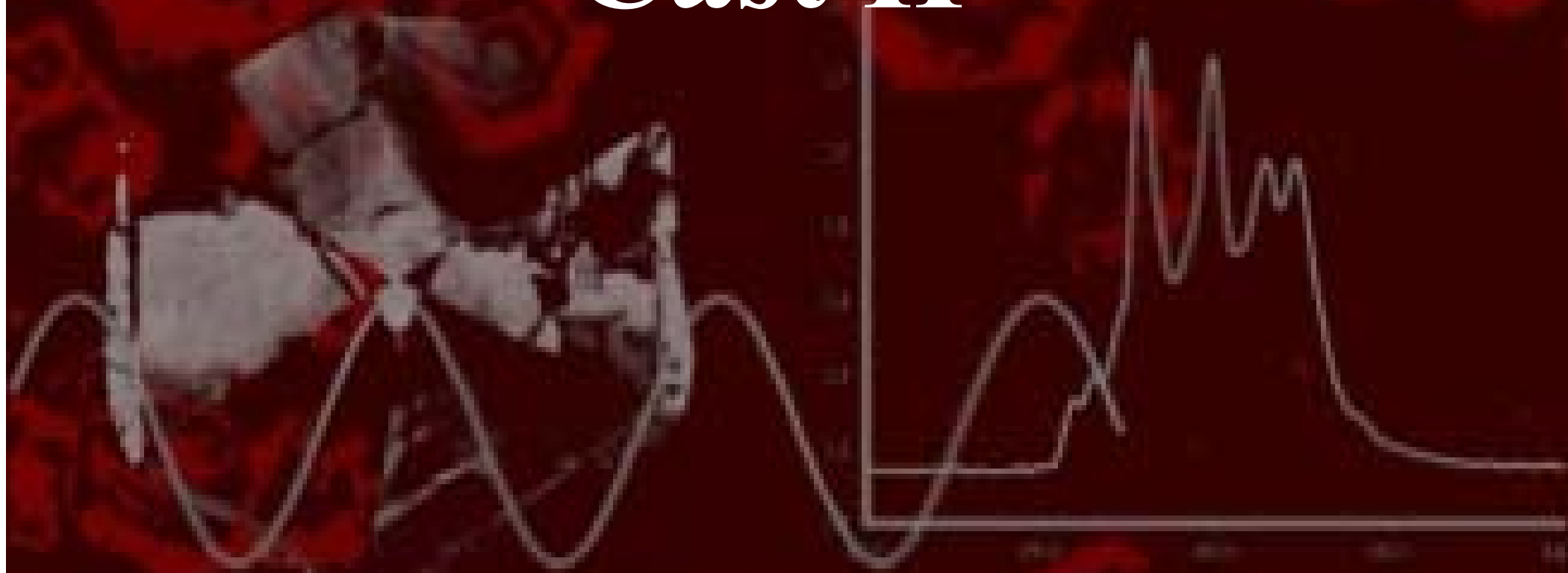


# Část II



# Obsah druhé části

---



Polarizovaná vs. nepolarizovaná měření



Určení koncentrace absorberu v anizotropních médiích

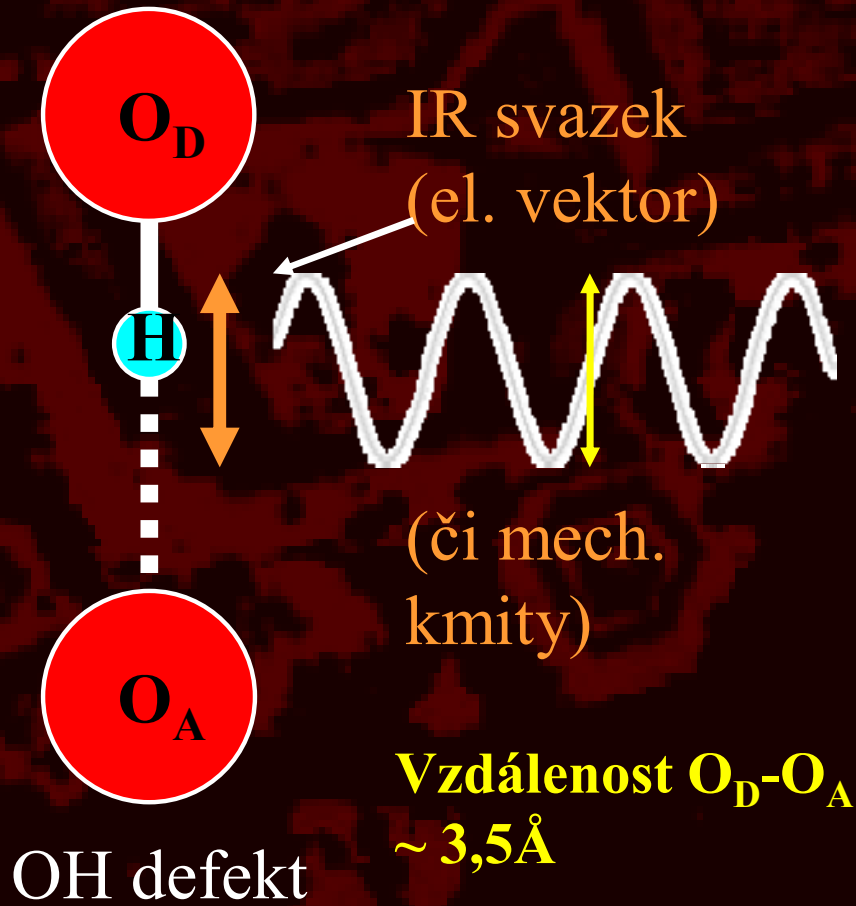


Princip určení strukturní orientace absorberu pomocí IR spektroskopie



