

Problem 1. Vismutisotopen ^{214}Bi har en halveringstid på 19,9 minuter genom β -sönderfall. Det produceras också gammastrålning, bland annat med våglängder $\lambda_1 = 0,6711263$ picometer, $\lambda_2 = 1,00141$ pm och $\lambda_3 = 2,03484$ pm.

a) Vad är sönderfallsprodukten? Skriv fullständig sönderfallsformel. (2p)

Lösning: $^{214}\text{Bi} \rightarrow ^{214}\text{Po} + \beta^- + \bar{\nu}_e$

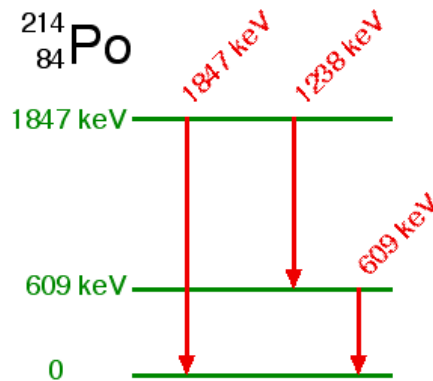
2

b) Rita produktkärnans tillåtna energier (i keV) i ett schema med minimalt antal nivåer. (Det givna lämnar två möjliga lösningar - båda svar räknas rätt.) (2p)

Lösning:

$\Delta E = h\nu = hc/\lambda$; i eV $\Delta E = hc/e\lambda = 1,23985 \cdot 10^{-6}/\lambda$. Det ger då energiskillnader på respektive 1847,420 keV, 1238,106 och 609,312 keV. Det behövs endast tre nivåer för att ge upphov till dessa våglängder. Experimentellt är följande figur den korrekta av båda möjliga lösningarna.

2



c) Vilket matematiskt samband finns det mellan de tre givna våglängderna? (2p)

Lösning: $\frac{1}{\lambda_1} \approx \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3}$, ett exempel på Rydberg-Ritz kombinationsprincip.

2

d) Gammastrålning med våglängd λ_1 detekteras efter Comptonspridning av en fri elektron genom en 90° -vinkel. Hur stor är våglängden nu? Hur stor är elektronens fart? (4p)

Lösning:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta) = \lambda_C (1 - \cos 90^\circ) = 2 \lambda_C;$$

$$\lambda' = \lambda_1 + 2\lambda_C = 0,671 + 2 \times 2,426 = 5,524 \text{ pm.}$$

Elektron tar upp energiskillnaden $\Delta E = \frac{hc}{e} \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda'} \right) = 1847 - 224 = 1623 \text{ keV}$.

Kinetiska energin är högre än elektronens vilomassa, så vi måste räkna fram dess fart med relativistiska formler: $\gamma = E_{tot}/mc^2 = \frac{1623+511}{511} = 4,176 = 1/\sqrt{1-v^2/c^2} \Rightarrow$

$$v = c\sqrt{1-1/\gamma^2} = \sqrt{0,943} c = 2,91 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

4

e) Hur stor är aktiviteten av en milligram ^{214}Bi ? (2p)

Lösning:

$$A = \lambda N = \frac{\ln 2}{19,9 \times 60} \times \frac{1 \cdot 10^{-6}}{214 \times 1,66 \cdot 10^{-27}} = 1,63 \cdot 10^{15} \text{ Bq; alternativ}$$

$$A = \frac{\ln 2}{19,9 \times 60} \times \frac{N_A \times 10^{-3}}{214} = 1,63 \cdot 10^{15} \text{ Bq.}$$

2

Problem 2. En väteatom befinner sig i det tredje exciterade tillståndet (dvs. $n = 4$). Till vilket tillstånd (vilket n) ska övergång ske för att atomen ska:

a) emittera ljus med kortast möjliga våglängd? (1p)

Lösning: $n = 1$ (kortaste våglängd betyder största energiskillnad)

b) emittera ljus med längst möjliga våglängd? (1p)

Lösning: $n = 3$

c) Ligger någon av de möjliga emissionsövergångarna i det synliga området (400-700nm)? I såfall, vilken? (1p)

Lösning:

Uttryckt i elektronvolt ligger det synliga områdets gränser vid 700 nm = 1,77 eV och 400 nm = 3,1 eV. Endast övergången $4 \rightarrow 2$ ligger vid $13,6(\frac{1}{4} - \frac{1}{16}) = 3,4 - 0,85 = 2,55$ eV i det synliga området.

d) Hur mycket energi krävs för att jonisera just denna väteatom? (Svar i eV) (1p)

Lösning: $E_b = 13,6/4^2 = 0,85$ eV.

