

Praktikum školních pokusů

Úloha č. 2: Atomová a molekulová spektra

jarní semestr 2017

Obsah

E1 Určení Rydbergovy konstanty a stanovení ionizační energie	2
E2 Hmotnostní posun spektra deuteria	4
E3 Spin-orbitální konstanta sodíku a draslíku	6
E4 Stanovení vibračních konstant	8
E5 Měření teploty ze spojitého spektra wolframového vlákna pomocí Planckova vyzařovacího zákona	11

E 1 – Určení Rydbergovy konstanty a stanovení ionizační energie

Cíl

Stanovte Rydbergovu konstantu a určete ionizační energii atomu vodíku.

Vodík je atom, který má jeden valenční elektron. Struktura vodíkového spektra sestává z několika známých sérií spektrálních čar, viz obr. 1. Závislost mezi vlnovými délkami lze vyjádřit Rydbergovým vztahem:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{4}{364,56} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad m < n \quad (1)$$

kde λ je vlnová délka a R je Rydbergova konstanta. Výraz $\frac{1}{\lambda}$ se nazývá vlnčet. Např. série spektrálních čar, kde $m = 2$, se nazývá Balmerova. Spektrální čára $H\alpha$ je přechod mezi 3. a 2. energií hladinou, $H\beta$ mezi 4. a 2., ...

Experimentálně stanovená závislost (1) je v souladu s druhým Bohrovým postulátem – při přechodu atomu ze stavu s energií E_n do stavu s vyšší energií E_m atom absorbuje energii o velikosti $E_m - E_n$. Pro energii stavu atomu vodíku plyne

$$E_n = -Rhc \frac{1}{n^2}, \quad n = 1, 2, \dots, \quad (2)$$

kde h je Planckova konstanta a c je rychlost světla.

Pro $n = 1$ je $E_1 = -13,6$ eV a pro $n = \infty$ je $E_\infty = 0$ eV. Ionizační energie I je energie, kterou je nutné elektronu dodat, aby se stal volným. Tedy $I = E_\infty - E_1 = |E_1|$

Potřeby

- vodíková výbojová trubice H_2
- zdroj vysokého napětí pro výbojové trubice
- čočkový kolimátor
- spektrometr

Provedení

Konec optického vlákna umístíme do vzdálenosti přibližně 10–15 cm od středu trubice s vodíkem. V softwaru kompatibilním se spektrometrem nastavíme metodou pokus–omyl ideální integrační dobu tak, aby spektrální čáry nebyly zahlceny a objevilo se jich ve spektru co nejvíc. Pokud je to možné, na optické vlákno namontujeme čočkový kolimátor, který umožní zvýšit intenzitu spektra a tak zaznamenat slabší přechody série z vyšších hladin.

V naměřeném spektru identifikujeme spektrální čáry Balmerovy série a stanovíme jejich vlnčet. Do grafu vyneseme závislost vlnčtu na $\frac{1}{n^2}$, proložíme ji lineární funkcí a ze směrnice přímky stanovíme Rydbergovu konstantu.

Úkoly

1. Změřte spektrum atomu vodíku.
2. Podle obrázku 2 identifikujte spektrální čáry Balmerovy série a stanovte jejich vlnčet.
3. Do grafu vynesete závislost vlnčtu na $\frac{1}{n^2}$ a stanovte směrnici přímky nimi určené. Nebo můžete přímku určit ze dvou bodů, jejichž spojnice nejlépe odpovídá naměřenému trendu.

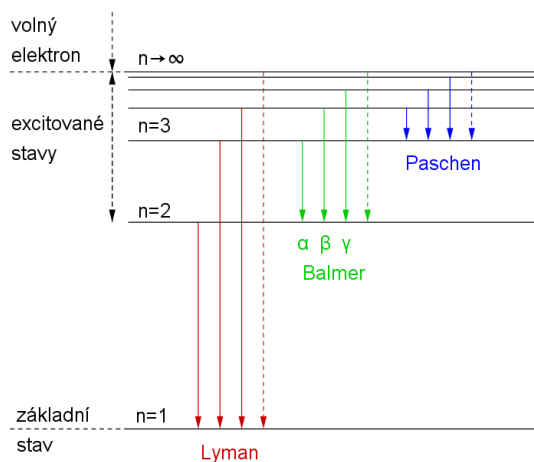
4. Stanovte Rydbergovu konstantu a ionizační energii atomu vodíku v jednotkách eV (neznámé hodnoty konstant a vztah pro převod jednotek energie si dohledejte na internetu).

