

Zadatak 061 (Vlado, maturant)

Za vrijeme jednog dana aktivnost uzorka smanji se od 320 GBq na 20 GBq. Koliki je period poluraspada atoma uzorka?

Rješenje 061

$$t = 1 \text{ dan} = 24 \text{ h}, \quad A_0 = 320 \text{ GBq}, \quad A = 20 \text{ GBq}, \quad T_{1/2} = ?$$

Aktivnost je brzina kojom se raspada radioaktivni nuklid. To je broj raspada u jedinici vremena. Jedinica aktivnosti je bekerel ($\text{Bq} = \text{s}^{-1}$). Jedan bekerel jedan je raspad u sekundi.

Aktivnost radioaktivnog uzorka:

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}},$$

gdje je A_0 aktivnost uzorka u početnom trenutku, $t = 0$, a A aktivnost u trenutku t .

Iz relacije

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

slijedi:

$$\begin{aligned} A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \quad /: A_0 &\Rightarrow \frac{A}{A_0} = 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \Rightarrow \frac{20 \text{ GBq}}{320 \text{ GBq}} = 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \Rightarrow \frac{1}{16} = 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \Rightarrow \frac{1}{2^4} = 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \Rightarrow \\ &\Rightarrow 2^{-4} = 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \Rightarrow -4 = -\frac{t}{T_{1/2}} \Rightarrow \frac{t}{T_{1/2}} = 4 \Rightarrow t = 4 \cdot T_{1/2} \Rightarrow T_{1/2} = \frac{t}{4} = \frac{24 \text{ h}}{4} = 6 \text{ h}. \end{aligned}$$

Vježba 061

Za vrijeme jednog dana aktivnost uzorka smanji se od 160 GBq na 10 GBq. Koliki je period poluraspada atoma uzorka?

Rezultat: 6 h.

Zadatak 062 (Nena, gimnazija)

Uzorak sadrži radioaktivni izotop ^{32}P . Kolika je masa toga izotopa, ako je aktivnost uzorka $2.22 \cdot 10^8 \text{ Bq}$? Vrijeme poluraspada izotopa ^{32}P je 14.3 dana, Avogadrov broj $6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, a molna masa uzorka 32 g/mol.

Rješenje 062

$$A = 2.22 \cdot 10^8 \text{ Bq}, \quad T_{1/2} = 14.3 \text{ dana} = [14.3 \cdot 24 \cdot 3600] = 1.23552 \cdot 10^6 \text{ s}, \\ N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}, \quad M = 32 \text{ g/mol} = 0.032 \text{ kg/mol}, \quad m = ?$$

Molna masa M jest

$$M = \frac{m}{n},$$

gdje je m masa tvari, a n množina ili količina tvari.

Jedan mol bilo koje tvari sadrži jednak broj jedinki (molekula, atoma i sl.), i to $6.022 \cdot 10^{23}$, što je brojčana vrijednost Avogadrove konstante $N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Ako je N ukupan broj jedinki, tada vrijedi:

$$\left. \begin{aligned} M &= \frac{m}{n} \\ N &= n \cdot N_A \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} m &= M \cdot n \\ n &= \frac{N}{N_A} \end{aligned} \right\} \Rightarrow m = M \cdot \frac{N}{N_A} \Rightarrow m = \frac{M \cdot N}{N_A}.$$

Aktivnost je brzina kojom se raspada radioaktivni nuklid. To je broj raspada u jedinici vremena.

Ako je A aktivnost radioaktivnog uzorka, tada je:

$$\left. \begin{array}{l} A = \lambda \cdot N \\ \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} N = \frac{A}{\lambda} \\ \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \end{array} \right\} \Rightarrow N = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2}.$$

Masa izotopa iznosi:

$$\left. \begin{array}{l} m = \frac{M \cdot N}{N_A} \\ N = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2} \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} m = \frac{M}{N_A} \cdot N \\ N = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2} \end{array} \right\} \Rightarrow m = \frac{M}{N_A} \cdot \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{0.032 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{6.022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}} \cdot \frac{2.22 \cdot 10^8 \text{ Bq} \cdot 1.23552 \cdot 10^6 \text{ s}}{\ln 2} =$$

$$= 2.1027 \cdot 10^{-11} \text{ kg}$$

Vježba 062

Uzorak sadrži radioaktivni izotop ^{32}P . Kolika je masa toga izotopa, ako je aktivnost uzorka $4.44 \cdot 10^8 \text{ Bq}$? Vrijeme poluraspada izotopa ^{32}P je 14.3 dana, Avogadrov broj $6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, a molna masa uzorka 32 g/mol.

Rezultat: $4.2055 \cdot 10^{-11} \text{ kg}$.

Zadatak 063 (Miočanka, gimnazija)

Radiopostaja emitira EM valove frekvencije 1MHz. Snaga odašiljača je 1000 kW. Koliko se fotona emitira tijekom jednog perioda titranja EM polja? Usporedite taj broj s brojem zrnaca pijeska na plaži dužoj 100m, širokoj 20 m, ako je sloj pijeska dubok 1 m. U 1 mm^3 pijeska nalazi se 5 zrnaca. ($h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$)

Rješenje 063

$$\nu = 1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz} \Rightarrow T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{10^6 \text{ Hz}} = 10^{-6} \text{ s}, \quad P = 1000 \text{ kW} = 10^6 \text{ W}, \quad a = 100 \text{ m},$$

$$b = 20 \text{ m}, \quad c = 1 \text{ m}, \quad N = 5 \frac{1}{\text{mm}^3} = 5 \cdot 10^9 \frac{1}{\text{m}^3}, \quad h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}, \quad n_f : n_p = ?$$

Između frekvencije ν i perioda T postoji veza:

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

Svjetlost frekvencije ν može se emitirati ili apsorbirati samo u određenim količinama energije, takozvanim kvantima energije. Svaki kvant ili foton ima energiju

$$E = h \cdot \nu,$$

gdje je h Planckova konstanta koja ima vrijednost $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, a ν frekvencija svjetlosti.

Brzinu rada izražavamo snagom. Snaga P jednaka je omjeru rada W i vremena t za koje je rad obavljen, tj.

$$P = \frac{W}{t}.$$

Kad tijelo obavlja rad, mijenja mu se energija. Promjena energije jednaka je utrošenom radu. Računamo broj fotona n_f emitiran tijekom jednog perioda T titranja elektromagnetskog polja.

$$\left. \begin{array}{l} E = n_f \cdot h \cdot \nu, \quad W = E \\ P = \frac{W}{T} \end{array} \right\} \Rightarrow P = \frac{n_f \cdot h \cdot \nu}{T} \Rightarrow P = \frac{n_f \cdot h \cdot \frac{1}{T}}{T} \Rightarrow P = \frac{n_f \cdot h}{T^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P \cdot T^2 = n_f \cdot h \Rightarrow n_f = \frac{P \cdot T^2}{h}.$$

Broj zrnaca pijeska n_p koji se nalaze na plaži iznosi:

$$\left. \begin{aligned} V &= a \cdot b \cdot c \text{ obujam kvadra} \\ n_p &= V \cdot N \end{aligned} \right\} \Rightarrow n_p = a \cdot b \cdot c \cdot N.$$

Gledamo omjer broja fotona n_f i broja zrnaca pijeska n_p :

$$\frac{n_f}{n_p} = \frac{\frac{P \cdot T^2}{h}}{a \cdot b \cdot c \cdot N} \Rightarrow \frac{n_f}{n_p} = \frac{P \cdot T^2}{a \cdot b \cdot c \cdot N \cdot h} = \frac{10^6 \text{ W} \cdot (10^{-6} \text{ s})^2}{100 \text{ m} \cdot 20 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 5 \cdot 10^9 \frac{1}{\text{m}^3} \cdot 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} = 1.509 \cdot 10^{14} \approx 15 \cdot 10^{13}.$$

Vježba 063

Radiopostaja emitira EM valove frekvencije 1MHz. Snaga odašiljača je 2000 kW. Koliko se fotona emitira tijekom jednog perioda titranja EM polja? Usporedite taj broj s brojem zrnaca pijeska na plaži dugoj 100m, širokoj 20 m, ako je sloj pijeska dubok 2 m. U 1 mm³ pijeska nalazi se 5 zrnaca.

