

KVANTOVÁ FYZIKA

Pr. 1

Výstupní práce sodíku je $W_V = 2,3 \text{ eV}$.

Jaká je minimální vlnová délka světla, která způsobí fotoelektrický jev?

$$W_V = 2,3 \text{ eV} = 2,3 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda_m = ? \text{ (m)}$$

- vyjdeme z rovnice fotoelektrického jevu

$$h \cdot f = W_V + \frac{1}{2} m_e v^2$$

- pro minimální vlnovou délku platí, že

$$E_k \text{ elektronů je } 0$$

- rovnice se zjednoduší na

$$h \cdot f = W_V \quad \text{a dále} \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

$$h \cdot \frac{c}{\lambda_m} = W_V$$

$$\lambda_m = \frac{h \cdot c}{W_V} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 299\,792\,458}{2,3 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}} \text{ m}$$

$$\lambda_m = 5,39 \cdot 10^{-7} \text{ m} = \underline{\underline{539 \text{ nm}}}$$

Pr. 2. Jád' bude kinetická energie a rychlost fotoelektronů, jež liší na povrch sodíku (vyř. práce $W_v = 2,3 \text{ eV}$) dopadne sádruí o ploché dílce 200 nm^2

$$W_v = 2,3 \text{ eV} = 2,3 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda = 200 \text{ nm} = 200 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

a) $E_k = ? \text{ (J)}$

b) $v = ? \text{ (m/s)}$

- analogicky dle Pr. 1. vyjdeme k rovnici fotoel. jevu

$$h \cdot f = W_v + E_k$$

a) $E_k = h \cdot f - W_v = h \cdot \frac{c}{\lambda} - W_v$

$$E_k = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 299\,792\,458}{200 \cdot 10^{-9}} - 2,3 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J} =$$

$$= 9,932 \cdot 10^{-19} - 3,685 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 6,24 \cdot 10^{-19} \text{ J} =$$

$$= \frac{6,24 \cdot 10^{-19}}{1,602 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = \underline{\underline{3,9 \text{ eV}}}$$

b) $E_k = \frac{1}{2} m_e v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 E_k}{m_e}}$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,24 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \text{ m/s} = \sqrt{1,4 \cdot 10^{12}} = \underline{\underline{1,2 \cdot 10^6 \text{ m/s}}}$$

Pr. 3. Jald' je frekvence a vlnova d'elka
fotomu RTG sd'ruzi s energi $E = 20,7 \text{ keV}$?

$$E = 20,7 \text{ keV} = 20,7 \cdot 10^3 \text{ eV} = 20,7 \cdot 10^3 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$f = ?$$

$$\lambda = ?$$

- pro energii fotomu plat' :

$$E = h \cdot f$$

- s tohoto vztahu vyjad'ime a vypoct'ame
frekvenci

$$f = \frac{E}{h} = \frac{20,7 \cdot 10^3 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}}{6,626 \cdot 10^{-34}} \text{ Hz}$$

$$\underline{f = 5 \cdot 10^{18} \text{ Hz}}$$

- vlnovou d'elku vypoct'ame se
vztahu

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{299\,492\,458}{5 \cdot 10^{18}} \text{ m}$$

$$\lambda \doteq 6 \cdot 10^{-11} \text{ m} = \underline{\underline{60 \text{ pm}}}$$

Pr. 4.

Jaká je vlnová délka fotonu zářivý, který vznikne v atomu vodíku při přechodu z hladiny $E_4 = -0,85 \text{ eV}$ na hladinu $E_3 = -1,5 \text{ eV}$? Jaké oblasti elektromagnet. spektra toto záření náleží?

$$E_4 = -0,85 \text{ eV}$$

$$E_3 = -1,5 \text{ eV}$$

$$\lambda = ? \text{ (m, nm)}$$

$$h \cdot f_{\text{um}} = E_n - E_m$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

- vyjde mi se skutečnost, že energie fotonu vysáraného při přechodu z E_4 na E_3 je rovna rozdílu energií těchto hladin

$$E = h \cdot f = E_4 - E_3 = -0,85 - (-1,5) \text{ eV}$$

$$h \cdot f = 0,65 \text{ eV} = 0,65 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