Technické problémy

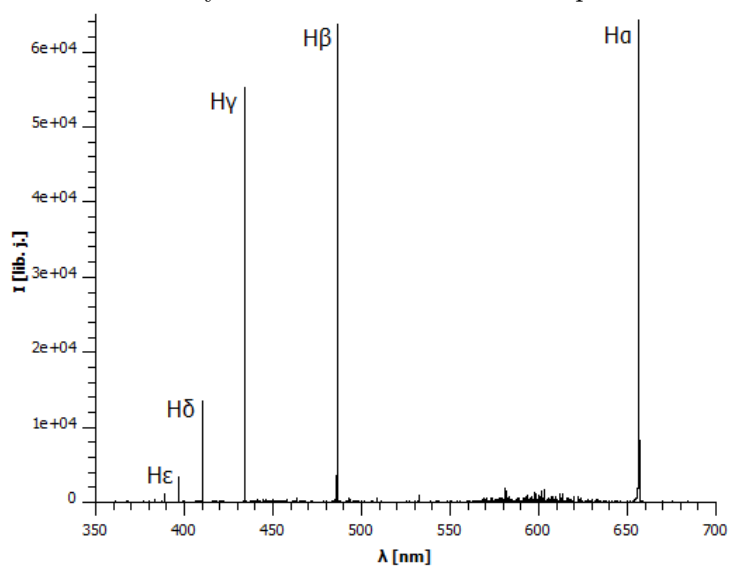
Pokud měříme spektrum vodíku na dvakrát (bez kolimátoru, s kolimátorem) je nutné integrační dobu nastavit pro každý způsob zvlášť. Pokud byly nejnižší přechody při měření bez kolimátoru dostatečně silné, lze čekat, že budou při měření s kolimátorem zahlceny. Intenzity spektrálních čar na nižších vlnových délkách jsou totiž menší.

Fyzikální interpretace

Experimentální stanovení Rydbergovy konstanty dovedlo Nielse Bohra k jejímu teoretickému odvození $R_\infty = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \frac{m_e e^4}{2\pi c h^3}$. Tím potvrdil svoji hypotézu, že energie atomů je kvantovaná, a že atom se dlouhodobě může nacházet ve zcela určitých stavech se zcela určitými energiemi.



Obr. 1: Vybrané serie čar vodíkového spektra.



Obr. 2: Balmerova serie atomu vodíku naměřena profesionálním spektrometrem.

E 2 – Hmotnostní posun spektra deuteria

Cíl

Změřte hmotnostní posun spektrálních čar $H\alpha$ a $D\alpha$.

Vlnové délky elektronových přechodů různých izotopů se liší tzv. hmotnostním posuvem. Těžiště soustavy jádro–elektron atomu vodíku se nachází na jejich spojnici. Kinetickou energii systému je možné rozdělit na pohyb těžiště a virtuální částice o redukované hmotnosti $\mu = \frac{m \cdot M}{m + M}$:

$$E = \frac{1}{2}(m + M)\dot{\vec{R}}^2 + \frac{1}{2} \frac{m \cdot M}{m + M} \dot{\vec{r}}^2, \quad (3)$$

kde m je hmotnost elektronu, M hmotnost jádra, \vec{R} poloha středu hmotnosti a \vec{r} rozdíl poloh částic této soustavy. První člen popisuje kinetickou energii pohybu těžiště o hmotnosti $m + M$. Kinetickou energii relativního pohybu popisuje druhý člen. Tak se do Rydbergovy konstanty dostane závislost na redukované hmotnosti a izotopy jednoho prvku by měly mít mírně odlišné vlnové délky spektrálních čar.

Deuterium je prvek, kterého jádro obsahuje jeden proton a jeden neutron. Jestliže stanovíme relativní rozdíl redukovaných hmotností μ_r vodíku a deuteria, získáme tak i relativní rozdíl vlnových délek (např. $H\alpha$ a $D\alpha$), neboť tento rozdíl je malý.

$$\begin{aligned} m_e &= 5,485\,799\,090\,70(16) \cdot 10^{-4} \text{ u} \\ \mu_D &= \frac{(m_p + m_n) \cdot m_e}{m_p + m_n + m_e} = 5,4843 \cdot 10^{-4} \text{ u} \\ \mu_H &= \frac{m_p \cdot m_e}{m_p + m_e} = 5,4828 \cdot 10^{-4} \text{ u} \\ \mu_r &= \frac{\mu_D - \mu_H}{\mu_H} = 2,7242 \cdot 10^{-4} \\ \lambda(H\alpha) - \lambda(D\alpha) &= \mu_r \cdot \lambda(H\alpha) = 0,179 \text{ nm} \end{aligned}$$

