

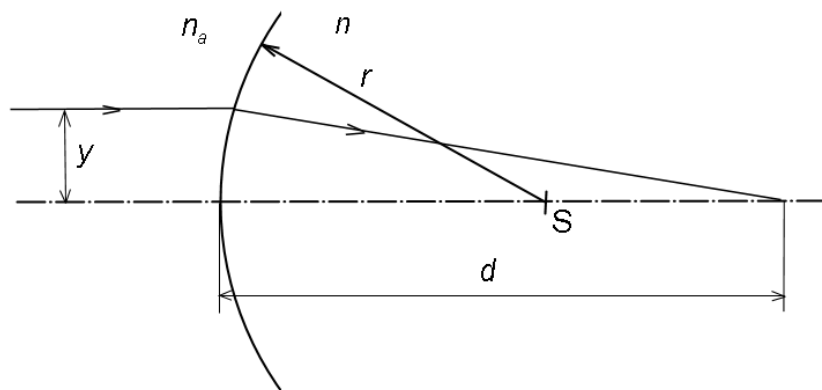
Fyzika pro chemiky II – příklady ke cvičením

Ústav fyziky kondenzovaných látek, PřF MU Brno

letní semestr 2013

1. Příklady z optiky

1. Rovinná elektromagnetická vlna o frekvenci $f = 5.45 \times 10^{14}$ Hz polarizovaná v rovině x, y se šíří ve směru osy x ve vakuu ($\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ F·m⁻¹, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H·m⁻¹). Intenzita elektrického pole má amplitudu E_0 .
 - (a) Určete rychlost elektromagnetického vlnění c , vlnovou délku λ a barvu, která této vlnové délce odpovídá.
 - (b) Napište rovnice elektromagnetické vlny $\vec{E} = \vec{E}(\vec{r}, t)$, $\vec{B} = \vec{B}(\vec{r}, t)$, kde $\vec{r}(x, y, z)$ je polohový vektor.
 - (c) Ověřte, zda tyto funkce vyhovují vlnové rovnici.
2. Paprsek se šíří prostředím s indexem lomu $n_a = 1$ podél osy kolmé na rozhraní ve vzdálenosti y od ní. Dopadá na rozhraní s prostředím o indexu lomu n , které má tvar kulové plochy o poloměru r , přičemž $r \gg y$. Ve kterém bodě protne paprsek optickou osu?



3. Předmět, který zobrazujeme tenkou čočkou s ohniskovou vzdáleností f , má velikost $Y = 2$ cm a je umístěn ve vzdálenosti $a = 10$ cm od čočky. Ohnisková vzdálenost je: (A) $f = -4$ cm, (B) $f = 5$ cm.
 - (a) Proveďte grafickou konstrukci obrazu.
 - (b) Vypočítejte vzdálenost obrazu od čočky.
 - (c) Vypočítejte zvětšení obrazu m .
 - (d) Určete, zda je obraz skutečný nebo zdánlivý.
4. Stínítko se dvěma malými otvory vzdálenými $d = 0.1$ mm je osvětleno rtuťovou výbojkou. Ze spektra Hg je přes filtr propuštěno pouze zelené monochromatické světlo s vlnovou délkou $\lambda = 546$ nm. Na rovinném stínítku ve vzdálenosti $D = 2$ m od prvního stínítka pozorujeme interferenční jev (Youngův pokus). Určete polohu (úhlovou i délkovou na stínítku):
 - (a) prvního minima ϑ_{m1} , y_{m1} ,
 - (b) desátého maxima ϑ_{M10} , y_{M10} .
 - (c) Nakreslete závislost intenzity světla I na vzdálenosti y od středu stínítka.
5. Při Youngově interferenčním pokusu prochází jeden paprsek kyvetou 2 cm dlouhou s planparalelními skleněnými stěnami. Je-li kyveta vyplněna vzduchem, pozorujeme interferenční jev. Je-li kyveta naplněna chlórem, posune se interferenční jev o 20 proužků. Celé uspořádání je v termostatu, který udržuje konstantní teplotu. Pokus provádíme se světlem čáry D sodíku ($\lambda = 589$ nm).
 - (a) Vypočítejte index lomu chlóru, je-li index lomu vzduchu $n = 1.000276$.
 - (b) Kterým směrem se posunují interferenční proužky při plnění kyvety chlórem?

