor.

a. $E < U_0$ için verilen tam geçme katsayısında $E \to U_0$ limitini alarak

$$T(E = U_0) = \left[1 + \frac{mU_0L^2}{2\hbar^2}\right]^{-1}$$

olduğunu gösteriniz ve bu engel için hesaplayınız. Klasik fizik bu enerjide ne öngörür?

b. $E > U_0$ için tam ifadeye göre $T = 1$ olan (engelin tamamen saydam olduğu) enerjilerin koşulunu yazınız. Bu koşulu sağlayan en küçük iki enerjiyi bulunuz.

c. $0 < E < 8$ eV aralığında $T(E)$ grafiğini nitel olarak çiziniz; a ve b'deki noktaları grafikte gösteriniz.

13. ÜNİTE
ÇEKİRDEK FİZİĞİ

çekirdek yarıçapı $R = R_0 A^{1/3}, \quad R_0 \approx 1.2\ \text{fm}$

bağlanma enerjisi $B = \left[Z m_{\text{H}} + N m_n - M(A,Z)\right]c^2$

ayırma enerjisi

$S_n = \left[M(A-1,Z) + m_n - M(A,Z)\right]c^2$

kütle formülü $B = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C \dfrac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_A \dfrac{(A-2Z)^2}{A} \pm \delta$

tepkime enerjisi $Q = \left(\sum M_{\text{ilk}} - \sum M_{\text{son}}\right)c^2$

bozunma yasası $N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad R = \lambda N = R_0 e^{-\lambda t}$

yarı ömür, ortalama ömür $T_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\lambda}, \quad \tau = \dfrac{1}{\lambda}$

$N = N_0\, 2^{-t/T_{1/2}}$

α $Q = \left[M_P - M_D - M(^4\text{He})\right]c^2$

β^-, EY $Q = (M_P - M_D)\,c^2$

β^+ $Q = (M_P - M_D - 2m_e)\,c^2$

aktiflik birimi $1\ \text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}\ \text{Bq}$

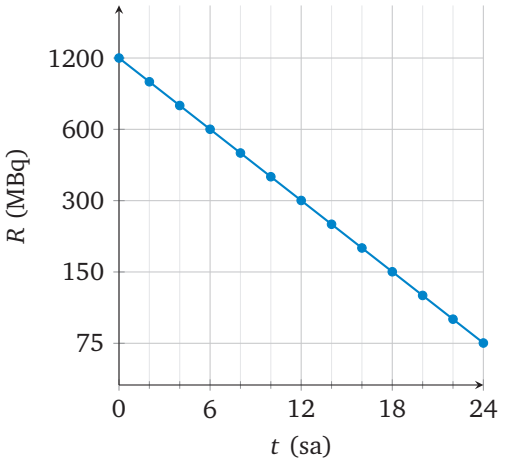
Kütleler nötr atomun kütleleridir; m_{H} hidrojen atomunun kütlesidir, böylece elektron kütleleri $Z m_{\text{H}}$ ile $M(A,Z)$ arasında birbirini götürür. M_P ana, M_D ürün (kız) atomun kütlesidir; β^+ bozunmasındaki $2m_e$ terimi bu atom kütlesi seçiminden gelir. $1\ \text{u} = 931.5\ \text{MeV}/c^2$. Bir çekirdeğin bozunma olasılığı yaşına bağlı değildir; bu yüzden aktiflik (aktivite) üstel azalır. Ana çekirdeğin yarı ömrü ürününkinden çok uzunsa uzun süre sonra iki aktiflik eşitlenir (sürekli denge).

Radyoaktif bozunma yasası

13.9

★★☆ Çözüm →

Tıbbi görüntülemede kullanılan $^{99\text{m}}$Tc (teknesyumun uyarılmış, yarı kararlı durumu) gama ışını yayımlayarak taban durumuna geçer. Hazırlanan bir dozun aktifliği iki saatte bir ölçülmüş ve logaritmik ölçekli eksende şekildeki gibi işaretlenmiştir.



a. Noktaların logaritmik eksende bir doğru üzerinde olması ne anlama gelir? Yarı ömrü grafikten okuyunuz.

b. Bozunma sabitini ve ortalama ömrü bulunuz.