Potřeby

- deuteriová výbojka, výbojka H_2
- spektrometr

Provedení

Konec optického vlákna umístíme do deuteriové lampy. Pokud spektrometr dovoluje měnit rozlišení (např. šířkou štěrbin, průměrováním okolních bodů, ...) nastavíme rozlišení co nejvyšší. V softwaru kompatibilním se spektrometrem nastavíme metodou pokus–omyl ideální integrační dobu tak, aby spektrální čáry nebyly zahlceny. U obou výbojek změříme dvě čáry ($H\alpha$, $H\beta$, $D\alpha$ a $D\beta$).

Úkoly

1. Změřte spektrum atomu deuteria.
2. Určete vlnovou délku spektrální čáry $D\alpha$.
3. Stanovte rozdíl vlnových délek spektrálních čar $H\alpha$ a $D\alpha$.

Technické problémy

Rozlišovací schopnost spektrometru musí být dostatečná, aby spektrometr rozlišil posun spektrální čáry, který je v řádu desetiny nanometru. Je potřeba dbát na to, aby tloušťka čar byla co nejužší.

Fyzikální interpretace

Hmotnostním spektrálním posuvem lze stanovit izotop pozorovaného atomu.

Příloha

Odvození rovnice (3):

Kinetickou energii systému jádro a elektron rozdělíme na pohyb těžiště a pohyb virtuální částice o redukované hmotnosti. Nechť elektron má hmotnost m_1 a polohu \vec{r}_1 a jádro m_2 , \vec{r}_2 . Dále nechť \vec{R} je střed hmotnosti této soustavy těles a $\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$. Budeme řešit soustavu rovnic.

$$\begin{aligned}(m_1 + m_2)\vec{R} &= m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r}_2 \\ \vec{r} &= \vec{r}_2 - \vec{r}_1\end{aligned}$$

$$\vec{r}_2 = \vec{r} + \vec{r}_1$$

$$(m_1 + m_2)\vec{R} = m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r} + m_2\vec{r}_1$$

$$\begin{aligned}\vec{r}_1 &= \vec{R} - \frac{m_2}{m_1 + m_2}\vec{r} \\ \vec{r}_2 &= \vec{R} + \frac{m_1}{m_1 + m_2}\vec{r}\end{aligned}$$

Celková kinetická energie E se rovná součtu kinetických energií obou bodových nábojů.

$$\begin{aligned}E &= \frac{1}{2}m_1\dot{\vec{r}}_1^2 + \frac{1}{2}m_2\dot{\vec{r}}_2^2 \\ E &= \frac{1}{2}m_1\left(\dot{\vec{R}} - \frac{m_2}{m_1 + m_2}\dot{\vec{r}}\right)^2 + \frac{1}{2}m_2\left(\dot{\vec{R}} + \frac{m_1}{m_1 + m_2}\dot{\vec{r}}\right)^2 \\ E &= \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\dot{\vec{R}}^2 + \frac{1}{2}\frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2}\dot{\vec{r}}^2\end{aligned}$$

V našem případě $m_1 = m$ a $m_2 = M$.

E 3 – Spin–orbitální konstanta sodíku a draslíku

Cíl

Stanovte konstantu spin–orbitální interakce sodíku a draslíku.

Spin–orbitální interakce je jedna z interakcí probíhajících v atomu mezi elektronem a elektromagnetickým polem. K pochopení toho, jaký efekt má spinový magnetický moment na výslednou energii, je třeba zvážit systém, v kterém je elektron v klidu a jádro se pohybuje kolem něj. Pohybující se náboj vytváří magnetické pole úměrné orbitálnímu momentu hybnosti \vec{l} a magnetický moment je úměrný spinovému momentu hybnosti \vec{s} . Příspěvek k energii elektronu v magnetickém poli E_{so} je pak

$$E_{so} \sim \vec{l} \cdot \vec{s}. \quad (4)$$

Pro celkový moment hybnosti elektronu \vec{j} platí $\vec{j} = \vec{l} + \vec{s}$. Z rovnice $\vec{j}^2 = \vec{l}^2 + \vec{s}^2 + 2\vec{l} \cdot \vec{s}$ dostaneme $\vec{l} \cdot \vec{s} = \frac{1}{2}(\vec{j}^2 - \vec{l}^2 - \vec{s}^2)$.