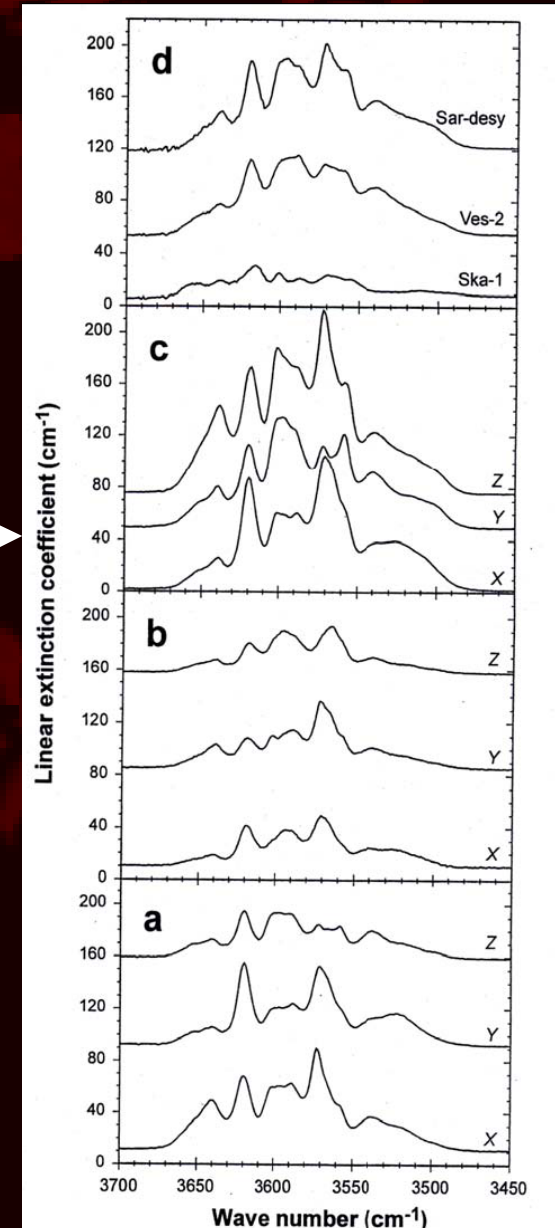
IR aktivita versus RAMAN aktivita

# Výsledná absorpance coby výsledek úhlu kmitání elektrického vektoru (E) IR svazku vůči absorberu

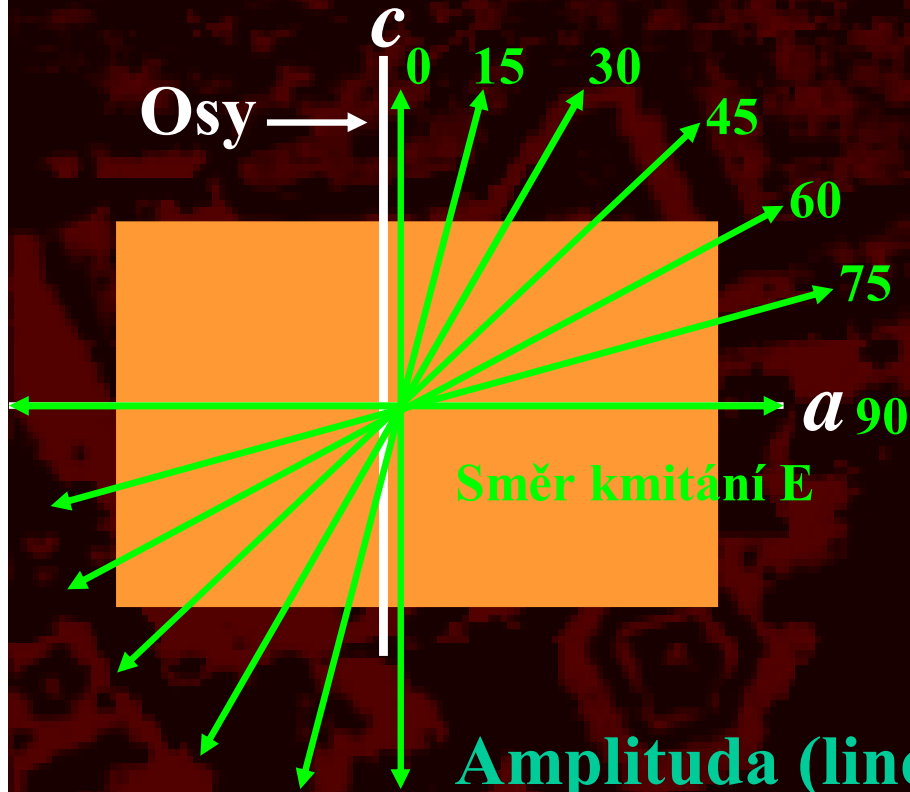


Absorpční polarizovaná IR spektra anizotropního uvarovitu ve směru paralelním s osami optické indikatrice. Andrut & Wildner & Beran (2002).

Největší rezonance pokud směr kmitů záření shodný se spojnicí  $O_D-O_A$ , v tom případě největší absorpce IR svazku. V jiných směrech slabší interakce záření-OH defekt- menší absorpce