Rezultat: Fotona ima $15 \cdot 10^{13}$ puta više od zrnaca pijeska.

Zadatak 064 (Miočanka, gimnazija)

Temperatura na površini Sunca je oko 5800 K, a valna duljina fotona na kojoj je intenzitet zračenja najveći iznosi oko 500 nm. Kolika je temperatura na površini neke druge zvijezde na kojoj je intenzitet zračenja maksimalan za svjetlost valne duljine 475 nm?

Rješenje 064

$$T_1 = 5800 \text{ K}, \quad \lambda_{m1} = 500 \text{ nm}, \quad \lambda_{m2} = 475 \text{ nm}, \quad T_2 = ?$$

Prema Wienovu (Vin) zakonu umnožak apsolutne temperature T i valne duljine λ_m kojoj pripada najveća energija zračenja u spektru apsolutno crnog tijela jednak je stalnoj veličini, tj.

$$\lambda_m \cdot T = C = 2.897 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}.$$

Temperatura T_2 iznosi:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{m1} \cdot T_1 &= C \\ \lambda_{m2} \cdot T_2 &= C \end{aligned} \right\} \Rightarrow \lambda_{m1} \cdot T_1 = \lambda_{m2} \cdot T_2 \Rightarrow T_2 = \frac{\lambda_{m1} \cdot T_1}{\lambda_{m2}} = \frac{500 \text{ nm} \cdot 5800 \text{ K}}{475 \text{ nm}} = 6105 \text{ K}.$$

Vježba 064

Temperatura na površini Sunca je oko 5800 K, a valna duljina fotona na kojoj je intenzitet zračenja najveći iznosi oko 500 nm. Kolika je temperatura na površini neke druge zvijezde na kojoj je intenzitet zračenja maksimalan za svjetlost valne duljine 450 nm?

Rezultat: 6444 K.

Zadatak 065 (Miočanka, gimnazija)

Monokromatski snop svjetlosti upada na metalnu foliju koja se nalazi u magnetnom polju indukcije $1.5 \cdot 10^{-4} \text{ T}$. Polumjer zakrivljenosti putanje koju opisuje fotoelektron u ravnini okomitoj na smjer magnetnog polja je 1.4 cm. Izračunajte valnu duljinu upadne svjetlosti ako je granična valna duljina za taj metal 275 nm. (naboj elektrona $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, masa elektrona $m = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, Planckova konstanta $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

Rješenje 065

$$B = 1.5 \cdot 10^{-4} \text{ T}, \quad r = 1.4 \text{ cm} = 1.4 \cdot 10^{-2} \text{ m}, \quad \lambda_g = 275 \text{ nm} = 275 \cdot 10^{-9} \text{ m}, \\ e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \quad m = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}, \quad h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}, \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}, \quad \lambda = ?$$

Jednadžba koja povezuje brzinu širenja vala v , valnu duljinu λ i frekvenciju ν elektromagnetskog vala može se prikazati u istom obliku kao i za mehaničke valove:

$$v = \lambda \cdot \nu.$$

Ako je $v = c$, slijedi

$$c = \lambda \cdot \nu.$$

Energija čestice koja izleti iz ciklotrona jest

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{e^2}{m} \cdot B^2 \cdot r^2 \Rightarrow E_k = \frac{(e \cdot B \cdot r)^2}{2 \cdot m},$$

gdje je e naboj čestice, m masa čestice, B magnetska indukcija, r polumjer kružne staze čestice. Jednadžba fotoelektričnog učinka može se pisati na ovaj način:

$$E_k = h \cdot (\nu - \nu_g) \Rightarrow E_k = h \cdot \left(\frac{c}{\lambda} - \frac{c}{\lambda_g} \right) \Rightarrow E_k = h \cdot c \cdot \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_g} \right).$$

Valna duljina upadne svjetlosti iznosi:

$$\left. \begin{aligned} E_k &= h \cdot c \cdot \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_g} \right) \\ E_k &= \frac{(e \cdot B \cdot r)^2}{2 \cdot m} \end{aligned} \right\} \Rightarrow h \cdot c \cdot \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_g} \right) = \frac{(e \cdot B \cdot r)^2}{2 \cdot m} \Rightarrow h \cdot c \cdot \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_g} \right) = \frac{(e \cdot B \cdot r)^2}{2 \cdot m} \cdot \frac{1}{h \cdot c} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_g} = \frac{(e \cdot B \cdot r)^2}{2 \cdot m \cdot h \cdot c} \Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{(e \cdot B \cdot r)^2}{2 \cdot m \cdot h \cdot c} + \frac{1}{\lambda_g} \Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{\lambda_g \cdot (e \cdot B \cdot r)^2 + 2 \cdot m \cdot h \cdot c}{2 \cdot m \cdot h \cdot c \cdot \lambda_g} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{2 \cdot m \cdot h \cdot c \cdot \lambda_g}{\lambda_g \cdot (e \cdot B \cdot r)^2 + 2 \cdot m \cdot h \cdot c} = \left[\begin{array}{l} \text{brojnik i nazivnik} \\ \text{dijelimo sa } 2 \cdot m \cdot h \cdot c \cdot \lambda_g \end{array} \right] \Rightarrow \lambda = \frac{1}{\frac{(e \cdot B \cdot r)^2}{2 \cdot m \cdot h \cdot c} + \frac{1}{\lambda_g}}$$

$$= \frac{1}{\frac{(1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1.5 \cdot 10^{-4} \text{ T} \cdot 1.4 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2}{2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + \frac{1}{275 \cdot 10^{-9} \text{ m}}} = 253 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 253 \text{ nm}.$$

Vježba 065

Monokromatski snop svjetlosti upada na metalnu foliju koja se nalazi u magnetnom polju indukcije 0.15 mT. Polumjer zakrivljenosti putanje koju opisuje fotoelektron u ravnini okomitoj na smjer magnetnog polja je 14 mm. Izračunajte valnu duljinu upadne svjetlosti ako je granična valna duljina za taj metal 275 nm. (naboj elektrona $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, masa elektrona $m = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, Planckova konstanta $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

Rezultat: 253 nm.