6. Mýdlová bublina vytvoří uvnitř drátěného oka vodní film o tloušťce 320 nm. Index lomu vody je $n = 1.33$ a index lomu vzduchu je $n_0 = 1.00$.
- (a) Jakou barvu bude mít bílé světlo po kolmém odrazu od tohoto filmu?
 - (b) Vypočítejte vlnové délky λ_{M1} , λ_{M2} , λ_{m1} , λ_{m2} pro první dvě maxima a pro první dvě minima intenzity odraženého světla.
 - (c) Určete změnu fáze φ_1 při odrazu na prvním a φ_2 při odrazu na druhém rozhraní.
7. Antireflexní vrstva na skleněné čočce s indexem lomu $n_s = 1.5$ je vyrobena napařením tenké vrstvy MgF_2 , která má index lomu $n = 1.38$, na povrch skla. Vypočítejte tloušťku d antireflexní vrstvy tak, aby minimální intenzita odraženého světla ležela uprostřed viditelného spektra (vlnová délka $\lambda = 550$ nm). Index lomu vzduchu je $n_0 = 1.00$.
8. Pozorujeme-li Newtonovy kroužky ($\lambda = 450$ nm), které vznikají mezi ploskovypuklou čočkou a rovnou destičkou, je poloměr třetího světlého kroužku 1.06 mm. Nahradíme-li modrý filtr červeným, je poloměr pátého světlého kroužku 1.77 mm. Určete poloměr křivosti R čočky a vlnovou délku λ_c červeného světla.
9. Mřížka má 1000 vrypů na milimetr. Jaká je šířka vrypu, když interferenční maximum pátého řádu vymizí?

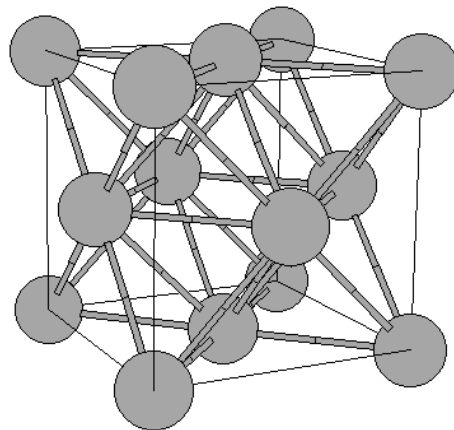
2. Příklady z kvantové fyziky

1. Teplota Slunce je na většině jeho povrchu $T = 5800$ K, v oblasti slunečních skvrn je však pouze 4000 K. Vypočítejte poměr intenzity záření Slunce v oblasti skvrn a normálního povrchu Slunce. Jaká je intenzita záření emitovaného Sluncem v oblasti skvrn?
2. 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?
3. 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?
4. 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 5×10^{-14} m? Předpokládejte, že jádro Au setrvává po celou dobu srážky v klidu.
5. 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 $n = 1$?
6. Elektron má de Broglieho vlnovou délku 2.8×10^{-10} m. Určete:
 - (a) velikost jeho hybnosti,
 - (b) jeho kinetickou energii v Joulech a eV.
7. Najděte nejnižší energetickou hladinu částic:
 - (a) elektronu $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg v nekonečně hluboké kvantové jámě o šířce 5×10^{-10} m (\approx rozměr atomu),
 - (b) protonu $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg v nekonečně hluboké kvantové jámě o šířce 1.1×10^{-14} m (průměr jádra střední velikosti).

