b) aktiivisuus pienenee ajan kuluessa:

$$A = A_0 \left(\tfrac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} = 4{,}34815 \cdot 10^3\,\text{Bq} \cdot \left(\tfrac{1}{2}\right)^{\frac{(2\cdot 60+5)\,\text{min}}{25{,}0\,\text{min}}}$$

$$\approx 1{,}35880 \cdot 10^8\,\text{Bq} \approx \underline{140\,\text{MBq}}$$

c) $^{128}_{53}\text{I} \xrightarrow{\beta^-} {}^{128}_{54}\text{Xe} + {}^{0}_{-1}\text{e} + \bar{\nu}$

$^{128}_{53}\text{I} \xrightarrow{\beta^+} {}^{128}_{52}\text{Te} + {}^{0}_{1}\text{e} + \nu$

$^{128}_{53}\text{I} + {}^{0}_{-1}\text{e} \xrightarrow{EC} {}^{128}_{52}\text{Te} + \nu$

11.10 $\mu = 46\,\frac{1}{\text{m}}$, $x = 6{,}0\,\text{mm}$

$$I = I_0 e^{-\mu x} = I_0 e^{-46\,\frac{1}{\text{m}} \cdot 0{,}0060\,\text{m}} \approx 0{,}758813\, I_0$$

$\Rightarrow$ läpi menee n. $\underline{76\,\%}$

11.13 $x_{1/2} = 5{,}0\,\text{cm}$, $x = 8{,}0\,\text{cm}$

$$I = I_0 e^{-\mu x} = I_0 \left(\tfrac{1}{2}\right)^{\frac{x}{x_{1/2}}} = I_0 \left(\tfrac{1}{2}\right)^{\frac{8{,}0\,\text{cm}}{5{,}0\,\text{cm}}} \approx 0{,}329877\, I_0$$

$\Rightarrow$ vaimenee $\underline{\text{n. } \tfrac{1}{3}\text{-osaan}}$

11.18 $^{40}_{19}\text{K} \xrightarrow{\beta^-} {}^{40}_{20}\text{Ca} + {}^{0}_{-1}\text{e} + \nu$ $\quad m = 120\,\text{g}$

$^{0}_{-1}\text{e} \xrightarrow{EC} {}^{40}_{18}\text{Ar} + \nu$ $\quad T_{1/2} = 1{,}28 \cdot 10^9\,\text{a}$

$$A = \lambda N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{m}{m(^{40}\text{K})}$$

$$= \frac{\ln 2}{1{,}28 \cdot 10^9 \cdot 365{,}25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60\,\text{s}} \cdot 0{,}00017 \cdot \frac{0{,}12\,\text{kg}}{39{,}10 \cdot 1{,}66054 \cdot 10^{-27}\,\text{kg}}$$

$$\approx 1{,}71598 \cdot 10^{-17}\,\frac{1}{\text{s}} \cdot 2{,}16242 \cdot 10^{20} \approx 3710{,}67\,\frac{1}{\text{s}} \approx \underline{3{,}72\,\text{kBq}}$$

12.5 a) V ; X-ray : röntgensäteily

b) V ; röntgensäteily on ionisoivaa ja siten voi aiheuttaa soluvaurioita

c) Y.

d) V ; PET-kuvauksessa käytetään β^+-aktiivisuutta

e) Y.

f) Y.

12.13 a) $^{14}_{7}\text{N} + {}^{2}_{1}\text{H} \longrightarrow {}^{15}_{8}\text{O} + {}^{1}_{0}\text{n}$

b) $^{15}_{8}\text{O} \xrightarrow{\beta^+} {}^{15}_{7}\text{N} + {}^{0}_{1}\text{e} + \nu$