Zadatak 066 (Helena, srednja škola)

Kolika je valna duljina neutrona čija je kinetička energija jednaka 0.05 eV? (masa neutrona je $m = 1.675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, Planckova konstanta je $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, naboj elektrona je $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

Rješenje 066

$$E_k = 0.05 \text{ eV} = [0.05 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot \text{V}] = 8.01 \cdot 10^{-21} \text{ J}, \quad m = 1.675 \cdot 10^{-27} \text{ kg},$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}, \quad e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \quad \lambda = ?$$

Tijelo mase m i brzine v ima kinetičku energiju

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2.$$

De Broglie teorijski je došao do zaključka da svaka čestica koja se giba mora imati valna svojstva. Čestici mase m u gibanju brzinom v odgovara valna duljina

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} \Rightarrow v = \frac{h}{m \cdot \lambda}$$

Valna duljina neutrona iznosi:

$$\left. \begin{array}{l} E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\ v = \frac{h}{m \cdot \lambda} \end{array} \right\} \Rightarrow E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(\frac{h}{m \cdot \lambda} \right)^2 \Rightarrow E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \frac{h^2}{m^2 \cdot \lambda^2} \Rightarrow E_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{h^2}{m \cdot \lambda^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{h^2}{m \cdot \lambda^2} \cdot \frac{\lambda^2}{E_k} \Rightarrow \lambda^2 = \frac{h^2}{2 \cdot m \cdot E_k} \cdot \sqrt{\quad} \Rightarrow \lambda = \sqrt{\frac{h^2}{2 \cdot m \cdot E_k}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{\sqrt{h^2}}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_k}} \Rightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_k}} = \frac{6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{\sqrt{2 \cdot 1.675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 8.01 \cdot 10^{-21} \text{ J}}} = 1.28 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Vježba 066

Kolika je valna duljina neutrona čija je kinetička energija jednaka 0.2 eV? (masa neutrona je $m = 1.675 \cdot 10^{-27}$ kg, Planckova konstanta je $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ J · s, naboj elektrona je $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ C)

Rezultat: $6.396 \cdot 10^{-11}$ m.

Zadatak 067 (Nives, gimnazija)

Monokromatski izvor snage 100 W emitira zelenu svjetlost valne duljine 500 nm. Koliko fotona u sekundi izlazi iz izvora? (Planckova konstanta $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ J · s, brzina svjetlosti u vakuumu $c = 3 \cdot 10^8$ m/s)

Rješenje 067

$P = 100$ W, $\lambda = 500$ nm = $5 \cdot 10^{-7}$ m, $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ J · s, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, $n = ?$
Svjetlost frekvencije ν može se emitirati ili apsorbirati samo u određenim količinama energije, takozvanim kvantima energije. Svaki kvant ili foton ima energiju

$$E = h \cdot \nu \Rightarrow E = h \cdot \frac{c}{\lambda},$$

gdje je h Planckova konstanta koja ima vrijednost $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ J · s, c brzina svjetlosti u vakuumu koja ima vrijednost $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, ν frekvencija svjetlosti, a λ valna duljina.

Brzinu rada izražavamo snagom. Snaga P jednaka je omjeru rada W i vremena t za koje je rad obavljen, tj.

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P \cdot t.$$

Kad tijelo obavlja rad, mijenja mu se energija. Promjena energije tijela jednaka je utrošenom radu. Ako slovom n označimo broj fotona koji izlazi iz izvora, slijedi:

$$n \cdot E = W \Rightarrow n \cdot h \cdot \frac{c}{\lambda} = P \cdot t \Rightarrow n \cdot h \cdot \frac{c}{\lambda} = P \cdot t \cdot \frac{\lambda}{h \cdot c} \Rightarrow n = \frac{P \cdot t \cdot \lambda}{h \cdot c} =$$

$$= \frac{100 \text{ W} \cdot 1 \text{ s} \cdot 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2.5 \cdot 10^{20} \text{ fotona.}$$

Vježba 067

Monokromatski izvor snage 200 W emitira zelenu svjetlost valne duljine 500 nm. Koliko fotona u sekundi izlazi iz izvora? (Planckova konstanta $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, brzina svjetlosti u vakuumu $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

Rezultat: $5 \cdot 10^{20}$ fotona.

Zadatak 068 (Davor, gimnazija)

Granična valna duljina svjetlosti pri kojoj se još primjećuje fotoelektrični efekt (učinak) s površine litija iznosi 517 nm. Koliki je rad izlaza litija? (Planckova konstanta $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, brzina svjetlosti u vakuumu $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, naboj elektrona $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

Rješenje 068

$\lambda_g = 517 \text{ nm} = 5.17 \cdot 10^{-7} \text{ m}$, $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$,
 $W = ?$

Kad fotoni energije $E_f = h \cdot \nu$ padnu na neku kovinu, oni uz određene uvjete izbijaju elektrone iz kovine. To je fotoelektrični efekt. Pritom se energija fotona $E_f = h \cdot \nu$ utroši dijelom na izbijanje elektrona iz kovine, a dijelom ta energija prelazi u kinetičku energiju elektrona pa vrijedi:

$$E_f = W + E_{k, \max}$$

gdje je $E_{k, \max}$ kinetička energija izbijenog elektrona, a W izlazni rad. Formula se može i ovako napisati:

$$h \cdot \nu = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + W \Rightarrow h \cdot \frac{c}{\lambda} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + W.$$

Elektronvolt (eV) je jedinica za energiju. Energiju 1 eV dobije čestica nabijena istim električnim nabojem kao što ga ima elektron ($1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) kad prođe električnim poljem razlike potencijala 1 V:

$$1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

Granična valna duljina elektromagnetskog zračenja koje može izazvati fotoelektrični efekt (učinak) je ona koju imaju kvanti svjetlosti čija je energija $h \cdot \nu$ jednaka izlaznom radu W .

Budući da je zadana granična valna duljina svjetlosti, kinetička energija elektrona litija je nula pa vrijedi:

$$\left. \begin{array}{l} h \cdot \frac{c}{\lambda_g} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + W \\ \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow h \cdot \frac{c}{\lambda_g} = W \Rightarrow W = h \cdot \frac{c}{\lambda_g} = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5.17 \cdot 10^{-7} \text{ m}} =$$

$$= 3.84487 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \left[3.84487 \cdot 10^{-19} : 1.6 \cdot 10^{-19} \right] = 2.4 \text{ eV}.$$

Vježba 068

Granična valna duljina svjetlosti pri kojoj se još primjećuje fotoelektrični efekt (učinak) s površine tantala iznosi 297 nm. Koliki je rad izlaza tantala? (Planckova konstanta $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, brzina svjetlosti u vakuumu $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, naboj elektrona $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

Rezultat: 4.2 eV.

Zadatak 069 (Davor, gimnazija)

Pri pokusu za određivanje Planckove konstante dobiveno je da zračenje frekvencije $8 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ izbaci iz metala elektrone energije 25 eV, a zračenje frekvencije $3 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ izbaci iz istog metala elektrone energije 6 eV. Kolika je vrijednost tako dobivene Planckove konstante? (brzina svjetlosti u vakuumu $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, naboj elektrona $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

Rješenje 069

$\nu_1 = 8 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$, $E_{k1} = 25 \text{ eV} = [25 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}] = 4 \cdot 10^{-18} \text{ J}$, $\nu_2 = 3 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$,
 $E_{k2} = 6 \text{ eV} = [6 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}] = 9.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, $h = ?$

