Tehtävä 1

Tehtävä 2.1 (5 p)

Alumiinin irrotustyö W =4,28 eV

Planckin vakio h=

$$_h \blacktriangleright 6.62607015\text{E}^{-34}\cdot \frac{_kg\cdot _m^2}{_s}$$

valon nopeus c=$_c \blacktriangleright 299792458.\cdot \frac{_m}{_s}$

Rajatapauksessa fotonin energia E vastaa täsmälleen irrotustyötä W eli elektronilla ei ole liike-energiaa.

Saadaan yhtälö E=W

hf=W

$$h\frac{c}{\lambda} = W \parallel \cdot \lambda$$

hc=Wλ

$$\lambda = \frac{hc}{W} = \frac{_h\cdot _c}{4.28\cdot _eV} \blacktriangleright 0.00000029\cdot _m \approx 290 \text{ nm}$$

suurin aallonpituus on 290 nm, jolla elektroni irtoaa.

Tehtävä 2.2 (5 p)

Fotonin energia E=hf . Fotonin energia siirtyy irrotustyöksi W ja elektronin liike-energiaksi $E_{k,max}$

$E_{k,max}$ = hf − W

$$E_{k,max} = h\frac{c}{\lambda} - W$$

λ=265 nm

W= $4.28\cdot _eV \blacktriangleright _J \blacktriangleright 6.85731599\text{E}^{-19}\cdot _J$

$$E_{k,max} = _h\cdot \frac{_c}{265\cdot 10^{-9}\cdot _m} - 6.85732\text{E}^{-19}\cdot _J \blacktriangleright 6.38702102\text{E}^{-20}\cdot _J$$

$6.38702\text{E}^{-20}\cdot _J \blacktriangleright _eV \blacktriangleright 0.398646433\cdot _eV \approx 0{,}399$ eV

Tehtävä 2

Tehtävä 3.1 (5 p)

Lasketaan eri energiatilojen energiat yhtälöstä:

$$E_n = -\frac{13.6_eV}{n^2}$$

Perustila: n=1

$$E_1 = \frac{-13.6\cdot ev}{1^2} \blacktriangleright -13.6\cdot ev = -13{,}6 \text{ eV}$$

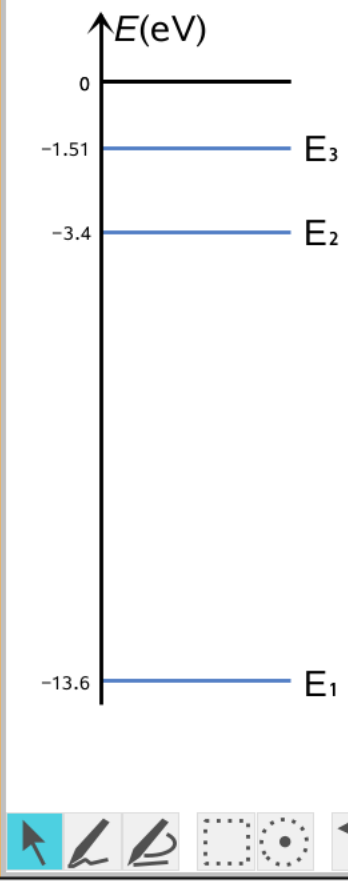
1.viritystila: n=2

$$E_2 = \frac{-13.6\cdot ev}{2^2} \blacktriangleright -3.4\cdot ev = -3{,}40 \text{ eV}$$

2.viritystila: n=3

$$E_3 = \frac{-13.6\cdot ev}{3^2} \blacktriangleright -1.51111111\cdot ev \approx -1{,}51 \text{ eV}$$

Ionisaation energiatilassa energiatason energia on 0 eV



Tehtävä 3.2 (5 p)

