

UNIVERZITA KARLOVA

ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM IV.
PRO OBOR OBECNÁ FYZIKA

XX. Fourierovská infračervená spektroskopie

Autor:
Samuel Kočiščák

25. oktobra 2017

1 Pracovné úlohy

1. Premerajte rotačno vibračné absorpčné spektrum oxidu ohoľnatého v spektrálnej oblasti $2000\text{ cm}^{-1} - 2500\text{ cm}^{-1}$. Polohy absorpčných pásov spracujte graficky a lineárnou regresiou určite parametre vystupujúce v modeli pružného rotátora pre základný vibračný stav molekuly a prvý vibračný stav. Z týchto parametrov určite vzdialenosti jadier uhlíka a kyslíka v základnom a prvom excitovanom vibračnom stave.
2. Spočítajte teplotné a tlakové rozšírenie absorpčných pásov, určite rozdiel vibračnej frekvencie pre izotopoméry $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ a $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$. Porovnajme túto hodnotu s rozlíšením použitého spektrálneho prístroja.
3. Zmerajte spektrum bez vzorky, určite oblasti absorpcie oxidu uhličitého a vodných pár v optickej dráhe spektrometra. Interpretujte najvýraznejšie pásy absorpcie CO_2 .
4. Premerajte spektrá priepustnosti polyetylénovej a polypropylénovej fólie a interpretujte najvýraznejšie pásy.
5. Premerajte spektrá priepustnosti a odrazivosti sklenenej a zafírovej doštičky. Diskutujte rozdiel medzi oboma vzorkami.

2 Teoretická časť

2.1 Jednoduchý klasický model

Najjednoduchšie klasické priblíženie dvojatómovej molekuly je pružne viazaná dvojica hmotných bodov, ktorá dokáže kmitať. Frekvencia vlastných kmitov takéhoto rezonátora je^[5]:

$$\omega_v = \sqrt{\frac{f}{\mu}}, \quad (1)$$

kde f je konštanta určená väzbou, $\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ je redukovaná hmotnosť a ω_v je časová frekvencia. Tá prechádza na priestorovú frekvenciu (vlnčet $-\nu$) vzťahom

$$\nu = \frac{\omega_v}{c}, \quad (2)$$

kde c je rýchlosť svetla. Ak teda redukovanej hmotnosti μ_1 prislúcha vlnčet ν_1 , vlnčet ν_2 :

$$\nu_2 = \nu_1 \sqrt{\frac{\mu_1}{\mu_2}} \quad (3)$$

bude prislúchať redukovanej hmotnosti μ_2 .

2.2 Kvantovanie

Kvôli kvantovaniu vibračnej energie dvojatómovej molekuly (v priblížení parabolického potenciálu)

$$E_{vib} = \hbar\omega_v \left(n + \frac{1}{2} \right) \quad (4)$$

a rotačnej energie molekuly (v priblížení nemennej vzdialenosti jadier)

$$E_{rot} = \frac{L^2}{2I} = \frac{\hbar^2 J(J+1)}{2I} = BhJ(J+1) \quad (5)$$

existujú pre každú dvojatómovú molekulu len isté frekvencie (ekvivalentne len isté vlnočty) svetla, ktoré je schopná absorbovať. Pre zložitejšie molekuly platí, samozrejme, podobné tvrdenie, no s rastúcim počtom jadier v molekule rastie počet stupňov voľnosti, s ním počet vibračných a rotačných módov a absorpčné spektrum molekuly sa zahusťuje až do prakticky spojitého pre zložité organické molekuly a reťazce.

Pre reálne dvojatómové molekuly (nesplňajúce podmienku harmonickej potenciálu a podmienku tuhosti väzby) zavádzame opravu vzťahu 4:

$$E_{vib} = \hbar\omega_v \left(\left(n + \frac{1}{2} \right) - X_v \left(n + \frac{1}{2} \right)^2 \right), \quad (6)$$

kde koeficient *anharmonicity* X_v opravuje tvar potenciálu. Vzťah 5 opravíme na tvar:

$$E_{rot} = B_n h J(J+1) - D_n h (J(J+1))^2, \quad (7)$$

kde postupnosť *centrifugálnych distorznych konštánt* D_n zohľadňuje premenlivú vzdialenosť jadier v molekule a B_n je postupnosť *rotačných konštánt*.