13.6 a) $^{235}_{92}\text{U} + {}^{1}_{0}\text{n} \longrightarrow {}^{143}_{56}\text{Ba} + {}^{90}_{36}\text{Kr} + 3\,{}^{1}_{0}\text{n}$

$$Q = \Delta m c^2 = (m(^{235}\text{U}) + m_n - m(^{143}\text{Ba}) - m(^{90}\text{Kr}) - 3m_n)c^2$$

$$= (235{,}043\,925\,\text{u} - 142{,}920\,627\,\text{u} - 89{,}919\,528\,\text{u} - 2 \cdot 1{,}008\,665\,\text{u})c^2$$

$$= 0{,}186\,44\,\text{u} \cdot 931{,}494\,\frac{\text{MeV}}{\text{u}} \approx 173{,}667\,741\,\text{MeV} \approx \underline{173{,}67\,\text{MeV}}$$

b) $^{2}_{1}\text{H} + {}^{2}_{1}\text{H} \longrightarrow {}^{3}_{2}\text{He} + {}^{1}_{0}\text{n}$

$$Q = \Delta m c^2 = (2m(^2\text{H}) - m(^3\text{He}) - m_n)c^2$$

$$= (2 \cdot 2{,}014\,1018\,\text{u} - 3{,}016\,029\,3\,\text{u} - 1{,}008\,6650\,\text{u})c^2$$

$$= 0{,}003\,509\,3\,\text{u} \cdot 931{,}494\,\frac{\text{MeV}}{\text{u}}$$

$$\approx 3{,}268\,891\,894\,\text{MeV} \approx \underline{3{,}2689\,\text{MeV}}$$

13.8 $^{2}_{1}\text{H} + {}^{12}_{6}\text{C} \longrightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{10}_{5}\text{B}$

$$Q = \Delta m c^2 = (m(^2\text{H}) + m(^{12}\text{C}) - m(^4\text{He}) - m(^{10}\text{B}))c^2$$

$$= (2{,}014\,1018\,\text{u} + 12\,\text{u} - 4{,}002\,6033\,\text{u} - 10{,}012\,937\,\text{u})c^2$$

$$= -0{,}001\,438\,5\,\text{u} \cdot 931{,}494\,\frac{\text{MeV}}{\text{u}} \approx -1{,}339\,954\,119\,\text{MeV}$$

$Q < 0 \Rightarrow$ $\underline{\text{sitoutuu}}$ n. $1{,}340\,\text{MeV}$

13.15 a) Fissiossa raskas ydin hajoaa kahdeksi keskiraskaaksi ytimeksi. Hajoamisessa vapautuu energiaa ja neutroneja.

Prolifinteumisajan kuluessa alkuperäisten radioaktiivisten ytimien määrä ja aktiivisuus pienenee puolen hajoamisten takia.

---

b) $T_{1/2} = 2{,}64\,\text{a}$; $t = 6{,}5\,\text{a}$; $m_0 = 9{,}5 \cdot 10^6\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

aktiivisuus pienenee ajan kuluessa eksponentiaalisesti jolloin myös neutronien tuotto pienenee

$$m = m_0 \left(\tfrac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} = 9{,}5 \cdot 10^6\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \left(\tfrac{1}{2}\right)^{\frac{6{,}5\,\text{a}}{2{,}64\,\text{a}}}$$

$$\approx 1{,}72406 \cdot 10^6\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \approx \underline{1{,}7 \cdot 10^6\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

14.10 $P_{\text{anto}} = 440\,\text{MW}$; $\eta = 0{,}30$; $E_f = 200\,\text{MeV}$; $t = 24\,\text{h}$

a) $$\eta = \frac{P_{\text{anto}}}{P_{\text{otto}}} = \frac{P_{\text{anto}}}{\frac{E_{\text{otto}}}{t}} = \frac{P_{\text{anto}} \cdot t}{E_{\text{otto}}}$$

$$\Leftrightarrow E_{\text{otto}} = \frac{P_{\text{anto}} \cdot t}{\eta} = \frac{440 \cdot 10^6\,\text{W} \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60\,\text{s}}{0{,}30} \approx 1{,}2672 \cdot 10^{14}\,\text{J}$$

$$\approx \underline{130\,\text{TJ}}$$

b) $E_{\text{otto}} = k \cdot E_f$

$$\Leftrightarrow k = \frac{E_{\text{otto}}}{E_f} = \frac{1{,}2672 \cdot 10^{14}\,\text{J}}{200 \cdot 10^6 \cdot 1{,}60218 \cdot 10^{-19}\,\text{J}} \approx 3{,}95461 \cdot 10^{24} \approx \underline{4 \cdot 10^2}$$