- dále dosadíme za frekvenci výraz $\frac{c}{\lambda}$

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = 0,65 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

- odtud vypočítáme λ :

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{0,65 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 299792458}{0,65 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}} \text{ m}$$

$$\lambda = 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ m} = \underline{\underline{1,9 \mu\text{m}}} \Rightarrow \underline{\underline{\text{odpovídá IR záření}}}$$

= 1900 nm

Pr. 5. Kolik fotonů za sekundu vyšla laser o výkonu 10^{12} W pracující na vlnové délce 1000 nm?

$$P = 10^{12} \text{ W} \quad t = 1 \text{ s}$$

$$\lambda = 1000 \text{ nm} = 10^3 \text{ nm} = 10^3 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 10^{-6} \text{ m}$$

$N = ?$ (počet)

- energie jednoho fotonu je $E_1 = h \cdot f$

- energie N fotonů je $E_N = N \cdot E_1 = N \cdot h \cdot f$

- výkon je práce (energie) vykonaná za jednotku času: $P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P \cdot t$

- práce laserem musí být stejná jako energie N fotonů

$$E_N = W$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{10^{-6}} = 3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$N \cdot h \cdot f = P \cdot t$$

$$N = \frac{P \cdot t}{h \cdot f} = \frac{10^{12} \cdot 1}{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{14}} \text{ fotonů}$$

$$\underline{\underline{N \approx 5 \cdot 10^{30} \text{ fotonů za 1 s}}}$$

Pr. 6 vypočítejte délku de Broglieovy vlny elektronu urychleného napětím 100 kV.

$$U = 100 \text{ kV} = 100 \cdot 10^3 \text{ V} = 10^5 \text{ V}$$

$$\lambda_D = ? \text{ (m, nm)}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

- de Br. vln. délku \bar{e} vypočítáme ze vztahu

$$\lambda_D = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_e \cdot v}$$

- a pomocí vztahu rovnáme rychlost, dle vlnové \bar{e}

$$E_{ke} = \frac{1}{2} m_e v^2 = e \cdot U$$

⇒ odtud

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 10^5}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \text{ m/s}$$

$$\underline{\underline{v \doteq 1,9 \cdot 10^8 \text{ m/s}}}$$

$$\lambda_D = \frac{h}{m_e \cdot v} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,9 \cdot 10^8} \text{ m}$$

$$\underline{\underline{\lambda_D \doteq 3,88 \cdot 10^{-12} \text{ m} \doteq 3,9 \text{ nm} \Rightarrow}}$$

oblast je zářivá

Pr. 7. Vypočítejte vlnovou délku fotonu,
ježhož hustnota je rovna hmotnosti
hustnotě elektronu.

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\lambda = ? \text{ (m, nm)}$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

energie fotonu

$$E = h \cdot f$$

klidová energie e^-

$$E_0 = m_0 c^2$$

$$h \cdot f = m_0 c^2$$

$$\frac{h \cdot c}{\lambda} = m_0 c^2$$

$$\lambda = \frac{h}{m_0 c} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^8} \text{ m}$$

$$\lambda = 2,4 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 2,4 \text{ pm}$$

- oblast
je zářivá

Pr. 8 Jaka je energija fotona a vertikalni
klasični ekvivalentni stanju atomu
vodika, jetkline fotona $E_n = \frac{E_1}{n^2}$
a $E_1 = -13,53 \text{ eV}$?

$$\underline{E_1 = -13,53 \text{ eV}}$$

$$E_5 = ? \text{ (eV)}$$

$$E_6 = ? \text{ (eV)}$$

$$E_5 = \frac{E_1}{5^2} = \frac{-13,53}{25} \text{ eV} = \underline{\underline{-0,54 \text{ eV}}}$$

$$E_6 = \frac{-13,53}{36} \text{ eV} = \underline{\underline{-0,38 \text{ eV}}}$$