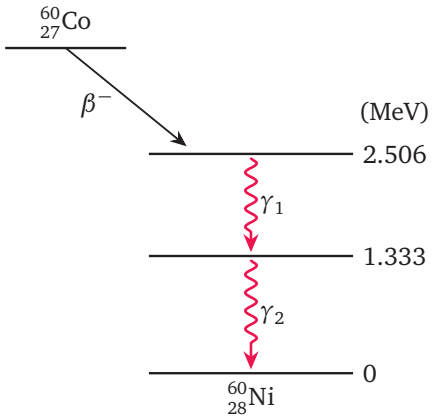
c. Hasta 400 MBq alacaksa enjeksiyon hazırlıktan kaç saat sonra yapılmalıdır? Hazırlık anında dozdaki $^{99\text{m}}$Tc çekirdeği sayısı kaçtır?

Karma sorular

13.14

★★★ Çözüm →

Kanser tedavisinde kullanılan bir ^{60}Co kaynağının aktifliği 4.00×10^{14} Bq'dir. Şekildeki bozunma şemasında ^{60}Co, β^- bozunmasıyla ^{60}Ni çekirdeğinin 2.506 MeV'luk uyarılmış düzeyine geçer; bu düzey iki gama ışını yayımlayarak taban durumuna iner. Bir β^- bozunmasında elektronların ortalama kinetik enerjisi 0.0958 MeV'tur.



a. Bozunmanın Q değerini ekteki kütlelerle bulunuz. Elektronların en büyük kinetik enerjisi ve iki gama ışınının enerjileri kaçtır?

b. Kaynaktaki ^{60}Co çekirdeklerinin sayısını ve kütlesini bulunuz.

c. Kaynağın gama ışınları olarak yayımladığı gücü ve kapsülde soğurulan elektronların ürettiği ısıl gücü hesaplayınız. Aynı ışınım dozu için gereken tedavi süresi 2.00 yıl sonra kaç katına çıkar?

ÇÖZÜMLER

3 IŞIĞIN PARÇACIK ÖZELLİĞİ

3.1

← Soru

Wien yasasına göre $\lambda_{\text{maks}} \propto 1/T$; Planck yasasında T arttıkça her λ'da $e^{hc/\lambda k_B T}$ küçülür, yani $I(\lambda, T)$ büyür. Farklı sıcaklıkların Planck eğrileri hiç kesişmez. Tepe $\lambda_{\text{maks}}/2$'ye kayar. **B** doğrudur.

- (A): $I = \sigma T^4$; sıcaklık iki katına çıkınca toplam güç $2^4 = 16$ katına çıkar.
- (C): Wien yasasının yönü ters alınmıştır. Sıcak cisim daha kısa dalga boylarında ışınım yayımlar; renk kırmızıdan beyaza, maviye doğru kayar.
- (D): Fotonların tipik enerjisi T ile orantılıdır (tepede $hc/\lambda_{\text{maks}} = 4.965\,k_B T$); ortalama foton enerjisi de iki katına çıkar. Güç 16 katına çıktığına göre foton sayısı 8 katına çıkar.
- (E): Klasik kuram (Rayleigh–Jeans) kısa dalga boylarında $I(\lambda, T) \propto T/\lambda^4$ verir; bu ifadenin integrali sonsuzdur (morötesi felaketi). Sonlu güç ve T^4 bağımlılığı ancak enerjinin kuantumlu olduğu Planck yasasıyla elde edilir.