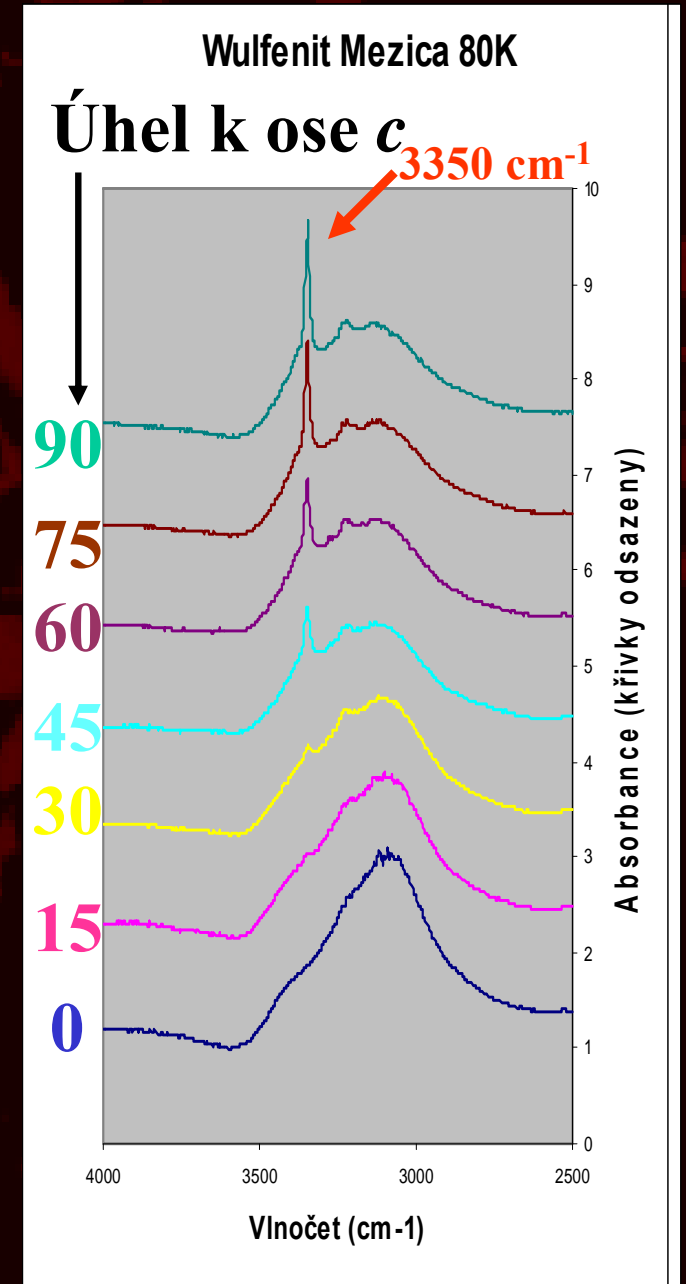


# Měření wulfenitu polarizovaným svazkem

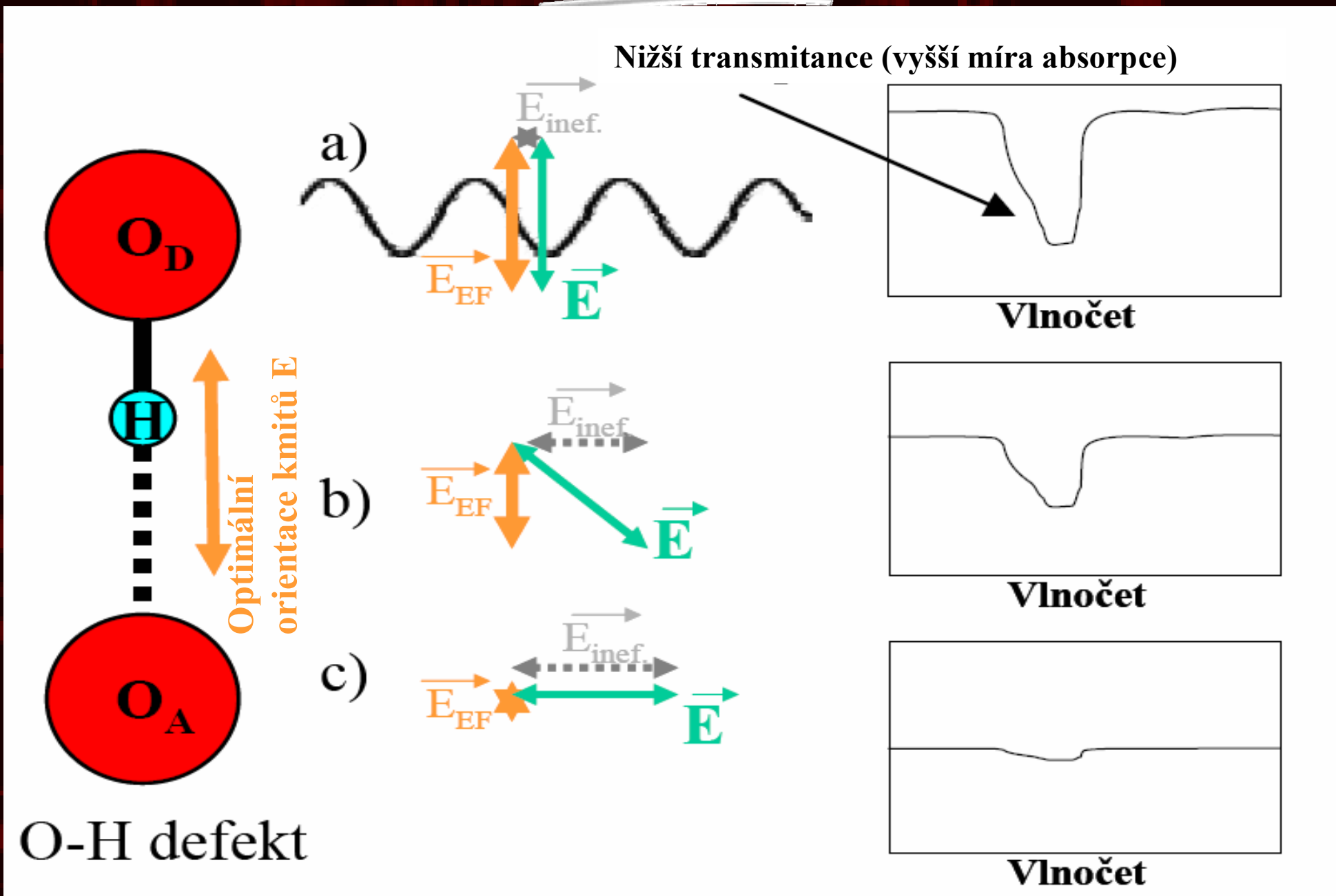


Amplituda (lineární absorbance) ostrého peaku na  $3350\text{ cm}^{-1}$  se silně mění v závislosti na úhlu kmitání  $E$  vůči krystalovým osám