c) Massa muutettu energiaksi hyvin pieni osuus joten ajatellaan että jäljellä muodostuu:

$$k\,m(^{235}\text{U}) \approx 3{,}95461 \cdot 10^{24} \cdot 235{,}044 \cdot 1{,}66054 \cdot 10^{-27}\,\text{kg}$$

$$\approx 1{,}543484\,\text{kg} \approx \underline{1{,}5\,\text{kg}}$$

15.10 a) gravitaatiovuorovaikutus

b) vahva vuorovaikutus

c) —— " ——

d) sähkömagneettinen vuorovaikutus

e) —— " ——

16.7 $d = 1{,}1 \cdot 10^3\,\text{ly}$, $H_0 = 22\,\frac{\text{km/s}}{\text{Mly}}$

$$v = H_0 d = 22\,\frac{\text{km/s}}{10^6\,\text{ly}} \cdot 1{,}1 \cdot 10^9\,\text{ly} = 2{,}42 \cdot 10^7\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \approx \underline{2{,}4 \cdot 10^7\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

K6. a) $W_0 = 4{,}34\,\text{eV}$

$$W_0 = h f_0 = h \frac{c}{\lambda_0}$$

$$\Leftrightarrow \lambda_0 = \frac{hc}{W_0} = \frac{6{,}62607 \cdot 10^{-34}\,\text{Js} \cdot 2{,}99792 \cdot 10^8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{4{,}34 \cdot 1{,}60218 \cdot 10^{-19}\,\text{J}}$$

$$\approx 2{,}85677 \cdot 10^{-7}\,\text{m} \approx \underline{286\,\text{nm}}$$

b) $\lambda_0 = 230\,\text{nm}$, $E_k^{\max} = 1{,}5\,\text{eV}$

$$hf = h\frac{c}{\lambda} = W_0 + E_k^{\max} = h\frac{c}{\lambda_0} + E_k^{\max}$$

$$\Leftrightarrow \lambda = \frac{hc}{h\frac{c}{\lambda_0} + E_k^{\max}} \left(= \frac{hc}{\frac{hc}{\lambda_0} + E_k^{\max}}\right) = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_0} + \frac{E_k^{\max}}{hc}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{230 \cdot 10^{-9}\,\text{m}} + \frac{1{,}5 \cdot 1{,}60218 \cdot 10^{-19}}{6{,}62607 \cdot 10^{-34}\,\text{Js} \cdot 2{,}99792 \cdot 10^8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}} \approx 1{,}79932 \cdot 10^{-7}\,\text{m} \approx \underline{180\,\text{nm}}$$

K30. $^{2}_{1}\text{H} + {}^{3}_{1}\text{H} \longrightarrow {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{1}_{0}\text{n}$ $\quad m = 1{,}0\,\text{kg}$

a) Reaktioita

$$N = \frac{m}{m(^2\text{H}) + m(^3\text{H})} = \frac{1{,}0\,\text{kg}}{(2{,}01410 + 3{,}01605) \cdot 1{,}66054 \cdot 10^{-27}\,\text{kg}}$$

$$\approx 1{,}19721 \cdot 10^{26}$$

yhdestä reaktiosta energiaa:

$$Q = \Delta m c^2 = (m(^2\text{H}) + m(^3\text{H}) - m(^4\text{He}) - m_n)c^2$$

$$= \ldots = 0{,}018\,8829\,\text{u} \cdot 931{,}494\,\frac{\text{MeV}}{\text{u}} \approx 17{,}5892\,\text{MeV}$$

$$\approx 2{,}81811 \cdot 10^{-12}\,\text{J}$$

Energiaa saadaan: $E = NQ \approx 3{,}37387 \cdot 10^{14}\,\text{J} \approx \underline{3{,}4 \cdot 10^{14}\,\text{J}}$

b) $$\frac{1280 \cdot 10^5\,\text{J}}{3{,}37387 \cdot 10^{14}\,\frac{\text{J}}{\text{kg}}} \approx 3793{,}86\,\text{kg} \approx \underline{3800\,\text{kg}}$$

Huom. Oletettiin että polttoaineessa on ^{2}H ja ^{3}H-ytimiä sama määrä jolloin 2kg polttoaine voidaan käyttää hyväksi.