CEVAP B

3.5

← Soru

$eV_0 = hf - \phi$ ifadesi $V_0 = (h/e)f - \phi/e$ doğrusudur: eğim h/e, doğrunun f eksenini kestiği yer eşik frekansıdır.

a. İki noktadan eğim:

$$\frac{h}{e} = \frac{2.26 - 0.60}{(11.00 - 7.00)\times 10^{14}} = 4.150 \times 10^{-15}\ \text{V·s}$$

$$h = (4.150 \times 10^{-15})(1.602 \times 10^{-19})$$

$$h = 6.6483 \times 10^{-34} \approx 6.65 \times 10^{-34}\ \text{J·s}$$

$$\frac{6.6483 - 6.626}{6.626} = 0.0034$$

Ölçülen değer ektekinden yaklaşık %0.3 büyüktür.

b. Birinci nokta doğru denklemine konursa (ϕ eV ile):

$$\phi = \frac{h}{e} f_1 - V_1 = (4.150 \times 10^{-15})(7.00 \times 10^{14}) - 0.60$$

$$\phi = 2.905 - 0.60 = 2.305 \approx 2.31\ \text{eV}$$

$$f_0 = \frac{\phi}{h/e} = \frac{2.305}{4.150 \times 10^{-15}}$$

$$f_0 = 5.554 \times 10^{14} \approx 5.55 \times 10^{14}\ \text{Hz}$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{2.998 \times 10^8}{5.554 \times 10^{14}} = 5.398 \times 10^{-7}\ \text{m} \approx 540\ \text{nm}$$

Tabloda 2.31 eV'a en yakın değer potasyumunkidir (2.29 eV); katot potasyum olabilir.

c. Eğim h/e metale bağlı değildir; magnezyum doğrusu potasyumunkine paraleldir ve sağa kaymıştır. f eksenini kestiği yer:

$$f_0 = \frac{\phi}{h} = \frac{3.66}{4.136 \times 10^{-15}} = 8.849 \times 10^{14}\ \text{Hz}$$

Doğru $f = 8.85 \times 10^{14}$ Hz'ten başlar ve grafiğin sağ kenarında ($f = 12 \times 10^{14}$ Hz) $V_0 = 1.30$ V'a ulaşır.

$$\lambda_0 = \frac{hc}{\phi} = \frac{1240}{3.66} = 338.8 \approx 339\ \text{nm}$$

d. Foton enerjileri $E = 1240/\lambda$:

$$E_{405} = 3.062\ \text{eV}, \quad E_{450} = 2.756\ \text{eV}, \quad E_{650} = 1.908\ \text{eV}$$

Potasyum ($\phi = 2.29$ eV): 650 nm eşiğin altındadır, elektron koparmaz;

$$K_{\text{maks}}(405) = 3.062 - 2.29 = 0.772\ \text{eV}$$

$$K_{\text{maks}}(450) = 2.756 - 2.29 = 0.466\ \text{eV}$$

Magnezyum ($\phi = 3.66$ eV, eşik 339 nm): üç fotonun enerjisi de 3.66 eV'tan küçüktür; hiçbiri elektron koparmaz. Magnezyum için morötesi ışık gerekir.

CEVAP **a.** $h = 6.65 \times 10^{-34}$ J·s (%0.3 büyük) **b.** $\phi = 2.31$ eV, $f_0 = 5.55 \times 10^{14}$ Hz, $\lambda_0 = 540$ nm; potasyum **c.** paralel doğru, $f_0 = 8.85 \times 10^{14}$ Hz, $\lambda_0 = 339$ nm **d.** K: 405 nm (0.772 eV), 450 nm (0.466 eV); Mg: hiçbiri

ertansinansahin.com

7 BASAMAK, ENGEL VE TÜNELLEME

7.2

← Soru

Basamakta ψ ve $d\psi/dx$ sürekli olmalıdır; bu koşullar, $E > U$ olan her iki bölgede de salınan dalgalar arasında $R = [(k_1 - k_2)/(k_1 + k_2)]^2$ verir. Basamak aşağı da olsa $k_1 \neq k_2$ olduğu için yansıma vardır. **Varsayım:** enerjiler $mc^2 = 511$ keV'ten çok küçük; göreli olmayan bağıntılar.