Podľa [St] platí pre energiu P_j fotónu, ktorý dokáže iniciovať prechod P zo stavu j do stavu $j-1$:

$$P_j = \Delta E_v + h[B_1(j+1)(j+2) - D_1(j+1)^2(j+2)^2 - B_j(j+1) + D_0 j^2(j+1)^2], \quad (8)$$

kde B_1, D_1, B_0 a D_0 sú rotačné konštanty a centrifugálne distorzne konštanty pre nultý a prvý excitovaný stav. Obdobne pre energiu R_j prechodu R zo stavu j do stavu $j+1$ možno písať:

$$R_j = \Delta E_v + h[B_1(j+1)(j+2) - D_1(j+1)^2(j+2)^2 - B_0 j(j+1) + D_0 j^2(j+1)^2], \quad (9)$$

kde konštanty B_1, D_1, B_0 a D_0 sú ttožné s tými istými konštantami zo vzťahu 8. Zo vzťahov 8 a 9 možno vzájomným vydelením triviálne obdržať vzťahy

$$\frac{R_j - P_j}{h(2j+1)} = (2B_1 + 3D_1) - D_1(2J+1)^2 \quad (10)$$

a

$$\frac{R_{j-1} - P_{j+1}}{h(2j+1)} = (2B_0 - 3D_0) - D_0(2J+1)^2, \quad (11)$$

kde $(R_j - P_j)$ resp. $(R_{j-1} - P_{j+1})$ je afinnou funkciou $(2J+1)^2$.

Použitý model platí len pre dvojatómovú molekulu, pre zložitejšiu molekulu, ktorá má mnoho vibračných a rotačných módov treba vypracovať podobný model pre každý mód. Vo všeobecnosti platí, že čím je molekula zložitejšia, tým má viac absorpčných čiar.

2.3 Vzdialenosť jadier v molekule

Ak zanedbáme hotnosť elektrónov v molekule, možno z konštanty B definovanej ako

$$B = \frac{h}{8\pi^2 I}, \quad (12)$$

kde h je Plankova konštantá, určiť moment zotrvačnosti molekuly I ako

$$I = \frac{h}{8\pi^2 B}, \quad (13)$$

pričom z I možno ďalej určiť vzdialenosť jadier v dvojatómovej molekule:

$$I = \mu r^2 \Leftrightarrow r = \sqrt{\frac{I}{\mu}}, \quad (14)$$

kde μ je redukovaná hmotnosť systému dvoch telies zavedená ako

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}, \quad (15)$$

kde m_1 a m_2 sú hmotnosti jadier v molekule. Z predchádzajúceho teda zjavne platí vzťah:

$$r = \sqrt{\frac{h(m_1 + m_2)}{m_1 m_2 (8\pi^2 B)}} = \sqrt{\frac{h}{\mu 8\pi^2 B}}, \quad (16)$$

pomocou ktorého môžeme za znalosti rotačnej konštanty B a hmotnosti jadier určiť vzdialenosť týchto jadier v molekule.

2.4 Teplotné a tlakové rozmazanie absorpčných čiar

Podľa [St] platí pre teplotné rozmazanie absorpčných čiar vzťah

$$\delta\nu_T = \frac{\nu}{c} \sqrt{\frac{8kT}{m}} \ln 2, \quad (17)$$

kde ν je očakávaný vlnčet, $\delta\nu$ je FWHM rozmazania nameranej hodnoty spôsobené Dopplerovským posunom farby absorbovaného svetla, $c \approx 3 \times 10^8$ m/s je rýchlosť svetla vo vákuu, $k \approx 1,38 \times 10^{-23}$ J/K je Boltzmannova konštanta, $T \approx 300$ K je izbová teplota a m je hmotnosť molekuly.