Užitím vztahů mezi operátory momentu hybnosti a kvantovými čísly obdržíme pro (4):

$$E_{so} = \zeta_{nl} \frac{1}{2} [j(j+1) - l(l+1) - s(s+1)], \quad (5)$$

kde $j = l \pm s = l \pm 1/2$ a ζ_{nl} je tzv. konstanta spin–orbitální interakce.

Z hlediska spektroskopie považujeme alkalické kovy za „jednoelektronové“ atomy. Mají jeden elektron mimo zaplněné hladiny. Nejnižší energetický stav pro valenční elektron je stav s .

Pro značení hladin víceelektronových atomů se užívá značení LS . Zapisuje se ve tvaru $2S+1X_J$. Výraz $2S+1$ se nazývá **multiplicita**, S je spinový moment hybnosti ($\vec{S} = \sum \vec{s}_i$). J je celkový moment hybnosti všech elektronů v atomu, $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$, $J = |L-S|, \dots, L+S$. L je orbitální moment hybnosti ($\vec{L} = \sum \vec{l}_i$). X je číslo/písmeno, kterým se značí energetická podslupka, $X \in \{0 = S, 1 = P, 2 = D, 3 = F, 4 = G, 5 = H, \dots\}$. X je dané L .

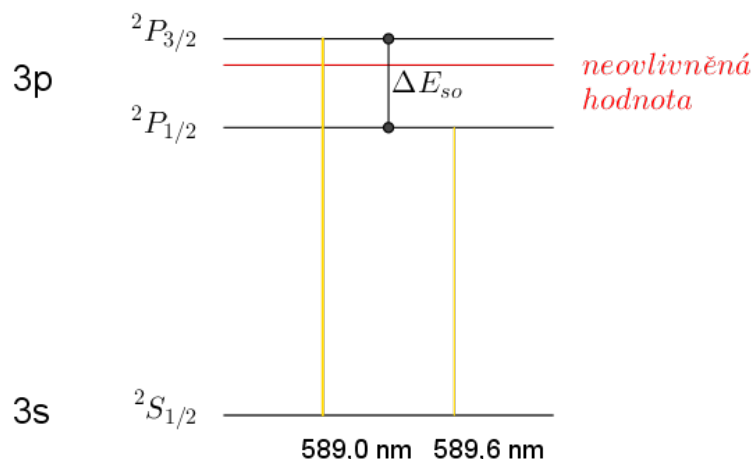
Alkalické kovy mají až na valenční elektrony zaplněné energiové slupky. S a L těchto slupek je tedy rovný nule. L atomu alkalického kovu se nevyhnutně rovná l jeho valenčního elektronu. S je rovné $1/2$ a multiplicita je 2 . $J = j = l - s, l + s$. Spektrální čáry jsou proto dublety (dvojice) a základní hladina u sodíku je $3s \ ^2S_{1/2}$. Nejnižší excitovaný stav je $3p$, s hladinami $^2P_{1/2}$ a $^2P_{3/2}$ (viz obrázek 3). V emisním spektru sodíku dominuje dublet $3s \ ^2S_{1/2} - 3p \ ^2P_{1/2}$ a $3s \ ^2S_{1/2} - 3p \ ^2P_{3/2}$. Při výboji dává charakteristickou žlutou barvu. V emisním spektru draslíku dominuje dublet $4s \ ^2S_{1/2} - 4p \ ^2P_{1/2}$ a $4s \ ^2S_{1/2} - 4p \ ^2P_{3/2}$, zabarven do červena.

Potřeby

- nízkotlaká sodíková lampa
- síran hlinito–draselný (kamenec)
- hořák s držákem na plamen, kleště
- spektrometr

Provedení

Spektrum sodíku získáme z nízkotlaké sodíkové lampy. Do vzdálenosti přibližně 15 cm od výbojky umístíme konec optického vlákna, v programu kompatibilním se spektrometrem nastavíme metodou pokus–omyl vhodnou integrační dobu a proměříme spektrum.



Obr. 3: Rezonanční dublet sodíku.

Spektrum draslíku získáme plamenovou spektroskopií. Do plamene např. propan–butanového hořáku kleštěmi vložíme kamenec a optické vlákno umístíme přibližně 10 cm od místa kontaktu plamene s kamencem a proměříme spektrum.