a. Solda kinetik enerji 2.00 eV, sağda $2.00 + 12.0 = 14.0$ eV:

$$k_1 = \frac{\sqrt{2(511\,000)(2.00)}}{197.3} = \frac{1430}{197.3} = 7.246\ \text{nm}^{-1}$$

$$k_2 = \frac{\sqrt{2(511\,000)(14.0)}}{197.3} = 19.17\ \text{nm}^{-1}$$

$$\lambda_1 = \frac{2\pi}{k_1} = 0.8671 \approx 0.867\ \text{nm}$$

$$\lambda_2 = \frac{2\pi}{k_2} = 0.3277 \approx 0.328\ \text{nm}$$

b. $k_2/k_1 = \sqrt{14.0/2.00} = \sqrt{7} = 2.646$:

$$R = \left(\frac{1 - 2.646}{1 + 2.646}\right)^2 = (-0.4514)^2 = 0.2038 \approx 0.204$$

$$T = 1 - R = 0.796$$

Elektronların yaklaşık %20.4'ü yansır, %79.6'sı geçer; klasik olarak hepsi geçerdi.

c. Sağdan gelen 14.0 eV'luk elektron basamağı geçince 2.00 eV'luk bölgeye çıkar; k_1 ile k_2 yer değiştirir. R ifadesi $(k_1 - k_2)^2$ içerdiğinden değişmez:

$$R = \left(\frac{2.646 - 1}{2.646 + 1}\right)^2 = 0.204$$

Kontrol: yavaş elektronlar bir metal yüzeyine çarptığında da benzer bir durum vardır: metalin içinde potansiyel enerji daha düşüktür ve yavaş elektronların bir kısmı yüzeyden yansır.

CEVAP **a.** $k_1 = 7.246\ \text{nm}^{-1}$, $\lambda_1 = 0.867$ nm; $k_2 = 19.17\ \text{nm}^{-1}$, $\lambda_2 = 0.328$ nm **b.** $R = 0.204$ (%20.4), $T = 0.796$ (%79.6) **c.** $R = 0.204$ (aynı)

7.6

← Soru

$E \to U_0$'da $\kappa \to 0$ olur; $\sinh(\kappa L) \approx \kappa L$ yazılınca sıfıra giden $U_0 - E$ çarpanları sadeleşir. $E > U_0$'da $T = 1$ için $\sin(k'L) = 0$ gerekir: engelin iki kenarından yansıyan dalgalar birbirini söndürür.

a. Küçük κL için $\sinh^2(\kappa L) \approx \kappa^2 L^2 = 2m(U_0 - E)L^2/\hbar^2$:

$$\frac{U_0^2 \sinh^2(\kappa L)}{4E(U_0 - E)} \approx \frac{U_0^2}{4E(U_0 - E)} \cdot \frac{2m(U_0 - E)L^2}{\hbar^2} = \frac{mU_0^2 L^2}{2\hbar^2 E}$$

$E = U_0$'da bu $mU_0L^2/(2\hbar^2)$ olur; istenen ifade bulunur. Sayısal olarak:

$$\frac{mU_0L^2}{2\hbar^2} = \frac{mc^2 U_0 L^2}{2(\hbar c)^2} = \frac{(511\,000)(3.00)(0.600)^2}{2(197.3)^2}$$

$$\frac{mU_0L^2}{2\hbar^2} = \frac{551\,880}{77\,855} = 7.089$$

$$T = \frac{1}{1 + 7.089} = 0.1236$$

Klasik fizikte $E = U_0$ sınır durumudur: enerji biraz küçük olsa parçacık geri döner ($T = 0$), biraz büyük olsa geçer ($T = 1$). Kuantumda ise $E = U_0$'da elektronların yalnız %12.4'ü geçer ve T enerjiyle sürekli değişir.