Planckin vakio h=_h ▸ $6.62607015\text{E}^{-34}\cdot \frac{_kg\cdot _m^2}{_s}$

valon nopeus c=_c ▸ $299792458.\cdot \frac{_m}{_s}$

Fotonin energia on yhtäsuuri kuin energiatilojen energiaero eli $E_f = \Delta E$

$E_f = hf = h\frac{c}{\lambda}$

$\Delta E = E_3 - E_1$

$h\frac{c}{\lambda} = E_3 - E_1$

$\lambda = \frac{hc}{E_3 - E_1} =$

$\frac{_h\cdot _c}{-1.51\cdot _eV - -13.6\cdot _eV}$ ▸ $0.000000103\cdot _m$

eli noin 103 nm. Fotoni on aallonpituuden perusteella ultraviolettisäteilyä.

Lisää sovellus napsauttamalla tästä

Tehtävä 2

Tehtävä 4

4.1 (3 p)

Sekä gammasäteily että näkyvä valo ovat sähkömagneettista säteilyä.

Gammasäteily ei absorboidu aineeseen yhtä paljoa kuin näkyvä valo, eli gammasäteily on paljon näkyvää valoa läpitunkevampaa.

Gammasäteily on ionisoivaa säteilyä ja näkyvä valo ionisoimatonta säteilyä.

Voidaan vertailla myös syntytapaa:

Gammasäteilyä syntyy atomin ytimen viritystilan purkautumisissa tai annihilaatiossa, kun taas näkyvää valoa syntyy atomin viritystilojen purkautumisissa.

4.2 (2 p)

Gammasäteilyä syntyy, kun radioaktiivisen ytimen hajotessa syntynyt tytärydin jää virittyneeseen tilaan ja atomin ytimen viritystila purkautuu. Gammasäteilyä syntyy myös annihilaatiossa, jossa hiukkanen ja antihiukkanen vuorovaikuttavat ja syntyy kaksi gammafotonia.

4.3 (5 p)

vesikerroksen paksuus x = 26 cm

Kun gammasäteily on kulkenut aineessa matkan x, gammasäteilyn intensiteetti on heikennyslain mukaan $I = I_0 e^{-\mu x}$, jossa μ on väliaineen heikennyskerroin.

$\mu = 0{,}0963\ \text{cm}^{-1}$

Gammasäteilyn intensiteetti vesikerroksen jälkeen

$I = i_0 \cdot e^{-0.0963\cdot \frac{1}{_cm}\cdot 26\cdot _cm}$ ▸ $0.081773668\cdot i_0$

Säteilystä absorboituu $1 - 0.081774$ ▸ 0.918226 eli noin 92 %

Tehtävä 3

Tehtävä 5

5.1 (4 p)

$$ {}^{2}_{1}H + {}^{6}_{3}Li \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{4}_{2}He $$

5.2 (6 p)

isotooppien atomimassat:

litium−6: mLi−6=6.015123 u

helium−4: mHe−4=4.0026033 u

deuterium: mH−2=2.0141018 u

Ratkaistaan reaktion massavaje

Δm=lähtötilanteen ytimien massat − lopputilanteen ytimien massat

$\Delta m = m_{H-2} - m_e + m_{Li-6} - 3m_e - (2m_{H-2} - 4m_e)$

$= m_{H-2} + m_{Li-6} - 2m_{H-2}$

$= 2.0141018 \cdot u + 6.015123 \cdot u - 2 \cdot 4.0026033 \cdot u$

$\blacktriangleright\ 0.0240182 \cdot u$

Reaktiossa vapautuu energiaa, koska massavaje Δm on positiivinen.

Reaktioenergia $E = \Delta m c^2$

1 u = 931,494102 MeV/c^2

$$E = \frac{0.024018 \cdot 931.494102 \cdot mev}{c^2} \cdot c^2$$

$\blacktriangleright\ 22.3726253 \cdot mev$

$\approx$ 22,4 MeV

Tehtävä 4

Tehtävä 6

6.1 (4 p)

Röntgenputki on tyhjiöputki, jossa katodin ja anodin välillä on suuri jännite. Katodilta irtoaa elektroneja, kun sitä kuumennetaan sähkövirralla.