Odečteme vlnové délky dubletu sodíku a draslíku a podle návodu v sekci *Charakteristika* stanovíme kvantová čísla stavu elektronu. Pro každý stav vypočteme hodnotu příspěvku spin–orbitální energie (5) k celkové energii. Rozdíl vlnových délek je způsoben jen rozštěpením horních stavů.

Konstanta spin–orbitální interakce se v praxi vyjadřuje v jednotkách cm^{-1} . Pro horní hladiny rezonančních dubletů je její hodnota $11,5 \text{ cm}^{-1}$ (Na), $38,5 \text{ cm}^{-1}$ (K).

Úkoly

1. Změřte spektra sodíku a draslíku.
2. Určete vlnové délky rezonančních dubletů sodíku a draslíku.
3. Určete stav valenčního elektronu sodíku a draslíku daný kvantovými čísly n , l , s , j .
4. Spočítejte energetický rozdíl horních hladin sodíku a draslíku.
5. Stanovte velikost konstanty spin–orbitální interakce sodíku a draslíku.

Technické problémy

Rozlišovací schopnost spektrometru musí být dostatečná, aby rozlišil sodíkový dublet, jehož rozštěpení je v řádu desetin nanometru. Pokud máte malé rozlišení, proměřte aspoň rezonanční dublet draslíku.

Fyzikální interpretace

Hodnota konstanty spin–orbitální interakce vyjadřuje, jak spin–orbitální interakce v stavech popsaných čísly L , S přispívá k celkové energii atomu. Protože L , S jsou u rezonančních stavů alkalických kovů stejná, různé rozštěpení odpovídá různým číslům. Ta rostou s atomovým číslem. (V Coulombovském poli $\zeta \sim Z^4$.)

E 4 – Stanovení vibračních konstant

Cíl

Stanovte tuhost vazby molekuly dusíku.

Molekulová spektra jsou komplexnější než atomová. Narozdíl od atomů můžou molekuly rotovat i vibrovat a tyto pohyby jsou rovněž kvantovány. Při elektronovém přechodu se tedy může měnit i vibrační a rotační stav. Zanebáme-li příspěvek rotace, povolené energie vibrující molekuly jsou:

$$G(v) = \frac{E(v)}{hc} = T_e + \omega_e \left(v + \frac{1}{2} \right) - \omega_e x_e \left(v + \frac{1}{2} \right)^2, \quad (6)$$

kde ω_e a $\omega_e x_e$ jsou vibrační konstanty, T_e je minimální energie elektronového stavu a v je vibrační kvantové číslo, které nabývá hodnot 0, 1, 2, ... Konstanta ω_e odpovídá frekvenci vlastních kmitů ω molekuly

$$\omega_e = \frac{\omega}{2\pi c} = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{k}{\mu}},$$

kde c je rychlost světla, k tuhost vazby a μ redukovaná hmotnost molekuly. Pro případ homonukleární molekuly (hmotnost jader $M_1 = M_2$) se $\mu = \frac{M}{2}$, kde M je hmotnost jádra atomu.

Nechť v' je vibrační kvantové číslo stavu s vyšší hodnotou energie a v'' stavu s nižší hodnotou energie. Odečítáním výrazů-termů $G(v')$ a $G(v'')$ z rovnice (6) dostaneme vlnčet přechodu:

$$\frac{1}{\lambda} = T_e' - T_e'' + \frac{1}{2}(\omega_e' - \omega_e'') + \omega_e' v' - \omega_e'' v'' - \omega_e' x_e' \left(v' + \frac{1}{2} \right)^2 + \omega_e'' x_e'' \left(v'' + \frac{1}{2} \right)^2$$

Hodnoty vibračních konstant lze stanovit pomocí Deslandresovy tabulky (viz obr. 4). Vlnové délky hledaných spektrálních čar převedeme do jednotek vlnčtu (nejlépe cm^{-1}). Vlnčty přepíšeme na odpovídající místa tabulky a dle následujícího příkladu stanovíme vibrační konstanty.

$v' \backslash v''$	0	1	2	3
0	$\nu_{0,0}$	$\nu_{0,1}$	$\nu_{0,2}$	$\nu_{0,3}$
1	$\nu_{1,0}$	$\omega_e'' - 2\omega_e x_e''$	$\omega_e'' - 4\omega_e x_e''$	
2	$\nu_{2,0}$			
3	$\nu_{3,0}$	$2\omega_e x_e''$		

Diagramatické označení: $2\omega_e x_e'$ (levá strana), $\omega_e' - 2\omega_e x_e'$ (nad první sloupec), $\omega_e' - 4\omega_e x_e'$ (nad druhý sloupec).