b. $T = 1$ için $\sin(k'L) = 0$, yani $k'L = n\pi$ $(n = 1, 2, \ldots)$:

$$E - U_0 = \frac{n^2\pi^2\hbar^2}{2mL^2} = n^2 \frac{\pi^2(197.3)^2}{2(511\,000)(0.600)^2}$$

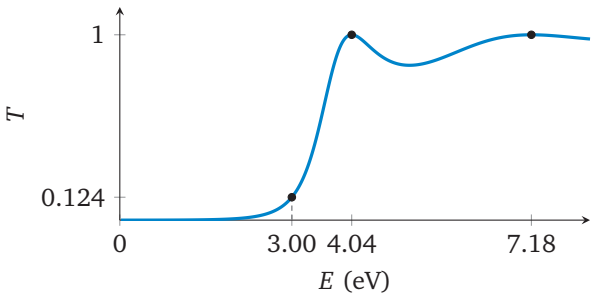
$$E - U_0 = n^2(1.044\ \text{eV})$$

$$E_1 = 3.00 + 1.044 = 4.044 \approx 4.04\ \text{eV}$$

$$E_2 = 3.00 + 4(1.044) = 7.177 \approx 7.18\ \text{eV}$$

Bu enerjilerde engelin içine tam sayıda yarım dalga boyu sığar ($L = n\lambda'/2$).

c. $E \to 0$'da $T \to 0$; $E < U_0$'da T üstel olarak artar (örneğin 1 eV'ta T yaklaşık 6×10^{-4}) ve $E = U_0$'da 0.124'e ulaşır. $E > U_0$'da T hızla artıp 4.04 eV'ta 1 olur, sonra biraz düşer (yaklaşık 5.05 eV'ta en küçük değeri 0.84 kadardır), 7.18 eV'ta yeniden 1 olur. Enerji büyüdükçe salınımlar küçülür ve $T \to 1$ olur.



CEVAP **a.** $T = 0.1236$ (klasik: sınır durumu) **b.** $k'L = n\pi$; $E_1 = 4.04$ eV, $E_2 = 7.18$ eV **c.** grafik: T üstel artar, $E = U_0$'da 0.124, 4.04 ve 7.18 eV'ta 1

ertansinansahin.com

13 ÇEKİRDEK FİZİĞİ

13.9

← Soru

$\ln R = \ln R_0 - \lambda t$: logaritmik eksende üstel azalma bir doğrudur; aktifliğin yarıya indiği süre her yerde aynıdır.

a. Doğru, aktifliğin sabit bir yarı ömürle üstel azaldığını gösterir. $t = 0$'da $R = 1200$ MBq; 600 MBq'e $t \approx 6.0$ saatte, 300 MBq'e $t \approx 12$ saatte iner: $T_{1/2} \approx 6.0$ saat.

b. Bozunma sabiti ve ortalama ömür:

$$\lambda = \frac{0.6931}{6.0\ \text{sa}} = 0.1155\ \text{sa}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{0.1155}{3600\ \text{s}} = 3.209 \times 10^{-5} \approx 3.21 \times 10^{-5}\ \text{s}^{-1}$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.1155} = 8.66\ \text{sa}$$

c. 1200 MBq'ten 400 MBq'e inmek için $2^{-t/T_{1/2}} = 1/3$:

$$t = T_{1/2} \log_2 3 = 6.0\,(1.585) = 9.51\ \text{sa}$$

Bu süre 300 ile 600 MBq çizgilerine karşılık gelen 6 ve 12 saat arasındadır, tutarlıdır. Hazırlık anındaki çekirdek sayısı:

$$N_0 = \frac{R_0}{\lambda} = \frac{1.200 \times 10^{9}}{3.209 \times 10^{-5}} = 3.739 \times 10^{13} \approx 3.74 \times 10^{13}$$

Kontrol: bir gün (4 yarı ömür) sonra dozun 1/16'sı kalır; kısa yarı ömür hastanın aldığı toplam dozu küçük tutar. Ölçülen yarı ömür 6.007 saattir.