Elektronit kiihtyvät anodin ja katodin välisessä sähkökentässä ja törmäävät suurella nopeudella metallianodiin. Kun elektronien nopeus muuttuu törmäyksessä, elektronit ovat kiihtyvässä liikkeessä ja emittoivat röntgensäteilyä.(jarrutussäteily)

Kun elektroneilla on riittävän suuri liike−energia ja elektronit törmäävät anodimateriaalin elektroneihin, anodimateriaali virittyy. Viritystilojen purkautuessa emittoituu anodimateriaalille ominaista röntgensäteilyä.(ominaissäteily)

6.2 (5 p)

Kiihtyvässä liikkeessä oleva varattu hiukkanen lähettää sähkömagneettista säteilyä. Röntgenputkessa elektronin hidastumisen takia syntynyttä säteilyä kutsutaan jarrutussäteilyksi. Spektrissä jarrutussäteily ilmenee spektrin jatkuvana osana.

Röntgensäteilyä voi syntyä myös atomin viritystilan purkautumisessa. Jos röntgenputkessa kiihdytetyillä elektroneilla on riittävän suuri liike−energia, elektronit voivat virittää anodimetallin atomeja tai irrottaa elektroneja anodimetallin alimmilta elektronitiloilta. Säteilyä emittoituu, kun anodimetallin alimpien elektronitilojen vapaille tiloille siirtyy elektroneja ylemmiltä elektronitiloilta. Viritystilojen purkautumisessa syntyvää säteilyä kutsutaan ominaissäteilyksi eli karakteristiseksi säteilyksi, mikä näkyy spektrissä piikkeinä.

Tehtävä 4

6.3 (6 p)

Ratkaistaan atomitasojen välinen etäisyys d käyttämällä Braggin lakia:

$$2d \sin\theta = k\lambda$$

Planckin vakio h=_h ▸ $6.62607015\text{E}{-34}\cdot \frac{_kg\cdot _m^2}{_s}$

valon nopeus c=_c ▸ $299792458.\cdot \frac{_m}{_s}$

röntgensäteilyn energia E =1,57 keV

1. kertaluvun diffraktiomaksimi, joten k=1

pinnan ja säteilyn välinen kulma θ=45°

Koska E=hf = $h\frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E}$ (sijoitetaan λ Braggin lain yhtälöön)

2dsinθ=kλ

$$d = \frac{k\lambda}{2\sin\theta} = \frac{khc}{2\sin\theta\cdot E} = \frac{1\cdot _h\cdot _c}{2\cdot \sin(45)\cdot 1.57\cdot 10^3\cdot _eV} \blacktriangleright 5.58408073\text{E}{-10}\cdot _m$$

≈ 5,6 Å

Tehtävä 5

Tehtävä 7

7.1 (4 p)

F−18−isotooppi on β^+−aktiivinen−−>

Hajoamisreaktio

$$^{18}_{9}F \rightarrow ^{18}_{8}O + e^+ + \nu$$

7.2 (8 p)

Injektointihetkellä liuoksen aktiivisuus potilaan massaa kohden A= 4 MBq/kg

Potilaan massa m = 86 kg

F−18−isotoopin puoliintumisaika

$T_{1/2}$=1,87 h=1.87·60 ▸ 112.2 min.