Podľa [St] platí pre tlakové rozmazanie absorpčných čiar vzťah

$$\delta\nu_p = \left(\frac{T_{REF}}{T} \right)^{n_{air}} (\gamma_{air}(p - p_s) + \gamma_{self}p_s), \quad (18)$$

kde n_{air} je podľa [HP] málo odlišný od 1, pri izbovej teplote $T_{REF} \approx T$ a pre čistý plyn je $p_s = p$. Vzťah 18 sa teda za uvedených priblížení redukuje na približný tvar:

$$\delta\nu_p = \gamma_{self}p_s, \quad (19)$$

kde γ_{self} je podľa [HO] pre CO v spektrálnej oblasti okolo 2100 cm^{-1} približne $0,06 \pm 0,02$.

2.5 Meranie vo vzduchu

Pri meraní vo vzduchu možno typicky pozorovať výraznú absorpciu infračerveného svetla molekulami CO_2 a vody.

Molekula CO_2 môže vibrovať symetricky, antisymetricky aj deformačne. Má preto mnoho rôznych prechodov a zložitú absorpčné spektrum. Absorpčná oblasť izotopoméru $^{16}\text{O}^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ je podľa [St] medzi 2280 cm^{-1} a 2390 cm^{-1} pre niektoré prechody, pre iné však medzi 520 cm^{-1} a 720 cm^{-1} alebo 3500 cm^{-1} a 3800 cm^{-1} . Absorpčná oblasť izotopoméru $^{16}\text{O}^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ je posunutá mierne k nižším vlnčotom, podľa rovnakého zdroja je napríklad medzi 2240 cm^{-1} a 2310 cm^{-1} .

V pozorovanom obore vlnčotov je pozorovateľná absorpcia na vodných parách v oblasti 1300 cm^{-1} až 1800 cm^{-1} a 3500 cm^{-1} až 4000 cm^{-1} . Absorpčné čiary vody sú nápadne zložené a navzájom sa prekrývajúce.

3 Výsledky merania

Všetky meranie prebehli v priestoroch Fyzikálneho ústavu, na spektrometri *Bruker Vector 33*.

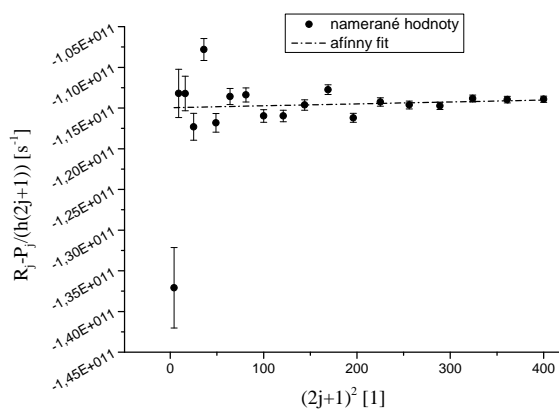
3.1 Rotačná konštanta a vzdialenosť jadier v molekule CO

Absorpčné spektrá CO_2 sme merali s apertúrou $1,4 \text{ mm}$, s rozlíšením $0,35 \text{ cm}^{-1}$ v rozsahu vlnčotov 2000 cm^{-1} až 2500 cm^{-1} . Pred samotným meraním sme prístroj skalibrovali pomocou do softvéru vstavanej funkcie. Samotná meraná vzorka bola kveta s CO pri tlaku 7 mbar s vstupným aj výstupným okienkom CaF_2 . Výsledné namerané spektrum možno vidieť v prílohe, graf na obrázku ap.1.

V grafe je jasne vidieť P oblasť (ľavá polovica čiar) a R oblasť (pravá polovica čiar). V súlade s teóriou pre dvojatómovú molekulu, Q oblasť nie je pozorovaná.