1

1

1

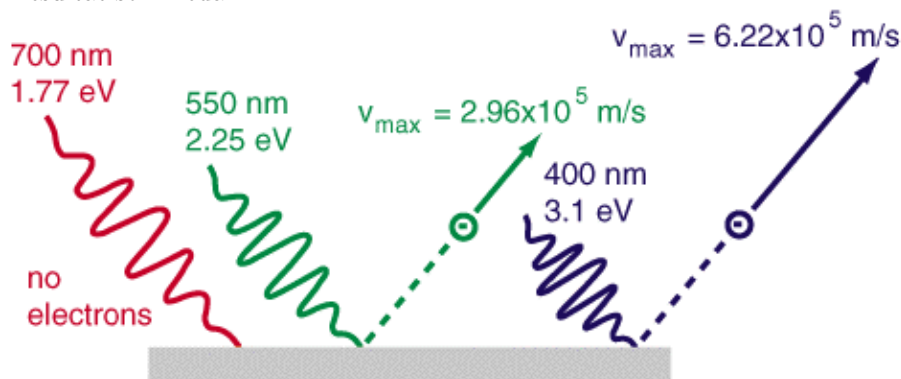
1

Problem 3. a) Ljus belyser en fotokatod varvid fotoelektroner med den kinetiska energin K emitteras. Hur ändras K om ljusintensiteten ökas? Motivera ditt svar. (2p)

Lösning:

K ändras inte, eftersom elektronens kinetiska energin endast beror på ljusets våglängd (frekvens). Ökad ljusintensitet ger bara ett proportionellt ökat antal fotoelektroner.

b) Vid ett experiment avsett att illustrera den fotoelektriska effekten används efter varandra tre våglängder. Mätningar av fotoelektronernas maximala hastighet ger resultat som nedan.



Vilket utträdesarbete har fotokatoden? (2p)

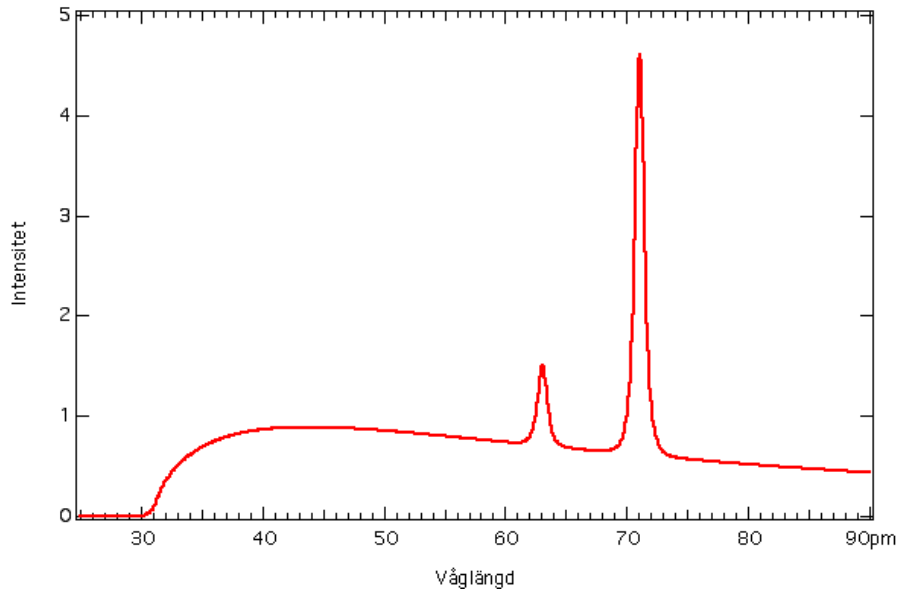
Lösning:

$E_{kin} = \frac{1}{2}m_e v^2 = \frac{1}{2} \times 9,11 \cdot 10^{-31} \times (2,96 \cdot 10^5)^2 = 4,0 \cdot 10^{-20}$ J = 0,25 eV; $W_f = h\nu - E_{kin} = 2,25 - 0,25 = 2,00$ eV.

$E_{kin} = \frac{1}{2}m_e v^2 = \frac{1}{2} \times 9,11 \cdot 10^{-31} \times (6,22 \cdot 10^5)^2 = 1,76 \cdot 10^{-19}$ J = 1,10 eV; $W_f = h\nu - E_{kin} = 3,1 - 1,1 = 2,0$ eV.

2

Problem 4. Ett visst röntgenrör avger strålning med ett spektrum som nedan.



a) Bestäm rörets accelerationsspänning. (2p)

Lösning: $E_{max} = \frac{hc/e}{\lambda_{min}} = \frac{1,24 \cdot 10^{-6}}{31 \cdot 10^{-12}} = 40 \text{ keV}$; högspänning: 40 kV.

2

b) Vilket grundämne består anoden av? (2p)

Lösning: $\lambda_{K\alpha} = 71 \text{ pm} \Rightarrow E(K\alpha) = 17,5 \text{ keV} \Rightarrow$ molybden enligt T-5.3. Även Moseley's formel ger $Z=42$.

2

c) Skissa i figuren röntgenrörets spektrum vid en högspänning på 19 kV. (2p)

Lösning: $\lambda_{min} = \frac{1,24 \cdot 10^{-6}}{19 \cdot 10^3} = 65 \text{ pm}$; ingen $K\alpha$ eftersom $E_{bindning}(1s) = 20 \text{ keV}$.

2

d) Rörets röntgenstrålning monokromatiseras med hjälp av en vridbar LiF-kristall (planavstånd 201 pm). Vid vilken vinkel reflekteras endast $K\beta$ -strålningen? Klargör med en skiss vilken vinkel du menar. (2p)

Lösning:

Braggs lag $n\lambda = 2d \sin \theta \rightarrow \theta = \arcsin \frac{63}{2 \times 201} = 9,0^\circ$. Det är den glänsande infallsvinkeln (inte vinkeln med planernas normal).

2