Obr. 4: Deslandresova tabulka. Návod pro výpočet vibračních konstant.

Nechť první řádek Deslandresovy tabulky hypotetického spektra vypadá následovně:

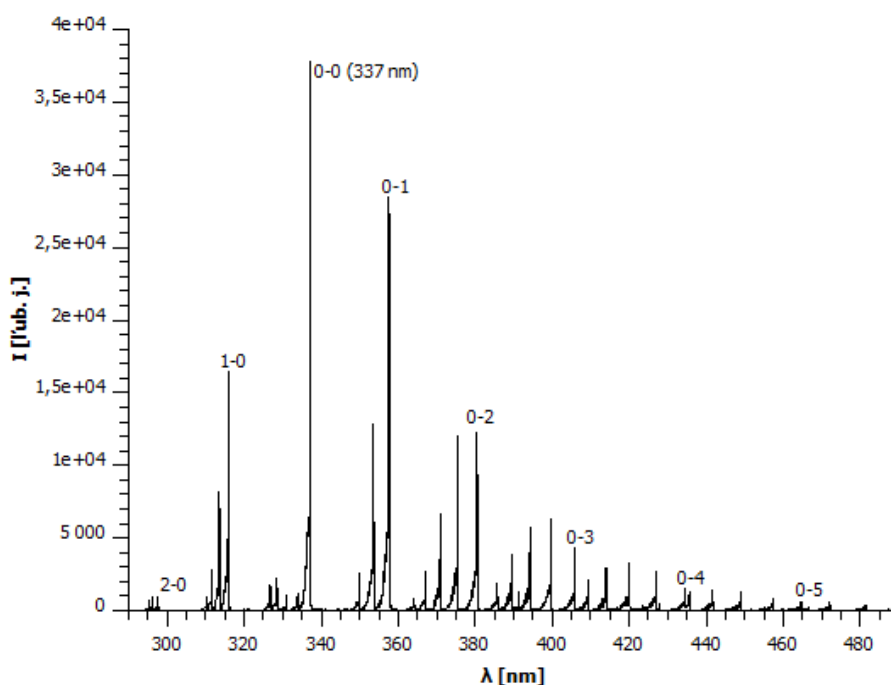
$v' \backslash v''$	0	1	2	3	4
0	30500	28000	26000	25000	23000

Podle obrázku 4 platí:

$$\begin{aligned}\omega_e'' - 2\omega_e''x_e'' &= 30500 - 28000 &&= 2500 \text{ cm}^{-1} \\ \omega_e'' - 4\omega_e''x_e'' &= 28000 - 26000 &&= 2000 \text{ cm}^{-1} \\ 2\omega_e''x_e'' &= 2500 - 2000 &&= 500 \text{ cm}^{-1}\end{aligned}$$

Následně pomocí třetího řádku stanovíme konstantu ω_e'' v prvním řádku, $\omega_e'' = 3000 \text{ cm}^{-1}$

Pro srovnání, tuhost běžné pružiny může být okolo 10 Nm^{-1} , zatímco tuhost vazby molekuly dusíku v excitovaném stavu může být okolo 1200 Nm^{-1} .



Graf 5: Spektrum molekuly dusíku v blízké UV oblasti. Pásky jsou čárkovány jako $v' - v''$.

Potřeby

- výbojová trubice N_2
- zdroj vysokého napětí pro výbojové trubice
- spektrometr

Provedení

Konec optického vlákna umístíme do vzdálenosti přibližně 10–15 cm od středu trubice N_2 . V softwaru kompatibilním se spektrometrem nastavíme metodou pokus–omyl ideální integrační dobu tak, aby spektrální čáry nebyly zahlceny a objevilo se jich ve spektru co nejvíc.

Úkoly

1. Změřte spektrum molekuly dusíku.
2. Podle grafu 5 identifikujte hledané spektrální čáry.
3. Do Deslandresovy tabulky vpište vlnočty a stanovte konstanty ω_e a $\omega_e x_e$.
4. Spočítejte tuhost vazby molekuly dusíku.

Technické problémy

Hledané spektrální pásy tzv. 2. pozitivního systému ($C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$) se nacházejí v blízké UV oblasti. Proto je nutné mít k dispozici spektrometr, který je v dané oblasti dostatečně citlivý. Vibrační konstanty ω_e' a $\omega_e x_e'$ se proto nemusí podařit stanovit.