Softvér analyzoval polohy peakov zodpovedajúcich jednotlivým čiarom absorpcie. Tieto sme označili P_j pre ľavú časť, indexované od 1 od stredu smerom doľava a R_j

indexované od 0 od stredu smerom doľava. Zodpovedajú stavom j , z ktorých molekuly prešli prechodom P resp. R do stavu $j-1$ resp. $j+1$. V grafe na obrázku 1 je zobrazená závislosť $R_j - P_j$ vydelená faktorom $h(2j+1)$ v závislosti od $(2j+1)^2$, preto je v súlade s teóriou (viď vzťah 10) preložená afinnou funkciou $y = ax + b$. Chybné úsečky sú určené ako $\sqrt{2}$ -násobok chyby určenia polohy P_j , resp. R_j (tieto sú totožné, dané rozlišovacou schopnosťou prístroja – 1 bin).



Obr. 1: Graf závislosti redukovaného rozidelu energií pre j -tý prechod na štvorci čísla stavu

Koeficienty určené fitovaním sú $a = 2(3) \times 10^6 \text{ s}^{-1}$ a $b = -1,15(1) \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$. Keďže $a = D_1$, potom vďaka $b = 2B_1 - 3D_1$ platí $B_1 = \frac{b-3a}{2}$. Poznáme teda konštanty

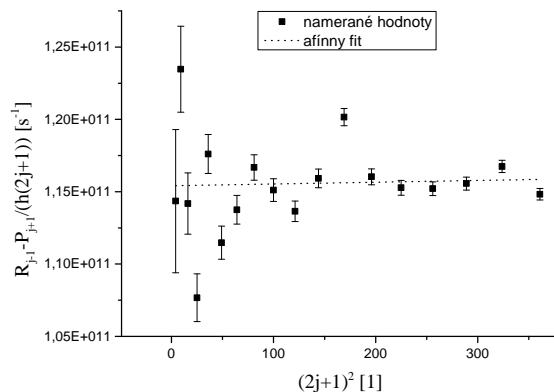
$$D_1 = 2(3) \times 10^6 \text{ s}^{-1} \quad (20)$$

a

$$B_1 = 5,8(1) \times 10^{10} \text{ s}^{-1}, \quad (21)$$

ktorých chyby sme určili podľa rovnakých vzťahov, ako konštanty samotné.

Podobne spracujeme aj závislosť $R_{j-1} - P_{j+1}$ vydelená faktorom $h(2j+1)$ v závislosti od $(2j+1)^2$. Možno ju vidieť vr grafe na obrázku 2 preloženú afinnou funkciou $y = ax + b$.



Obr. 2: Graf závislosti redukovaného rozidelu energií pre $j - 1$ R prechod a $j + 1$ P prechod na štvorci čísla stavu

Koeficienty určené fitovaním sú $a = 1(5) \times 10^6 \text{ s}^{-1}$ a $b = 1,15(1) \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$. Keďže $a = D_0$, potom vďaka $b = 2B_0 - 3D_0$ platí $B_0 = \frac{b-3a}{2}$. Poznáme teda konštanty

$$D_0 = 1(5) \times 10^6 \text{ s}^{-1} \quad (22)$$

a

$$B_0 = 5,8(1) \times 10^{10} \text{ s}^{-1}, \quad (23)$$

ktorých chyby sme určili podľa rovnakých vzťahov, ako konštanty samotné.

Vzdialenosť jadier C a O spočítame podľa 16. Redukovanú hmotnosť sústavy dvoch jadier možno určiť jednoducho:

$$\mu = \frac{m_O m_C}{m_O + m_C} \approx \frac{12 * 16}{12 + 16} \approx 6,86 m_u \approx 1,14 \times 10^{-26} \text{ kg}, \quad (24)$$

kde m_u je atómová hmotnostná konštanta, s hodnotou podľa [Wi] $m_u \approx 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$. Po dosadení B_0 do 16 zistíme, že:

$$r = 1,13(200) \times 10^{-10} \text{ m}, \quad (25)$$

pričom rovnakú hodnotu dostávame kvôli značnej nepresnosti aj pre B_1 , teda prvý excitovaný stav. K tejto (ne)zhode sa vrátíme v diskusii.