Puoliintumisaika riippuu hajoamisvakiosta

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Ratkaistaan hajoamisvakio λ= $\frac{\ln(2)}{112.2\cdot 60\cdot _s}$ ▸ 0.000102963·_Hz

Potilaalle annettavan liuoksen aktiivisuus A_0= 86·_kg·4·10^6·_bq·$_kg^{-1}$ ▸ 344000000.·_bq

Liuoksen aktiivisuus kuvaushetkellä ,

kun t=48·60·_s ▸ 2880.·_s

$A=A_0e^{-\lambda t}$=344000000.·_bq·$e^{-1.02963\text{E}{-4}\cdot _s^{-1}\cdot 2880\cdot _s}$ ▸ 255726424.·_bq

Koska A=λN, missä N= F−18 isotooppien lkm

on $N=\frac{A}{\lambda} = \frac{255726424\cdot _s^{-1}}{1.02963\text{E}{-4}\cdot _s^{-1}}$ ▸ 2.48367301E12

F−18−isotoopin massa m_{F-18}=18.000937 u

Kehossa olevien F−18−isotooppien massa

m=N·m_{F-18}2483673010000.·18.000937·_amu ▸ 7.42401135E-14·_kg

≈ 7,4 ·10^{-14} kg =7,4·10^{-11} g = 74 pg

7.3 Kaikkien PET−kuvauksessa käytettävien isotooppien pitää olla β^+−aktiivisia, koska kuvauksessa hyödynnettävät gammafotonit saadaan aikaan positronien ja elektronien annihilaatiossa. Isotooppien puoliintumisajat ovat myös lyhyitä potilaan säteilyannoksen minimoimiseksi. (3 p)

Tehtävä 8

8.1 (2 p)

Mitä suurempi nopeus alfa−hiukkasella on, sitä suurempi on hiukkasen liike−energia.

Jos liike−energia on riittävän suuri, niin törmäyksessä voi syntyä uusi ydin. Jos liike−energia on pieni, niin uutta ydintä ei synny, vaan hiukkanen jatkaa liikettään törmäyksen jälkeen.

8.2 (5 p)

Reaktioyhtälö:

$${}^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n$$

Isotooppien massat:

beryllium: m_{Be-9}= 9.012182 u

helium: m_{He-4}=4.0026033 u

hiili: m_{C-12}=12.000 000 u

neutronin massa m_n = 1.008 6650 u

Ratkaistaan reaktion massavaje Δm

$\Delta m = m_{Be-9} + m_{He-4} - 4m_e - 2m_e - (m_{C-12} - 6m_e + m_n)$

$= m_{Be-9} + m_{He-4} - m_{C-12} - m_n$

$= 9.012182 \cdot u + 4.0026033 \cdot u - 12. \cdot u - 1.008665 \cdot u$ ▸ $0.0061203 \cdot u$

Koska massavaje on postiivinen reaktiossa vapautuu energiaa.

8.3 (8 p)

Varaston aktiivisuus alussa A_0 = 6900 Bq

aika t = 72 h

radonin puoliintumisaika $T_{1/2}$=3,825 d= $3.825 \cdot 24 \cdot 3600$ ▸ 330480. s

Jokaisessa radonin hajoamisessa syntyy yksi alfa−hiukkanen. Lasketaan radon−ytimien määrä alussa ja 72 tunnin kuluttua.

Aktiivisuus A =λN, jossa λ=hajoamisvakio ja N on ytimien lkm.

Ratkaistaan hajoamisvakio yhtälöstä:

$$T_{1/2} = \frac{ln2}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{ln2}{T½} = \frac{\ln(2)}{330480 \cdot _s}$$ ▸ $0.000002097 \cdot _Hz$

Ytimien määrä alussa $N_0 = \frac{A_0}{\lambda} = \frac{6900 \cdot _s^{-1}}{2.097E{-}6 \cdot _s^{-1}}$ ▸ 3.29041488E9

Hajoamislain mukaan ytimien lukumäärä N

$N = N_0 e^{-\lambda t}$

Lasketaan ytimien lukumäärä 72 tunnin kuluttua:

$N = 3290414880. \cdot e^{-2.097E{-}6 \cdot _s^{-1} \cdot 72 \cdot 3600 \cdot _s}$ ▸ 1.91070304E9

Syntyneiden alfa−hiukkasten määrä on

$3290414880. - 1910703040.$ ▸ 1.37971184E9

≈ $1{,}4 \cdot 10^9$ kpl