Kad fotoni energije $E_f = h \cdot \nu$ padnu na neku kovinu, oni uz određene uvjete izbijaju elektrone iz kovine. To je fotoelektrični efekt. Pritom se energija fotona $E_f = h \cdot \nu$ utroši dijelom na izbijanje elektrona iz kovine, a dijelom ta energija prelazi u kinetičku energiju elektrona pa vrijedi:

$$E_f = W + E_{k, \max}$$

gdje je $E_{k, \max}$ kinetička energija izbijenog elektrona, a W izlazni rad. Formula se može i ovako napisati:

$$h \cdot \nu = E_k + W.$$

Elektronvolt (eV) je jedinica za energiju. Energiju 1 eV dobije čestica nabijena istim električnim nabojem kao što ga ima elektron ($1.6 \cdot 10^{-19}$ C) kad prođe električnim poljem razlike potencijala 1 V:

$$eV = 1.6 \cdot 10^{-19} C \cdot 1 V = 1.6 \cdot 10^{-19} J.$$

Budući da je za isti metal izlazni rad W jednak, slijedi:

$$\left. \begin{array}{l} h \cdot \nu_1 = E_{k_1} + W \\ h \cdot \nu_2 = E_{k_2} + W \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} W = h \cdot \nu_1 - E_{k_1} \\ W = h \cdot \nu_2 - E_{k_2} \end{array} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{metoda} \\ \text{supstitucije} \end{array} \right] \Rightarrow h \cdot \nu_1 - E_{k_1} = h \cdot \nu_2 - E_{k_2} \Rightarrow$$



$$\Rightarrow h \cdot \nu_1 - h \cdot \nu_2 = E_{k_1} - E_{k_2} \Rightarrow h \cdot (\nu_1 - \nu_2) = E_{k_1} - E_{k_2} \quad / \cdot \frac{1}{\nu_1 - \nu_2} \Rightarrow h = \frac{E_{k_1} - E_{k_2}}{\nu_1 - \nu_2} =$$

$$= \frac{4 \cdot 10^{-18} J - 9.6 \cdot 10^{-19} J}{8 \cdot 10^{15} \frac{1}{s} - 3 \cdot 10^{15} \frac{1}{s}} = 6.08 \cdot 10^{-34} J \cdot s.$$

Vježba 069

Pri pokusu za određivanje Planckove konstante dobiveno je da zračenje frekvencije $1.6 \cdot 10^{16}$ Hz izbaci iz metala elektrone energije 50 eV, a zračenje frekvencije $6 \cdot 10^{15}$ Hz izbaci iz istog metala elektrone energije 12 eV. Kolika je vrijednost tako dobivene Planckove konstante? (brzina svjetlosti u vakuumu $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, naboj elektrona $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C)

Rezultat: $6.08 \cdot 10^{-34}$ Js.

Zadatak 070 (Slobodan, gimnazija)

Nikal ${}_{28}^{58}N$ ima atomsku masu $57.93531 \cdot u$. Koliki je defekt mase za tu jezgru? Kolika je energija vezanja nikla? (masa protona $m_p = 1.00783 \cdot u$, masa neutrona $m_n = 1.00867 \cdot u$, brzina svjetlosti u vakuumu $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, naboj elektrona $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C, atomska jedinica mase $u = 1.66054 \cdot 10^{-27}$ kg)

Rješenje 070

$$m_A = 57.93531 \cdot u, \quad m_p = 1.00783 \cdot u, \quad m_n = 1.00867 \cdot u, \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}, \\ e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \quad u = 1.66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}, \quad \Delta m = ?, \quad E_v = ?$$

Elektronvolt (eV) je jedinica za energiju. Energiju 1 eV dobije čestica nabijena istim električnim nabojem kao što ga ima elektron ($1.6 \cdot 10^{-19}$ C) kad prođe električnim poljem razlike potencijala 1 V:

$$eV = 1.6 \cdot 10^{-19} C \cdot 1 V = 1.6 \cdot 10^{-19} J.$$

Atom se sastoji od pozitivno nabijene jezgre i negativno nabijenog elektronskog omotača. Jezgra je sastavljena od dviju vrsta elementarnih čestica: protona i neutrona, koje zajednički zovemo nukleoni.

$$\text{nukleoni} = \text{protoni} + \text{neutroni}$$

Uvodimo oznake:

A – maseni broj jezgre, ukupni broj nukleona, zbroj protona i neutrona

Z – redni broj elementa, atomski broj elementa u periodnom sustavu elemenata, broj protona u jezgri

N – broj neutrona u jezgri.

Maseni broj jezgre A jednak je zbroju rednog broja atoma Z i broja neutrona u jezgri N:

$$A = Z + N.$$

Atomska jedinica mase u jednaka je dvanaestom dijelu mase atoma ugljika $^{12}_6\text{C}$:

$$1\text{ u} = \frac{1}{12} \cdot \text{masa atoma } ^{12}_6\text{C} = 1.66054 \cdot 10^{-27}\text{ kg}.$$

Masa jezgre uvijek je manja od zbroja masa protona i neutrona od kojih je ta jezgra sastavljena. Ta se razlika zove defekt mase. Defekt mase Δm razlika je između zbroja masa protona i neutrona koji su u jezgri nekog atoma i mase jezgre:

$$\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_A,$$

gdje je m_p masa protona, m_n masa neutrona, m_A masa atoma za čiju jezgru računamo defekt mase.



Energija vezanja je energija koja bi se oslobodila kada bismo pojedinačne nukleone (protone i neutrone) spojili u jezgru, odnosno energija koju bismo utrošili da jezgru rastavimo na pojedinačne nukleone (protone i neutrone). Njezina je vrijednost jednaka umnošku defekta mase i kvadrata brzine svjetlosti. Prema Einsteinovoj relaciji defektu mase odgovara energija:

$$E_v = \Delta m \cdot c^2.$$

Obično se energija vezanja iskazuje u elektronvoltima.

Defekt mase iznosi:

$$\left. \begin{array}{l} A \\ Z \end{array} \text{Ni} = \begin{array}{l} 58 \\ 28 \end{array} \text{Ni} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} A = 58 \\ Z = 28 \\ N = A - Z \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} A = 58 \\ Z = 28 \\ N = 58 - 28 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} A = 58 \\ Z = 28 \\ N = 30 \end{array} \right\}.$$

$$\left. \begin{array}{l} A = 58, Z = 28, N = 30 \\ \Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_A \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta m = 28 \cdot 1.00783 \cdot u + 30 \cdot 1.00867 \cdot u - 57.93531 \cdot u =$$

$$= 0.54403 \cdot u = 0.54403 \cdot 1.66054 \cdot 10^{-27}\text{ kg} = 9.03384 \cdot 10^{-28}\text{ kg}.$$

Prema Einsteinovoj relaciji, toj masi Δm odgovara energija vezanja:

$$E_v = \Delta m \cdot c^2 = 9.03384 \cdot 10^{-28}\text{ kg} \cdot \left(3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 8.130456 \cdot 10^{-11}\text{ J}.$$

Obično se energija vezanja E_v iskazuje

u elektronvoltima:

$$E_\nu = 8.130456 \cdot 10^{-11} \text{ J} = 8.130456 \cdot 10^{-11} \text{ J} \cdot \frac{1}{1.6 \cdot 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{eV}}} = 5.0815 \cdot 10^8 \text{ eV}.$$

Vježba 070

Jezgra teškog vodika deuterona (${}^2_1\text{H}$) sastavljena je od jednog protona i jednog neutrona. Njezina je masa $2.013553 \cdot \text{u}$. Koliki je defekt mase za tu jezgru? (masa protona $m_p = 1.00783 \cdot \text{u}$, masa neutrona $m_n = 1.00867 \cdot \text{u}$)

Rezultat: $4.8936 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$.

Zadatak 071 (Goga, gimnazija)

Tijelo mase 1 kg i elektron čija je masa u mirovanju $9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ gibaju se istom brzinom. Nađi omjer njihovih valnih duljina.