Skúsme ešte zo zaujímavosti, akú vzdialenosť r dostaneme pre molekulu CO s izotopom ^{13}C . Potom

$$\mu \approx \frac{13 * 16}{13 + 16} \approx 7,17 m_u \approx 1,19 \times 10^{-26} \text{ kg}, \quad (26)$$

teda

$$r = 1,10(200) \times 10^{-10} \text{ m}, \quad (27)$$

čo je malý rozdiel, na hranici rozlišovacej schopnosti experimentu, teda by sme nedokázali spoľahlivo rozlíšiť izotopomér $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ od $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$.

3.2 Identifikácia izotopomérov

Podľa vzťahu 17 možno dopočítať, že teplotné rozmazanie je pre náš plyn s hmotnosťou $m \approx 4,65 \times 10^{-25} \text{ kg}$ pri izbovej teplote $T \approx 300 \text{ K}$ a vlnočte $\nu \approx 2000 \text{ cm}^{-1} = 2 \times 10^5 \text{ m}^{-1}$ približne:

$$\delta\nu_T \approx 0,15 \text{ m}^{-1} = 1,5 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}, \quad (28)$$

čo je oveľa menej, ako rozlišovacia schopnosť prístroja $\nu_{min} = 3,5 \times 10^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

Tlakové rozmazanie čiary je podľa vzťahu 19 pre (horný odhad) $\gamma_{CO} \approx 0,07$ a tlak (v kyvete) $p_s \approx 7 \text{ mbar} \approx 700 \text{ Pa}$ približne:

$$\delta\nu_p \approx 49 \text{ m}^{-1} = 0,49 \text{ cm}^{-1}, \quad (29)$$

čo je tesne nad hranicou rozlišovacej schopnosti prístroja, teda náš prístroj dokáže rozoznať, že čiary nie sú úplne bodové, ale majú nejakú nenulovú šírku.

Ak vieme, že vibračný vlnočet ν_{12} vibrácií izotopoméru $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ je približne 2140 cm^{-1} , vibračný vlnočet izotopoméru $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ bude podľa vzťahu 3

$$\nu_{13} = \nu_{12} \sqrt{\frac{\mu_{12}}{\mu_{13}}} \approx 2140 \text{ cm}^{-1} \sqrt{\frac{12 \cdot 16}{13 \cdot 16}} \approx 2090 \text{ cm}^{-1}, \quad (30)$$

teda $\nu_{12} - \nu_{13} \approx 50 \text{ cm}^{-1}$. Takýto rozdiel by mal byť pozorovateľný.

3.3 Meranie bez vzorky

Pri nekalibrovanom meraní (bez odčítania pozadia) absorpcie vo vzduchu možno pozorovať výrazné absorpčné čiary CO_2 a H_2O . Meranie absorpcie v oblasti vlnočtov 500 cm^{-1} až 4500 cm^{-1} s rozlíšením $0,35 \text{ cm}^{-1}$ je vyobrazené v grafe na obrázku ap.2.

Možno v ňom identifikovať oblasti absorpcie svetla vodnými parami, ako aj oblasti absorpcie svetla molekulami CO_2 , v súlade s popisom v stati 2.5.

Nutno podotknúť, že v oblasti približne 700 cm^{-1} sme pozorovali aj Q prechody pri zmene deformačných módov vibrácií.

V oblasti približne 3700 cm^{-1} sa majú nachádzať okrem absorpčných pásov vodných pár aj absorpčné pásy izotopoméru $^{16}\text{O}^{12}\text{C}^{16}\text{O}$, no len preto, že čitateľ vie, že sa tam majú nachádzať. Rozhodne ich nemožno identifikovať bez predošlej vedomosti o nich.

3.4 Polyetylén a polypropylén

Pri meraní spektier priepustnosti fólií sme pre úsporu času znížili rozlíšenie spektrometra na 2 cm^{-1} .