Fyzikální interpretace

Určením konstant ω_e a $\omega_e x_e$ lze určit tuhost vazby mezi atomy, disociační energii, tvar potenciálu apod. Výsledná tuhost platí pro určitý elektronický stav.

Příloha

Tuhosti vazeb vybraných dvouatomových molekul.

molekula	HCl	HF	Cl ₂	F ₂	O ₂	NO	CO	N ₂
k [Nm ⁻¹]	516	964	320	445	1141	1548	1855	2241

E 5 – Měření teploty ze spojitého spektra wolframového vlákna pomocí Planckova vyzařovacího zákona

Cíl

Stanovte teplotu wolframového vlákna halogenové žárovky. Stanovte vliv korekce emisivitou na výslednou teplotu.

Příkladem spojitého spektra je spektrum halogenové žárovky. Její záření se v jisté míře podobá záření absolutně černého tělesa. Funkce, popisující průběh hustoty záření $\varrho_{\text{čt}}$ vztažené na $d\lambda$ je **Planckův vyzařovací zákon**

$$\varrho_{\text{čt}}(\lambda) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}, \quad (7)$$

kde h je Planckova konstanta, c rychlost světla, k Boltzmannova konstanta a T teplota.

$\varrho_{\text{čt}}$ je až na konstantu funkce, kterou bychom naměřili pro černé těleso s ideálním spektrometrem. Protože přístroje reagují různě na různé vlnové délky, naměřenou závislost je nutno opravit o jejich citlivost $c(\lambda)$. Hustotu energie záření v závislosti na vlnové délce získáme z podílu intenzity naměřeného spektra a citlivostní křivky na odpovídajících vlnových délkách:

$$\varrho_{\text{E}}(\lambda) = \frac{I_{\text{stud}}^m(\lambda)}{c(\lambda)} = I_{\text{stud}}^m(\lambda) \frac{I_{\text{kal}}^s(\lambda)}{I_{\text{kal}}^m(\lambda)},$$

kde I_{kal}^s je skutečná a I_{kal}^m je měřená intenzita kalibrační lampy. Takhle získanou křivku hustoty energie je možné proložit funkcí (7) a určit tak teplotu vlákna.

Wolframové vlákno ovšem nezáří jako černé těleso. Pro přesnější průběh hustoty záření wolframového vlákna je potřeba rovnici (7) vynásobit emisivitou na odpovídajících vlnových délkách:

$$\varrho_{\text{E}}(\lambda) = \varepsilon(\lambda, T) \cdot \varrho_{\text{čt}}(\lambda, T).$$

Emisivita ε je bezrozměrná veličina, která vyjadřuje schopnost povrchu vyzařovat elektromagnetické záření ve srovnání s černým tělesem. Hodnoty emisivity wolframového vlákna jsou tabulovány (viz graf 6). Pro náš účel je podstatná emisivita pro teplotu 3000 K v rozsahu 400–700 nm (viz graf 7). V této oblasti lze tuto křivku aproximovat lineární funkcí $\varepsilon(\lambda) = a + b\lambda$, kde $a = 0,523$ a $b = -1,537 \cdot 10^{-4}$. λ dosazujeme v nm.