Rješenje 071

$$m_1 = 1 \text{ kg}, \quad m_2 = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}, \quad \lambda_2 : \lambda_1 = ?$$

De Broglie je teorijski došao do zaključka da svaka čestica koja se giba mora imati valna svojstva. Čestici mase m , u gibanju brzinom v , odgovara valna duljina

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v},$$

gdje je h Planckova konstanta.

Omjer valnih duljina elektrona mase m_2 i tijela mase m_1 iznosi:

$$\left. \begin{array}{l} \lambda_2 = \frac{h}{m_2 \cdot v} \\ \lambda_1 = \frac{h}{m_1 \cdot v} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\frac{h}{m_2 \cdot v}}{\frac{h}{m_1 \cdot v}} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{m_1 \cdot v}{m_2 \cdot v} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{m_1}{m_2} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{1 \text{ kg}}{9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 1.1 \cdot 10^{30}.$$

Vježba 071

Tijelo mase 1 kg i elektron čija je masa u mirovanju $9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ gibaju se istom brzinom. Nađi omjer njihovih valnih duljina.

Rezultat: $2.2 \cdot 10^{30}$.

Zadatak 072 (Domagoj, gimnazija)

Svjetiljka snage 60 W emitira monokromatsku svjetlost valne duljine $0.55 \cdot 10^{-6} \text{ m}$. 95% električne energije, koju troši svjetiljka, prelazi u toplinu, dok se ostali dio zrači u obliku svjetlosti. Koliko se pri tome oslobodi fotona u sekundi? (Planckova konstanta $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, brzina svjetlosti u vakuumu $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

Rješenje 072

$$P = 60 \text{ W}, \quad \lambda = 0.55 \cdot 10^{-6} \text{ m}, \quad \eta = 95\% = 0.95, \quad t = 1 \text{ s}, \quad h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}, \\ c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}, \quad N = ?$$

Omjer između energije koju iskorišćujemo W_i od nekog stroja i ukupne energije W_u koju ulažemo u stroj zovemo korisnost stroja η . Često je izražavamo u postotku.

$$\eta = \frac{W_i}{W_u}.$$

Svjetlost frekvencije ν može se emitirati ili apsorbirati samo u određenim količinama energije, takozvanim kvantima energije. Svaki kvant ili foton ima energiju

$$E = h \cdot \nu \Rightarrow E = h \cdot \frac{c}{\lambda},$$

gdje je h Planckova konstanta, ν frekvencija svjetlosti, c brzina svjetlosti u vakuumu, a λ valna duljina svjetlosti.

Za električnu energiju koju troši svjetiljka vrijedi:

- 95% energije prelazi u toplinu, $\eta = 0.95$
- 5% energije zrači se u obliku svjetlosti, $1 - \eta = 0.05$.

Ukupna energija W_u koju emitira svjetiljka snage P ima vrijednost:

$$W_u = P \cdot t.$$

Dio energije W_i koji svjetiljka zrači u obliku svjetlosti iznosi:

$$W_i = N \cdot E \Rightarrow W_i = N \cdot h \cdot \frac{c}{\lambda},$$

gdje je N broj fotona svjetlosti.



Broj fotona N dobije se iz formule za stupanj korisnog djelovanja:

$$1 - \eta = \frac{W_i}{W_u} \Rightarrow 1 - \eta = \frac{N \cdot h \cdot \frac{c}{\lambda}}{P \cdot t} \Rightarrow 1 - \eta = \frac{N \cdot h \cdot c}{P \cdot t \cdot \lambda} \cdot \frac{P \cdot t \cdot \lambda}{h \cdot c} \Rightarrow N = \frac{(1 - \eta) \cdot P \cdot t \cdot \lambda}{h \cdot c}$$

$$= \frac{(1 - 0.95) \cdot 60 \text{ W} \cdot 1 \text{ s} \cdot 0.55 \cdot 10^{-6} \text{ m}}{6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 8.3 \cdot 10^{18} \text{ fotona.}$$

Vježba 072

Svjetiljka snage 120 W emitira monokromatsku svjetlost valne duljine $0.55 \cdot 10^{-6}$ m. 95% električne energije, koju troši svjetiljka, prelazi u toplinu, dok se ostali dio zrači u obliku svjetlosti. Koliko se pri tome oslobodi fotona u sekundi? (Planckova konstanta $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ J · s, brzina svjetlosti u vakuumu $c = 3 \cdot 10^8$ m/s)

Rezultat: $1.66 \cdot 10^{19}$ fotona.

Zadatak 073 (Ivan, gimnazija)

Svjetlost valne duljine $0.2 \mu\text{m}$ izbije elektrone iz ploče nikla. Kojom brzinom izlijeću elektroni iz nikla ako je izlazni rad za nikl 5.01 eV ? (Planckova konstanta $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ J · s, masa elektrona $m = 9.1 \cdot 10^{-31}$ kg, brzina svjetlosti u vakuumu $c = 3 \cdot 10^8$ m/s)

Rješenje 073

$$\lambda = 0.2 \mu\text{m} = 0.2 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m}, \quad W = 5.01 \text{ eV} = [5.01 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}] = 8.016 \cdot 10^{-19} \text{ J},$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}, \quad m = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}, \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}, \quad \nu = ?$$

Svjetlost frekvencije ν može se emitirati ili apsorbirati samo u određenim količinama energije, takozvanim kvantima energije. Svaki kvant ili foton ima energiju

$$E = h \cdot \nu, \quad E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

gdje je h Planckova konstanta koja ima vrijednost $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ J · s, ν frekvencija svjetlosti, a λ valna duljina svjetlosti.

Kad fotoni energije $h \cdot \nu$ padnu na neku kovinu, oni uz određene uvjete izbijaju elektrone iz nje. To je fotoelektrični efekt (učinak). Pritom se energija fotona $h \cdot \nu$ utroši dijelom na izbijanje elektrona iz kovine, a dijelom ta energija prelazi u kinetičku energiju elektrona pa vrijedi

$$h \cdot \nu = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + W \Rightarrow h \cdot \frac{c}{\lambda} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + W,$$

gdje je $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ kinetička energija izbijenog elektrona, a W izlazni rad.

Zapamti!

$$1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Jedinica za energiju je elektronvolt (eV).

Energiju 1 eV dobije čestica nabijena istim električnim nabojem kao što ga ima elektron ($1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) kad prođe električnim poljem razlike potencijala 1 V:

$$1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

Brzina kojom izlijeću elektroni iz nikla iznosi:

$$\begin{aligned} h \cdot \frac{c}{\lambda} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + W &\Rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = h \cdot \frac{c}{\lambda} - W \quad / \cdot \frac{2}{m} \Rightarrow v^2 = \frac{2}{m} \cdot \left(\frac{h \cdot c}{\lambda} - W \right) \Rightarrow \\ \Rightarrow v^2 = \frac{2}{m} \cdot \left(\frac{h \cdot c}{\lambda} - W \right) &/ \sqrt{\quad} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2}{m} \cdot \left(\frac{h \cdot c}{\lambda} - W \right)} = \\ = \sqrt{\frac{2}{9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} \cdot \left(\frac{6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \cdot 10^{-7} \text{ m}} - 8.016 \cdot 10^{-19} \text{ J} \right)} &= 650105.65 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \end{aligned}$$