Polyetylénovú (PE) fóliu od polypropylénovej (PP) možno odlíšiť veľmi jednoducho, keďže, PE je len reťazec vzniknutý polymerizáciou eténu, teda ide o pomerne jednoduchý, hoc polymérny, uhľovodík s reťazcom uhlíkov a dvomi vodíkmi na každom z nich. PP je reťazec uhlíku, ktorý má však na každom druhom uhlíku namiesto jedného vodíku metylovú skupinu. PP je teda zložitejší, bude mať oveľa viac vibračných módov a zložitejšie absorpčné spektrum.

V oblasti vlnočtov 500 cm^{-1} až 4000 cm^{-1} sme premerali priepustnosť PP aj PE fólie bez znalosti toho, ktorá je ktorá. Spektrá priepustnosti týchto fólií, rovnako ako spektrum priepustnosti PE sáčku (ktorý je oveľa tenší, než skúmané fólie) možno vidieť v grafoch na obrázku ap.3.

Fólia č. 2 je zjavne PE, keďže jej absorpčné spektrum je znateľne jednoduchšie, než absorpčné spektrum fólie č. 1 a zároveň sa podobá na absorpčné spektrum PE sáčku.

Pri meraniach všetkých fólií jasne vidno aj absorpčné pásy vodných pár, ktoré sú natoľko zložité, že ich nemožno odstrániť kalibráciou.

Aj keď fólia č. 2 a sáčok sú PE, pravdepodobne majú v sebe isté prímiesy, ktoré spôsobujú absorpčné peaky v oblasti 1400 cm^{-1} pre fóliu č. 2 a 700 cm^{-1} a 1000 cm^{-1} pre sáčok.

Na sáčku je vďaka menšej hrúbke a celkovo teda nevýraznejšej absorpcii pozorovateľné rozštiepenie absorpčných peakov v oblasti okolo 2800 cm^{-1} . Náznak tohto rozštiepenia je pozorovateľný aj na fólii č. 1, ktorá, aj napriek chemickej odlišnosti, zdieľa s ostatnými dvomi fóliami silné absorpčné peaky v oblasti okolo 280 cm^{-1} .

Do pozornosti dávame aj vedľajší pozorovaný efekt – interferenciu na vrchnej a spodnej strane oboch fólií, ktorú možno vidieť v oblasti do 700 cm^{-1} .

3.5 Transmisia a reflexia sklenej a zafírovej doštičky

Merali sme priepustnosť aj odrazivosť sklenej aj zafírovej doštičky, všetky merania s rozlíšením 2 cm^{-1} . Zo spektrier priepustnosti (graf na obrázku ap.4) jasne vidno, že zafírová doštička v danom obore prepúšťa svetlo lepšie, než sklo a má aj jednoduchšiu závislosť priepustnosti.

Na grafoch dorazivosti (viď. obrázok ap.5) vidno, že zafír je v infračervenom obore o niečo odrazivejší, ako sklo.

Na grafoch priepustnosti aj odrazivosti oboch doštičiek vidno všadeprítomné absorpčné pásy vody a CO_2 . Na grafoch priepustnosti a čiastočne aj na grafe odrazivosti skla vidieť interferenčnú vzorku.

Pri porovnaní s predpoveďou na základe Drudeho modelu (viď [St], stať 1.3.2) možno charakterizovať kvalitatívnu zhodu v tvare spektra priepustnosti aj odrazivosti zafíru, o niečo menej potom v sprektách priepustnosti a odrazivosti skla.

4 Diskusia výsledkov

To, že sme namerali rovnakú konštantu B_0 a B_1 a tranzitívne teda rovnaké vzdialenosti jadier C a O v molekule CO v relaxovanom a prvom excitovanom stave znamená, že priblíženie tuhého rotátora by bolo v našom obore energií s našou presnosťou merania oprávnené.

Podľa [CO] je vzdialenosť jadier C a O v molekule CO približne $r \approx 1,128 \text{ \AA}$. To je dobrá zhoda s nami určenou hodnotou $r = 1,13 \text{ \AA}$.

