

Fyzika pro chemiky II – příklady ke cvičením

Ústav fyziky kondenzovaných látek, PřF MU Brno

jarní semestr 2023

2. Příklady z kvantové fyziky

Úvod do fyziky mikrosvětla

1. Teplota Slunce je na většině jeho povrchu $T = 5800$ K, v oblasti slunečních skvrn je však pouze 4000 K. Vypočtete poměr intenzity záření Slunce v oblasti skvrn a normálního povrchu Slunce. Jaká je intenzita záření emitovaného Sluncem v oblasti skvrn?
2. Rentgenové záření o vlnové délce 0,0665 nm se rozptyluje na volných elektronech (Comptonův jev).
 - (a) Jakou největší vlnovou délku záření lze pozorovat u rozptýlených fotonů?
 - (b) Pod jakým úhlem rozptylu toto záření pozorujeme?
3. α -částice je vyslána přímo na jádro atomu zlata. α -částice má 2 protony, jádro zlata má 79 protonů. Jaká je minimální kinetická energie, aby se α -částice přiblížila k jádru Au na vzdálenost $5 \cdot 10^{-14}$ m? Předpokládejte, že jádro Au setrvává po celou dobu srážky v klidu.
4. Výkon žárovky je $P = 40$ W. Odhadněte řádově množství fotonů, které žárovka emituje každou sekundu.

Fotoefekt (fotoelektrický jev)

5. Výstupní práce wolframu je 4,5 eV. Spočtete největší rychlost elektronů emitovaných při dopadu světla o energii 5,8 eV na povrch wolframu.
6. Světlo dopadá na povrch sodíku a způsobuje fotoemisi. Brzdné napětí je pro emitované elektrony 5,0 V a výstupní práce sodíku je 2,2 eV. Jaká je vlnová délka dopadajícího světla?
7. Výstupní práce následujících kovů jsou: cesium $\phi_{\text{Cs}} = 2,1$ eV; měď $\phi_{\text{Cu}} = 4,7$ eV; zinek $\phi_{\text{Zn}} = 4,3$ eV.
 - (a) Jaká je mezní vlnová délka fotonů, které ještě způsobí emisi elektronů z těchto kovů?
 - (b) Které z těchto kovů nemohou emitovat elektrony, pokud jsou ozářeny viditelným světlem (400 až 700 nm)?
 - (c) Jaká může být maximální kinetická energie elektronu emitovaného krystalem zinku ozářeným UV zářením $\lambda = 200$ nm?
8. Určete červený práh fotoelektrického jevu pro cesium, které má výstupní práci 2,14 eV. Hodnotu červeného prahu vyjádřete ve vlnové délce a frekvenci. (Při jaké vlnové délce a frekvenci dojde k fotoefektu na povrchu cesia?)
9. První světelný zdroj má vlnovou délku λ způsobuje emisi elektronů z povrchu kovu s maximální kinetickou energií 1 eV. Druhý světelný zdroj má poloviční vlnovou délku prvního zdroje a způsobuje emisi elektronů z povrchu stejného kovu o maximální kinetické energii 4 eV. Určete výstupní práci kovu.

De Broglieho hypotéza

10. Elektron má de Broglieho vlnovou délku $2,8 \cdot 10^{-10}$ m. Určete:
 - (a) velikost jeho hybnosti,
 - (b) jeho kinetickou energii v Joulech a eV.

11. Vlnová délka žluté spektrální emisní čáry sodíku je 590 nm. Pro jakou kinetickou energii má elektron stejnou de Broglieho vlnovou délku?
12. Určete de Broglieovu vlnovou délku elektronového svazku urychleného napětím 20 kV.
13. Určete vlnovou délku následujících objektů:
 - Proton pohybující se rychlostí $3 \cdot 10^7$ m/s.
 - Těleso o hmotnosti 1 kg pohybující se rychlostí 1 m/s.
14. Nerelativistická částice se pohybuje třikrát rychleji než elektron. Podíl de Broglieho vlnové délky částice a vlnové délky elektronu je $1,813 \cdot 10^{-4}$. Určete hmotnost částice a tím i to, o jakou částice se jedná.