Výsledky dávají řádový odhad energií elektronů na elektronových slupkách a nukleárních částic vázaných v jádře.
8. Najděte energie elektronu ve třírozměrné kvantové jámě pro 3 nejnižší energetické stavy. Jáma má tvar krychle o stranách délky $L = 5 \times 10^{-10}$ m. Energie spočítejte v elektronvoltech.
9. 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 ?
10. 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 T paralelního s negativním směrem osy z . Který z těchto dvou stavů má nižší energii?
11. K_α čára rtg záření detekovaného ze vzorku ostřelovaného elektronů má energii 7.46 keV. Atomy jakého prvku obsahuje vzorek?
12. Spočítejte frekvenci, energii a vlnovou délku spektrální čáry K_α pro
 - (a) Ca ($Z = 20$),
 - (b) Cd ($Z = 48$).

3. Příklady z fyziky kondenzovaných látek

- Najděte úhel θ mezi nejbližšími sousedními vazbami v mřížce křemíku. Zvažte, že každý atom křemíku je vázán ke čtyřem nejbližším sousedům, a ty jsou ve vrcholech pravidelného čtyřstěnu, jehož všechny stěny jsou rovnostranné trojúhelníky.
 - Najděte délku vazby z údaje, že atomy ve vrcholech čtyřstěnu jsou od sebe vzdáleny 388 pm.
- Vypočtěte mřížkový parametr a mědi, víte-li že hustota mědi je $8940 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, hmotové číslo je 63.55 a elementární buňka mědi je kubická plošně centrovaná (atomy mědi se nachází ve vrcholech krychle a ve středech stěn – viz obrázek níže).
 - Ukažte, že koncentrace vodivostních elektronů je $n = 8.4310 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$.



Krystalová struktura mědi.

- Pomocí následujícího vztahu určete Fermiho energii mědi

$$E_F = \left(\frac{3}{16\sqrt{2}\pi} \right)^{2/3} \frac{h^2}{m} n^{2/3}$$

a poté ověřte, že Fermiho rychlost je $v_F = 1.6 \times 10^6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- Vypočtěte driftovou rychlost elektronů v měděném drátu o průměru 1 mm, víte-li, že drátem teče proud o velikosti 1 mA. Tento výsledek porovnejte s Fermiho rychlostí z předchozího příkladu.
- Určete relaxační dobu τ elektronů v mědi, je-li její měrný odpor $1.7 \times 10^{-8} \Omega\cdot\text{m}$.
- Porovnejte plazmovou frekvenci mědi s plazmovou frekvencí ionosféry. Elektronová hustota elektronů v nejnižší vrstvě ionosféry (vrstva D) je v poledne $n_D = 1 \times 10^9 \text{ m}^{-3}$ a v nejvyšší vrstvě F₂ je $n_F = 1 \times 10^{12} \text{ m}^{-3}$. Jak souvisí vypočtené hodnoty s pásmy radiové komunikace?
- Jaká je pravděpodobnost, že stav 0.062 eV nad Fermiho energií bude obsazen při
 - $T = 0 \text{ K}$,
 - $T = 320 \text{ K}$?
- Jaká je maximální vlnová délka světla, které vybudí elektron z valenčního pásu diamantu do vodivostního pásu? Pás zakázaných energií je 5.5 eV.
 - V jaké části elektromagnetického spektra tato vlnová délka leží?
- Krystal chloridu draselného (KCl) má šířku zakázaného pásu 7.6 eV. Je tento krystal průhledný nebo neprůhledný pro světlo o vlnové délce $\lambda = 140 \text{ nm}$?
- Čistý křemík má za pokojové teploty koncentraci elektronů ve vodivostním pásu $5 \times 10^{15} \text{ m}^{-3}$ a stejnou koncentraci děr ve valenčním pásu. Předpokládejme, že jeden atom z každých 10^7 atomů křemíku je nahrazen atomem fosforu.
 - Jaký typ vodivosti bude mít tento dotovaný polovodič, n nebo p ?
 - Jakou koncentraci nosičů náboje přidá fosfor?
 - Jaký je podíl koncentrace nosičů náboje (elektronů ve vodivostním pásu či děr ve valenčním pásu) v dotovaném křemíku a v čistém křemíku?