Pri našich podmienkach prevláda zjavne tlakové rozmazanie absorpčných čiar nad tepelným. To, že jeho hodnota je zhruba tak veľká, ako bin (rozlíšenie) prístroja je veľmi dobré, pretože ak by bolo rozmazanie oveľa menšie, mohli by (kvôli bodovému charakteru merania) niektoré čiary úplne zaniknúť. Ak by bolo rozmazanie príliš veľké, čiary by mohli splývať. Voľba tlaku plynu v kyvete 7 mbar je teda veľmi vhodná.

V grafe na obrázku ap.1 by mali byť (vzhľadom na rozsah) pozorovateľné aj absorpčné čiary izotopoméru $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$, no nie sú. Jedným vysvetlením je, že prekrývajú a oproti oveľa silnejším čiarom izotopoméru $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ nie sú viditeľné. Iným vysvetlením môže byť, že v meranom plyne izotopomér $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ vôbec nie je prítomný, čo nemôžeme vylúčiť, o tomto plyne v podstate nič nevieme.

To, že sklo nesedí s Drudeho modelom tak dobre, ako zafír, nemožno vysvetliť tým, že by molekula SiO_2 bola zložitejšia, než molekula Al_2O_3 . Pravdepodobne ide teda o vlastnosť konkrétnych atómov v molekule skla alebo je nezhoda spôsobená prímiesami v skle. O tomto skle taktiež v podstate nič nevieme. Autor si dovoľí hádať, že dôvodom bude prímies v skle, keďže závislosť trochu pripomína súčin dvoch závislostí s rôznymi plazmovými frekvenciami.

5 Záver

Premerali sme rotačno vibračné absorpčné spektrum CO v spektrálnej oblasti 2000 cm^{-1} – 2500 cm^{-1} a na základe fitovania parametrov modelu pružného rotátora sme určili vzdialenosť jadier C a O v molekule na približne $1,13 \text{ \AA}$, čo je v dobrej zhode s tabuľkovou hodnotou. Nezistili sme žiadny rozdiel medzi vzdialenosťou jadier v základom a prvom excitovanom stave.

Spočítali sme talkové aj teplotné rozmazanie absorpčných čiar a ako hlavný zdroj rozmazania sme určili tlakový člen.

Zmerali sme spektrum bez vzorky a diskutovali sme absorpčné spektrá vo vzduchu prítomných absorbujúcich molekúl vody a oxidu uhličitého.

Premerali sme spektrá priepustnosti PE a PP fólie a diskutovali sme výsledky.

Premerali sme spektrá priepustnosti aj odrazivoasti zafirovej aj sklenenej doštičky a diskutovali sme rozdiely v spektre a zhodu s Drudeho modelom voľných elektrónov.

6 Zoznam použitej literatúry

- [St] Kolektív ZFP KVOF MFF UK. *Študijný text k meraniu: Spektroskopie s Fourierovou transformáci.* [cit. 2017-10-13]. URL: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_420.pdf>.
- [Wi] Kolektív WIKIMEDIA project. *Wikipédia: Atomová hmotnostní konstanta* [cit. 2017-10-24]. URL: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Atomová_hmotnostní_konstanta>.
- [HP] Rothman, L. S., Jacquemart, D., Barbe, A., Chris Benner, D., Birk, M., Brown, L. R., ... Wagner, G. (2005). The HITRAN 2004 molecular spectroscopic database. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 96(2), 139–204. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2004.10.008>
- [HO] Kolektív HITRAN online. *Data Access: Line-by-Line Search* [cit. 2017-10-24]. URL: <http://hitran.org/lbl/5?output_format_id=1&iso_ids_list=26%2C27&vib_bands=&numin=2000&numax=2200>.
- [CO] Kolektív WIKIMEDIA project. *Wikipédia: Oxid uhoľnatý* [cit. 2017-10-24]. URL: <https://sk.wikipedia.org/wiki/Oxid_uho%C4%BEnat%C3%BD>.