Atom vodíku a kvantové jámy

15. Kolik elektronů v atomu může mít hlavní kvantové číslo n ? Kolik elektronů v harmonickém oscilátoru může mít hlavní kvantové číslo n ?
16. Vodíkový atom emituje světlo o vlnové délce 102,6 nm. Mezi jakými hladinami (n_i, n_f) přechod proběhl?
17. Určete hodnotu energie potřebnou na převedení atomárního vodíku o hmotnosti 1 g ze základního do prvního excitovaného stavu.
18. S použitím Bohrova modelu vypočítejte poloměr oběžné dráhy elektronu v atomu vodíku pro stavy $n = 1$ a $n = 3$. Určete také rychlost elektronů a jejich energii v těchto stavech. Jaká bude vlnová délka fotonu vyzářeného při přechodu elektronu ze stavu $n = 3$ do stavu $n = 1$?
19. V Bohrově modelu atomu obíhá elektron po kruhové dráze kolem protonu. Pro poloměr dráhy $5,28 \cdot 10^{-9}$ cm určete rychlost obíhajícího elektronu.
20. Uvažte atom vodíku ve stavu $n = 4$.
 - (a) Jaká je maximální velikost orbitálního momentu L jeho elektronu?
 - (b) Jaká je maximální hodnota velikosti z -složky orbitálního momentu L_z jeho elektronu?
 - (c) Jaký je minimální úhel mezi \vec{L} a osou z ?
21. Najděte nejnižší energetickou hladinu částic:
 - (a) elektronu $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg v nekonečně hluboké kvantové jámě o šířce $5 \cdot 10^{-10}$ m (\approx rozměr atomu),
 - (b) protonu $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg v nekonečně hluboké kvantové jámě o šířce $1,1 \cdot 10^{-14}$ m (průměr jádra střední velikosti).

Výsledky dávají řádový odhad energií elektronů na elektronových slupkách a nukleárních částic vázaných v jádře.

22. Najděte energie elektronu ve třírozměrné kvantové jámě pro 3 nejnižší energetické stavy. Jáma má tvar krychle o stranách délky $L = 5 \cdot 10^{-10}$ m. Energie spočítejte v elektronvoltech i Joulech.

Rentgenová difrakce

23. Spočítejte frekvenci, energii a vlnovou délku spektrální čáry K_α pro
 - (a) Ca ($Z = 20$),
 - (b) Cd ($Z = 48$).

24. Určete Braggův úhel difrakce prvního řádu rtg záření o vlnové délce $1,541 \text{ \AA}$ na krystalové struktuře organického polovodiče PICEN, který má mezirovinnou vzdálenost $13,5 \text{ \AA}$.
25. K_α čára rtg záření detekovaného ze vzorku ostřelovaného elektrony má energii $7,46 \text{ keV}$. Atomy jakého prvku obsahuje vzorek?
26. Vazebná energie elektronů ve slupkách K a L mědi je rovna $8,979 \text{ keV}$ a $0,951 \text{ keV}$. Rentgenové záření K_α mědi dopadá na krystal NaCl a vychází po Braggově odrazu 1. řádu pod úhlem $74,1^\circ$ k rovině rovnoběžné s rovinami sodíku krystalu. Jaká je vzdálenost mezi těmito rovinami?

Nepovinné úlohy

úloha navíc Spočítejte energiový rozdíl mezi stavy $m_s = \frac{1}{2}$ (spin up) a $m_s = -\frac{1}{2}$ (spin down) atomu vodíku ve stavu $1s$, když je umístěn do magnetického pole $1,45 \text{ T}$ paralelního s negativním směrem osy z . Který z těchto dvou stavů má nižší energii?