Vježba 073

Svjetlost valne duljine $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ izbije elektrone iz ploče nikla. Kojom brzinom izlijeću elektroni iz nikla ako je izlazni rad za nikl 5.01 eV? (Planckova konstanta $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, masa elektrona $m = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$)

Rezultat: $650105.65 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Zadatak 074 (Ivan, gimnazija)

Ultraljubičasta svjetlost valne duljine 300 nm pada na metal i iz njega izbija elektrone čija je brzina 10^6 m/s . Kojom se valnom duljinom mora obasjati taj metal da bi kinetička energija izbijenih elektrona bila $4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$? (Planckova konstanta $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, masa elektrona $m = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, brzina svjetlosti u vakuumu $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

Rješenje 074

$$\lambda_1 = 300 \text{ nm} = 300 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ m}, \quad v_1 = 10^6 \text{ m/s}, \quad E_k = 4 \cdot 10^{-19} \text{ J},$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}, \quad m = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}, \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}, \quad \lambda_2 = ?$$

Svjetlost frekvencije ν može se emitirati ili apsorbirati samo u određenim količinama energije, takozvanim kvantima energije. Svaki kvant ili foton ima energiju

$$E = h \cdot \nu \quad , \quad E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

gdje je h Planckova konstanta koja ima vrijednost $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, ν frekvencija svjetlosti, a λ valna duljina svjetlosti.

Fotoelektrični efekt (učinak) je pojava da metali, u određenim uvjetima, pod utjecajem svjetlosti emitiraju elektrone. Pritom se foton energije $h \cdot \nu$ sudara s elektronom u metalu i predaje mu svu svoju energiju. Ako je tako dobivena energija veća od energije potrebne elektronu da izađe iz metala (tzv. rad izlaza), nastat će fotoelektrični efekt (učinak).

Einsteinova relacija za fotoelektrični efekt glasi:

$$h \cdot \nu = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + W \quad \text{ili} \quad h \cdot \frac{c}{\lambda} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + W,$$

gdje je $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ kinetička energija izbijenog elektrona, a W izlazni rad.

Budući da svjetlost valne duljine λ_1 pada na metal i iz njega izbija elektrone brzine v_1 , Einsteinova relacija za fotoelektrični efekt glasi:

$$h \cdot \frac{c}{\lambda_1} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + W.$$

Ako metal obasjamo svjetlošću valne duljine λ_2 kinetička energija izbijenih elektrona je E_k pa vrijedi:

$$h \cdot \frac{c}{\lambda_2} = E_k + W.$$

Iz sustava jednadžbi dobije se valna duljina λ_2 .

$$\left. \begin{array}{l} h \cdot \frac{c}{\lambda_1} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + W \\ h \cdot \frac{c}{\lambda_2} = E_k + W \end{array} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{oduzmemo} \\ \text{jednadžbe} \end{array} \right] \Rightarrow h \cdot \frac{c}{\lambda_2} - h \cdot \frac{c}{\lambda_1} = E_k + W - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 - W \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h \cdot \frac{c}{\lambda_2} - h \cdot \frac{c}{\lambda_1} = E_k + W - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 - W \Rightarrow h \cdot \frac{c}{\lambda_2} - h \cdot \frac{c}{\lambda_1} = E_k - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h \cdot \frac{c}{\lambda_2} = E_k - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + h \cdot \frac{c}{\lambda_1} \Rightarrow h \cdot \frac{c}{\lambda_2} = E_k - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + h \cdot \frac{c}{\lambda_1} \cdot \lambda_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h \cdot c = \lambda_2 \cdot \left(E_k - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + h \cdot \frac{c}{\lambda_1} \right) \Rightarrow \lambda_2 = \frac{h \cdot c}{E_k - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + h \cdot \frac{c}{\lambda_1}} =$$

$$= \frac{6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4 \cdot 10^{-19} \text{ J} - \frac{1}{2} \cdot 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot \left(10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 + 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3 \cdot 10^{-7} \text{ m}}} = 3.27 \cdot 10^{-7} \text{ m}.$$

Vježba 074

Ultraljubičasta svjetlost valne duljine $0.3 \mu\text{m}$ pada na metal i iz njega izbija elektrone čija je brzina 10^3 km/s . Kojom se valnom duljinom mora obasjati taj metal da bi kinetička energija izbijenih elektrona bila $4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$? (Planckova konstanta $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, masa elektrona $m = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, brzina svjetlosti u vakuumu $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

Rezultat: $3.27 \cdot 10^{-7} \text{ m}$.

Zadatak 075 (Ivan, gimnazija)

Ako neutron kinetičke energije 500 eV ima valnu duljinu 10^{-12} m , koliku će valnu duljinu imati neutron kinetičke energije 2000 eV ?

Rješenje 075

$$E_{k1} = 500 \text{ eV}, \quad \lambda_1 = 10^{-12} \text{ m}, \quad E_{k2} = 2000 \text{ eV}, \quad \lambda_2 = ?$$

Tijelo mase m i brzine v ima kinetičku energiju

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2.$$

Svaka čestica koja se giba ima valna svojstva. Prema de Broglievoj relaciji valna duljina λ čestice mase m koja se giba brzinom v , odnosno koja ima kinetičku energiju E_k , jest

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} \quad \text{ili} \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_k}}$$

Gledaj!

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \Rightarrow E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \cdot / \cdot 2 \cdot m \Rightarrow 2 \cdot m \cdot E_k = m^2 \cdot v^2 \Rightarrow 2 \cdot m \cdot E_k = (m \cdot v)^2 \Rightarrow \\ \Rightarrow (m \cdot v)^2 = 2 \cdot m \cdot E_k \cdot / \sqrt{\quad} \Rightarrow m \cdot v = \sqrt{2 \cdot m \cdot E_k}$$

Sada je:

$$\left. \begin{array}{l} \lambda = \frac{h}{m \cdot v} \\ m \cdot v = \sqrt{2 \cdot m \cdot E_k} \end{array} \right\} \Rightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_k}}$$

Ako neutron kinetičke energije E_{k1} ima valnu duljinu λ_1 , vrijedi:

$$\lambda_1 = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_{k1}}}$$

Ako neutron kinetičke energije E_{k2} ima valnu duljinu λ_2 , vrijedi:

$$\lambda_2 = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_{k2}}}$$

Iz sustava jednadžbi dobije se valna duljina λ_2 :

$$\left. \begin{array}{l} \lambda_1 = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_{k1}}} \\ \lambda_2 = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_{k2}}} \end{array} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{podijelimo} \\ \text{jednadžbe} \end{array} \right] \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_{k2}}}}{\frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_{k1}}}} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_{k1}}}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_{k2}}} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_{k1}}}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_{k2}}} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot E_{k1}}{2 \cdot m \cdot E_{k2}}} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \sqrt{\frac{E_{k1}}{E_{k2}}} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \sqrt{\frac{E_{k1}}{E_{k2}}} \cdot / \cdot \lambda_1 \Rightarrow \lambda_2 = \lambda_1 \cdot \sqrt{\frac{E_{k1}}{E_{k2}}} = 10^{-12} \text{ m} \cdot \sqrt{\frac{500 \text{ eV}}{2000 \text{ eV}}} = 5 \cdot 10^{-13} \text{ m}$$

Vježba 075

Ako neutron kinetičke energije 0.5 keV ima valnu duljinu 10^{-12} m, koliku će valnu duljinu imati neutron kinetičke energije 2 keV?

Rezultat: $5 \cdot 10^{-13}$ m.