CEVAP **a.** üstel bozunma; $T_{1/2} \approx 6.0$ sa **b.** $\lambda = 3.21 \times 10^{-5}\ \text{s}^{-1}$, $\tau = 8.66$ sa **c.** $t = 9.51$ sa; $N_0 = 3.74 \times 10^{13}$

13.14

← Soru

β^- bozunmasının Q'su, elektronun ve antinötrinonun kinetik enerjileri ile ürün çekirdeğin uyarılma enerjisi arasında paylaşılır; uyarılmış düzey de enerjisini gama ışınlarıyla verir.

a. β^- için atom kütleleri farkı:

$$Q = (59.933816 - 59.930785)\,(931.5) = 2.823\ \text{MeV}$$

$$K_{\text{maks}} = Q - 2.506 = 0.317\ \text{MeV}$$

$$E_{\gamma_1} = 2.506 - 1.333 = 1.173\ \text{MeV}$$

$$E_{\gamma_2} = 1.333\ \text{MeV}$$

b. Ekten $T_{1/2} = 5.271$ yıl:

$$\lambda = \frac{0.6931}{5.271\,(3.156 \times 10^{7})} = 4.167 \times 10^{-9}\ \text{s}^{-1}$$

$$N = \frac{4.00 \times 10^{14}}{4.167 \times 10^{-9}} = 9.600 \times 10^{22} \approx 9.60 \times 10^{22}$$

$$m = \frac{9.600 \times 10^{22}}{6.022 \times 10^{23}}\,(59.934) = 9.554 \approx 9.55\ \text{g}$$

c. Her bozunmada iki gama ışınının toplam enerjisi 2.506 MeV'tur:

$$P_\gamma = (4.00 \times 10^{14})(2.506 \times 10^{6})(1.602 \times 10^{-19})$$

$$P_\gamma = 160.6 \approx 161\ \text{W}$$

$$P_\beta = (4.00 \times 10^{14})(0.0958 \times 10^{6})(1.602 \times 10^{-19})$$

$$P_\beta = 6.14\ \text{W}$$

Doz hızı aktiflikle orantılıdır; aynı doz için süre $1/R$ ile orantılıdır:

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{R_0}{R} = 2^{2.00/5.271} = 1.301 \approx 1.30$$

Kontrol: bozunma başına ortalama enerjinin geri kalanı ($2.823 - 2.506 - 0.0958 = 0.221$ MeV) antinötrinoyla kaynaktan çıkıp gider; bu enerji ne ısıya ne doza katkı yapar.

CEVAP **a.** $Q = 2.823$ MeV; $K_{\text{maks}} = 0.317$ MeV; $E_\gamma = 1.173,\ 1.333$ MeV **b.** $N = 9.60 \times 10^{22}$, $m = 9.55$ g **c.** $P_\gamma = 161$ W, $P_\beta = 6.14$ W; 1.30 katı

ertansinansahin.com

KİTABIN TAMAMINDA

- 14 ünite, 172 soru ve hepsinin adım adım çözümü.
- Her ünitenin başında, soruların dayandığı bağıntıları özetleyen hatırlatma kutusu.
- Temel, orta ve ileri düzeyde sorular; her sorunun altında kendi çözümünüz için noktalı alan.
- Sorudan çözüme, çözümden soruya tek tıkla geçiş.
- Kitabın sonunda kendi hazırladığımız ek: CODATA 2022 fiziksel sabitleri, 90 çekirdeğin atom kütlesi ve yarı ömür tablosu (AME2020/NUBASE2020), elektron dizilimleri ve matematik yardımcıları (integraller, harmonik osilatör ve hidrojen dalga fonksiyonları).

ertansinansahin.com