Potřeby

- elektrický obvod s halogenovou žárovkou
- spektrometr

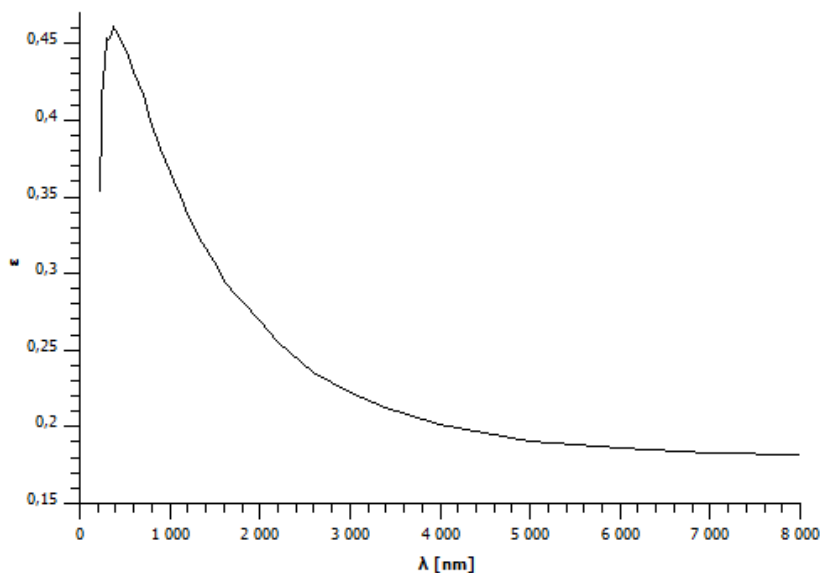
Provedení

Konec optického vlákna umístíme do vzdálenosti přibližně 10–15 cm od halogenové žárovky. V softwaru kompatibilním se spektrometrem nastavíme metodou pokus–omyl ideální integrační dobu tak, aby spojitě spektrum nebylo zahlceno. V tabulkovém editoru přiřadíme odpovídajícím vlnovým délkám citlivostní křivku spektrometru a emisivitu. Hodnoty I_{kal}^s najdete v souboru *fitteor_3065K_1,29E-4.txt*, hodnoty I_{kal}^m v souboru *HAL0001.txt*, umístěných na pracovní ploše. Získanou křivku hustoty energie jednou proložíme funkcí (7) a

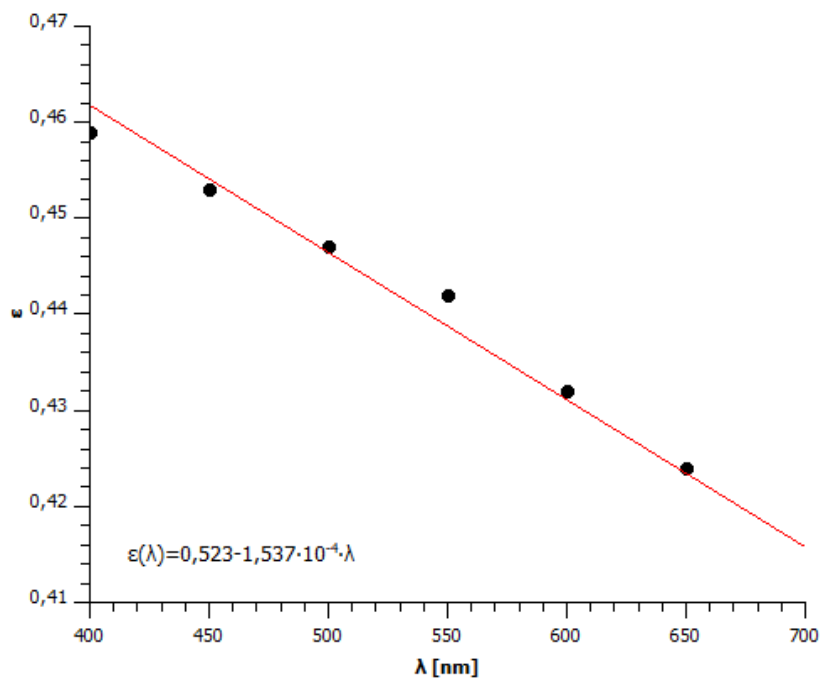
po druhé tou samou funkcí vynásobenou lineárním fitem emisivity. Jelikož Planckův vyzařovací zákon se mezi standardně fitovanými funkcemi nenachází, je nutné ho zadat ručně:

$$a \cdot \frac{8\pi hc}{x^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{xkT}} - 1} \cdot (-1,537 \cdot 10^{-4}x + 0,523),$$

kde x je vlnová délka v nm. Všechny konstanty kromě a a T jsme zadali vyčíslené.



Graf 6: Emisivita wolframového vlákna pro teplotu 3000 K v rozsahu vlnových délek 230–8000 nm.



Graf 7: Emisivita wolframového vlákna pro teplotu 3000 K v rozsahu vlnových délek 400–800 nm.

Úkoly

1. Změřte spektrum halogenové žárovky.
2. Určete hustotu energie záření wolframového vlákna.
3. Získanou hustotu fitujte Planckovým vyzařovacím zákonem jednou bez započítání emisivity, jednou s emisivitou.
4. Stanovte teplotu vlákna.

Technické problémy

Jako tabulkový editor je vhodné použít *QtiPlot*. Planckův vyzařovací zákon pak zadejte pomocí funkce *Analyze – FitWizard* v kategorii *User defined*. Nebo si vykreslete průběh $\varrho_E(\lambda)$ pro různé T a zvolte nejbližší funkci. Teoretickou funkci ale přenásobte takovou konstantou, aby bylo spektrum stejně intenzivní jako měřená křivka.

Fyzikální interpretace

Se zvyšujícím se výkonem žárovky se pozoruje vyšší teplota wolframového vlákna.