Zadatak 076 (Marija, gimnazija)

Aktivnost radioaktivnog uzorka padne nakon dva dana s $4 \cdot 10^7$ Bq na $2.4 \cdot 10^7$ Bq. Kolika će biti aktivnost tog radioaktivnog uzorka nakon daljnjih 8 dana?

Rješenje 076

$$t_1 = 2 \text{ d}, \quad A_0 = 4 \cdot 10^7 \text{ Bq}, \quad A_1 = 2.4 \cdot 10^7 \text{ Bq}, \quad t_2 = 8 \text{ d}, \quad A_2 = ?$$

Jezgra ili nukleus nekog elementa može se promijeniti spontano (radioaktivan raspad) ili umjetnim putem (nuklearna reakcija). Prirodna je radioaktivnost pojava raspada jezgara nekih elemenata zbog nestabilnosti jezgara atoma tih elemenata.

Aktivnost je brzina kojom se raspada radioaktivni nuklid (jezgra atoma). To je broj raspada u jedinici vremena. Jedinica aktivnosti je bekerel ($Bq = s^{-1}$). Jedan bekerel jedan je raspad u sekundi.

Aktivnost radioaktivnog uzorka:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t},$$

gdje je λ konstanta raspadanja.

Iz poznatih podataka najprije odredimo konstantu raspadanja λ :

$$\begin{aligned} A_1 &= A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_1} \Rightarrow A_1 = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_1} / \cdot \frac{1}{A_0} \Rightarrow \frac{A_1}{A_0} = e^{-\lambda \cdot t_1} \Rightarrow e^{-\lambda \cdot t_1} = \frac{A_1}{A_0} \Rightarrow \\ \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{logaritmiramo} \\ \text{jednadžbu} \end{array} \right] &\Rightarrow e^{-\lambda \cdot t_1} = \frac{A_1}{A_0} / \ln \Rightarrow \ln e^{-\lambda \cdot t_1} = \ln \frac{A_1}{A_0} \Rightarrow -\lambda \cdot t_1 \cdot \ln e = \ln \frac{A_1}{A_0} \Rightarrow \\ &\Rightarrow -\lambda \cdot t_1 \cdot 1 = \ln \frac{A_1}{A_0} \Rightarrow -\lambda \cdot t_1 = \ln \frac{A_1}{A_0} / \cdot \left(-\frac{1}{t_1} \right) \Rightarrow \lambda = -\frac{1}{t_1} \cdot \ln \frac{A_1}{A_0} = \\ &= -\frac{1}{2 \text{ d}} \cdot \ln \frac{2.4 \cdot 10^7 \text{ Bq}}{4 \cdot 10^7 \text{ Bq}} = 0.255413 \frac{1}{\text{d}}. \end{aligned}$$

1. inačica

Aktivnost radioaktivnog uzorka nakon daljnjih t_2 dana bit će:

$$A_2 = A_1 \cdot e^{-\lambda \cdot t_2} = 2.4 \cdot 10^7 \text{ Bq} \cdot e^{-0.255413 \frac{1}{\text{d}} \cdot 8 \text{ d}} = 3110395.32 \text{ Bq} \approx 3.11 \cdot 10^6 \text{ Bq}.$$

2. inačica

Aktivnost radioaktivnog uzorka nakon daljnjih t_2 dana bit će:

$$A_2 = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot (t_1 + t_2)} = 4 \cdot 10^7 \text{ Bq} \cdot e^{-0.255413 \frac{1}{\text{d}} \cdot (2 \text{ d} + 8 \text{ d})} = 3110394.15 \text{ Bq} \approx 3.11 \cdot 10^6 \text{ Bq}.$$

Vježba 076

Aktivnost radioaktivnog uzorka padne nakon dva dana s $8 \cdot 10^7 \text{ Bq}$ na $4.8 \cdot 10^7 \text{ Bq}$. Kolika će biti aktivnost tog radioaktivnog uzorka nakon daljnjih 8 dana?

Rezultat: $3.11 \cdot 10^6 \text{ Bq}$.

Zadatak 077 (Marija, gimnazija)

Koji će izotop nastati iz početnog nuklida ${}_{92}^{238}\text{U}$ nakon tri α raspada i dva β^- raspada?

Rješenje 077

$${}_{92}^{238}\text{U}, \quad \text{tri } \alpha \text{ raspada,} \quad \text{dva } \beta^- \text{ raspada,} \quad \frac{A}{Z} \Delta = ?$$

Osnovne čestice jezgre atoma su proton i neutron. Broj protona u jezgri odlučan je za naboj jezgre, a time i za redni broj u periodnom sustavu elemenata. Suma protona i neutrona u jezgri određuje maseni broj jezgre i odlučna je za atomsku masu jezgre. Elemente označavamo simbolom

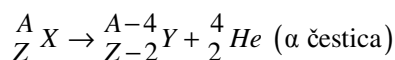
$$\frac{A}{Z} X,$$

gdje je X simbol kemijskog elementa, A maseni broj jezgre (ukupan broj nukleona: protona i neutrona), Z redni broj elementa u periodnom sustavu elemenata (broj protona).

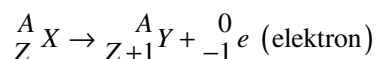
$$A = Z + N \Rightarrow N = A - Z \text{ broj neutrona.}$$

Simbolički zapisi radioaktivnih raspada:

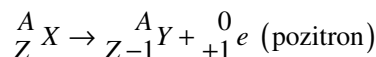
- α raspad



- β^- raspad



- β^+ raspad



Zakoni očuvanja:

- zbroj masenih brojeva prije nuklearne reakcije mora biti jednak zbroju masenih brojeva nakon nuklearne reakcije
- zbroj protona u jezgri prije nuklearne reakcije mora biti jednak zbroju protona u jezgri nakon nuklearne reakcije.

Simboli za čestice:

$$\text{neutron} = {}^1_0 n \quad , \quad \text{proton} = {}^1_1 p \quad , \quad \text{deuteron} = \text{jezgra od } {}^2_1 H$$

$$\alpha \text{ čestica} = \text{jezgra od } {}^4_2 He \quad , \quad \text{elektron} = {}^0_{-1} e \quad , \quad \text{pozitron} = {}^0_{+1} e.$$

Sada računamo.

Prvi α raspad

$$\begin{aligned} {}^{238}_{92} U \rightarrow {}^A_Z X + {}^4_2 He &\Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{zakoni} \\ \text{očuvanja} \end{array} \right] \Rightarrow \left. \begin{array}{l} 238 = A + 4 \\ 92 = Z + 2 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} A = 234 \\ Z = 90 \end{array} \right\} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \left. \begin{array}{l} A = 222, Z = 86 \\ {}^A_Z X \end{array} \right\} \Rightarrow {}^{234}_{90} X. \end{aligned}$$

Drugi α raspad

$$\begin{aligned} {}^{234}_{90} X \rightarrow {}^A_Z Y + {}^4_2 He &\Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{zakoni} \\ \text{očuvanja} \end{array} \right] \Rightarrow \left. \begin{array}{l} 234 = A + 4 \\ 90 = Z + 2 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} A = 230 \\ Z = 88 \end{array} \right\} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \left. \begin{array}{l} A = 230, Z = 88 \\ {}^A_Z Y \end{array} \right\} \Rightarrow {}^{230}_{88} Y. \end{aligned}$$

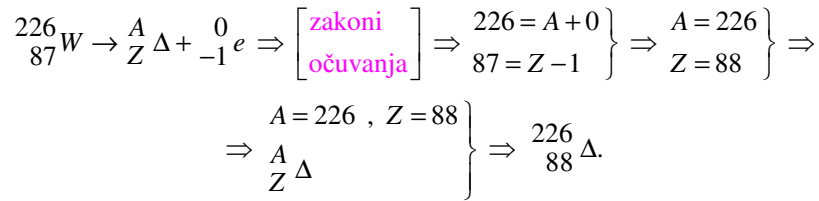
Treći α raspad

$$\begin{aligned} {}^{230}_{88} Y \rightarrow {}^A_Z Q + {}^4_2 He &\Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{zakoni} \\ \text{očuvanja} \end{array} \right] \Rightarrow \left. \begin{array}{l} 230 = A + 4 \\ 88 = Z + 2 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} A = 226 \\ Z = 86 \end{array} \right\} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \left. \begin{array}{l} A = 226, Z = 86 \\ {}^A_Z Q \end{array} \right\} \Rightarrow {}^{226}_{86} Q. \end{aligned}$$

Prvi β^- raspad

$$\begin{aligned} {}^{226}_{86} Q \rightarrow {}^A_Z W + {}^0_{-1} e &\Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{zakoni} \\ \text{očuvanja} \end{array} \right] \Rightarrow \left. \begin{array}{l} 226 = A + 0 \\ 86 = Z - 1 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} A = 226 \\ Z = 87 \end{array} \right\} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \left. \begin{array}{l} A = 226, Z = 87 \\ {}^A_Z W \end{array} \right\} \Rightarrow {}^{226}_{87} W. \end{aligned}$$

Drugi β^- raspad



Iz periodnog sustava elemenata vidi se da je riječ o izotopu:

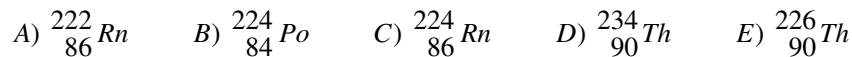


88 (226)
Ra
RADIJ



Vježba 077

Emisijom alfa zraka (α – raspad) ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ prelazi u:



Rezultat: Odgovor pod A.

Zadatak 078 (Vlado, gimnazija)

Kolika je de Broglieva valna duljina neutrona ako brzina neutrona iznosi 1000 m/s? (Masa neutrona je $1.675 \cdot 10^{-27}$ kg, Planckova konstanta je $6.626 \cdot 10^{-34}$ J · s.)

Rješenje 078

$$v = 1000 \text{ m/s}, \quad m = 1.675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}, \quad h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}, \quad \lambda = ?$$

De Broglie je teorijski došao do zaključka da svaka čestica koja se giba mora imati valna svojstva. Čestici mase m u gibanju brzinom v odgovara valna duljina

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}.$$

Valna duljina neutrona iznosi:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{1.675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 1000 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 3.9558 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0.39558 \cdot 10^{-9} \text{ m} \approx 0.396 \text{ nm}.$$

Vježba 078

Kolika je de Broglieva valna duljina neutrona ako brzina neutrona iznosi 2000 m/s? (Masa neutrona je $1.675 \cdot 10^{-27}$ kg, Planckova konstanta je $6.626 \cdot 10^{-34}$ J · s.)

Rezultat: 0.198 nm.

Zadatak 079 (Vlado, gimnazija)

Proton se giba kružnom stazom brzinom okomitom na magnetsko polje. Koliko iznosi jakost magnetske indukcije ako protonu treba 1 μs za puni okret? (Masa protona je $1.67 \cdot 10^{-27}$ kg, naboj elektrona je $1.6 \cdot 10^{-19}$ C.)

Rješenje 079

$$T = 1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}, \quad m = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}, \quad Q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \quad B = ?$$

Period T je vrijeme jednog ophoda (okreta, titraja). Frekvencija ν je broj ophoda (okretaja, titraja) u jedinici vremena. Između frekvencije ν i perioda T postoji ova veza:

$$T = \frac{1}{\nu} \quad \text{ili} \quad \nu = \frac{1}{T}.$$

Električki nabijene čestice pomoću kojih se izvode nuklearne reakcije ubrzavaju se u akceleratorima. Tako je, primjerice, u ciklotronu frekvencija promjene napona na elektrodama

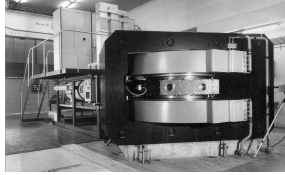
$$v = \frac{B \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot m}$$

Jakost magnetske indukcije iznosi:

$$\left. \begin{array}{l} v = \frac{1}{T} \\ v = \frac{B \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot m} \end{array} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{metoda} \\ \text{komparacije} \end{array} \right] \Rightarrow \frac{B \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot m} = \frac{1}{T} \Rightarrow \frac{B \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot m} = \frac{1}{T} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{Q} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow B = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{T \cdot Q} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{10^{-6} \text{ s} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 0.066 \text{ T}.$$

www.halapa.com



Zagrebački ciklotron

Vježba 079

Proton se giba kružnom stazom brzinom okomitom na magnetsko polje. Koliko iznosi jakost magnetske indukcije ako protonu trebaju $2 \mu\text{s}$ za dva puna okreta? (Masa protona je $1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, naboj elektrona je $1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.)

Rezultat: 0.066 T.

Zadatak 080 (Ivy, maturantica)

Ako neutron kinetičke energije 500 eV ima valnu duljinu 10^{-12} m , koliku će valnu duljinu imati neutron kinetičke energije 2000 eV?

Rješenje 080

$$E_1 = 500 \text{ eV}, \quad \lambda_1 = 10^{-12} \text{ m}, \quad E_2 = 2000 \text{ eV}, \quad \lambda_2 = ?$$

Tijelo mase m i brzine v ima kinetičku energiju

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2.$$

De Broglie je teorijski došao do zaključka da svaka čestica koja se giba mora imati valna svojstva. Čestici mase m u gibanju brzinom v odgovara valna duljina

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}.$$

Transformacijom relacije za de Broglievu valnu duljinu dobije se:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} \Rightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{m^2 \cdot v^2}} \Rightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{m \cdot m \cdot v^2}} \Rightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2}} \Rightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_k}}.$$

Neutron kinetičke energije E_2 imat će valnu duljinu λ_2 . Postavimo sustav jednadžbi:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_1}} \\ \lambda_2 &= \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_2}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \text{podijelimo} \\ \text{jednadžbe} \end{array} \right] \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_2}}}{\frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_1}}} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_2}}}{\frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_1}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{1}{\frac{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_1}}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_2}}} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_1}}{\sqrt{2 \cdot m \cdot E_2}} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot E_1}{2 \cdot m \cdot E_2}} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot E_1}{2 \cdot m \cdot E_2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \sqrt{\frac{E_1}{E_2}} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \sqrt{\frac{E_1}{E_2}} \cdot \lambda_1 \Rightarrow \lambda_2 = \lambda_1 \cdot \sqrt{\frac{E_1}{E_2}} = 10^{-12} \text{ m} \cdot \sqrt{\frac{500 \text{ eV}}{2000 \text{ eV}}} = 5 \cdot 10^{-13} \text{ m}.$$

Vježba 080

Ako neutron kinetičke energije 1000 eV ima valnu duljinu 10^{-12} m , koliku će valnu duljinu imati neutron kinetičke energije 4000 eV?

Rezultat: $5 \cdot 10^{-13} \text{ m}$.