## PLEOCHROISMUS

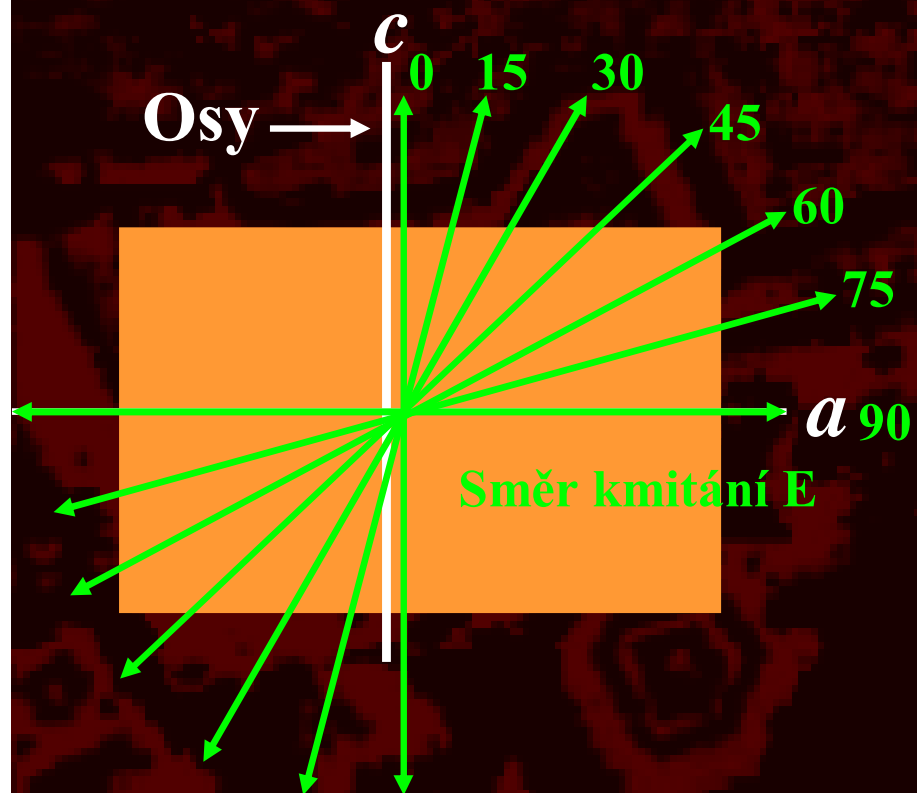


# Proč?



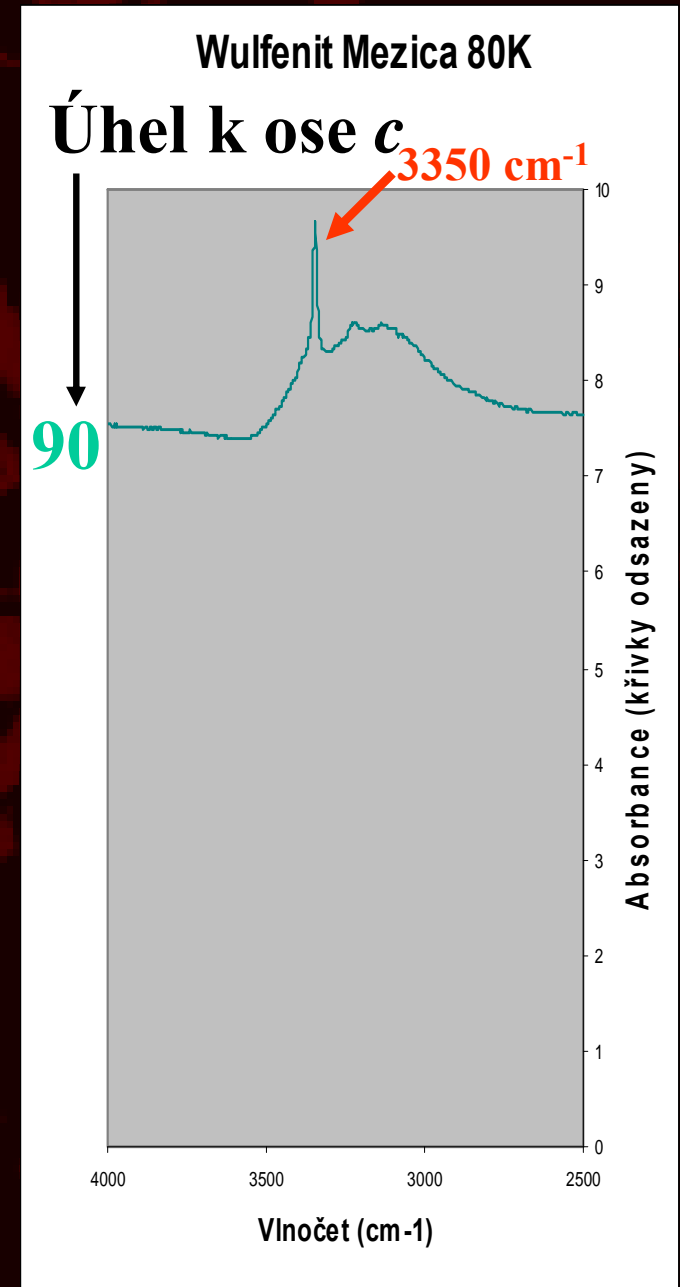
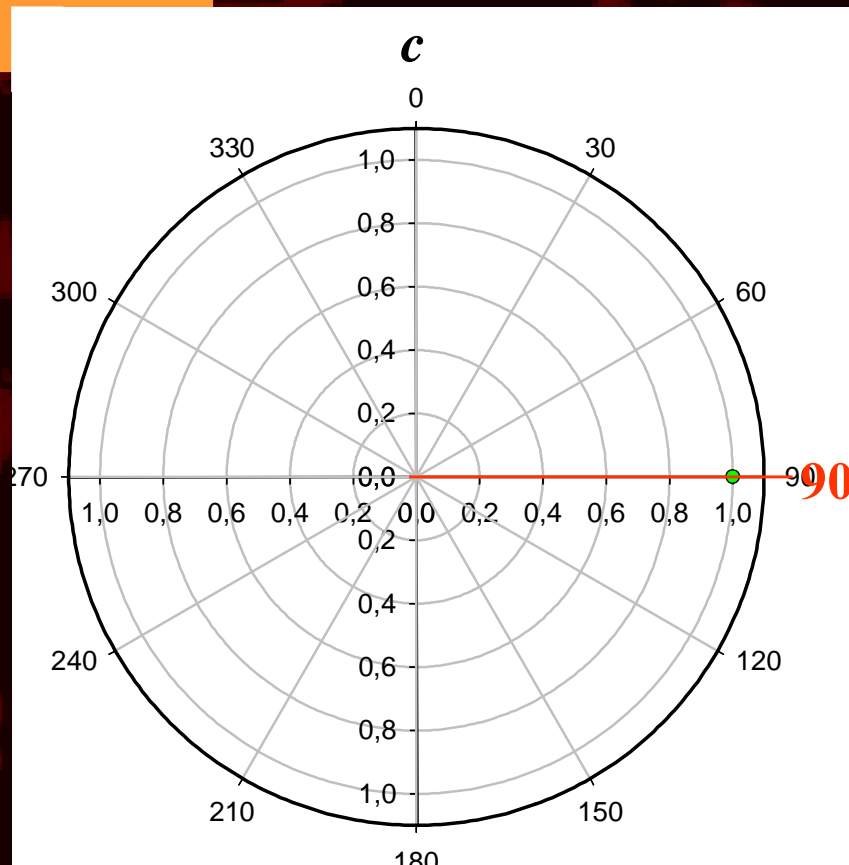
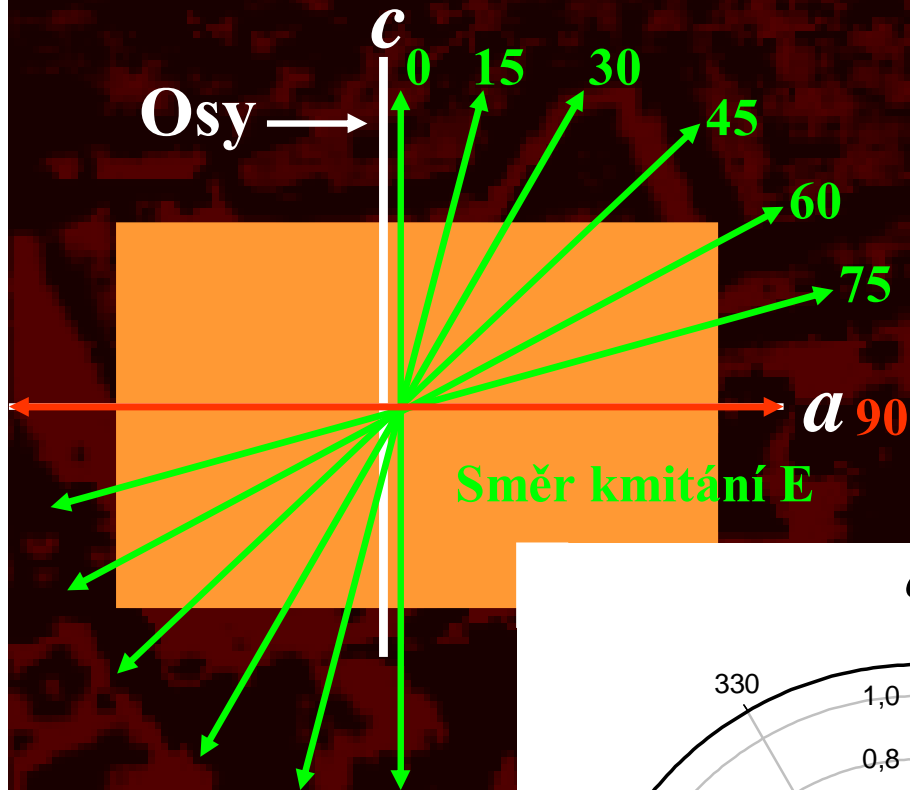
Při různých orientacích kmitů  $E$  pouze jeho část ( $E_{ef}$ ) účinně interaguje a způsobuje rezonanci OH různou měrou → různá míra absorpce → pleochroismus

# Konstrukce pleochroického obrazce



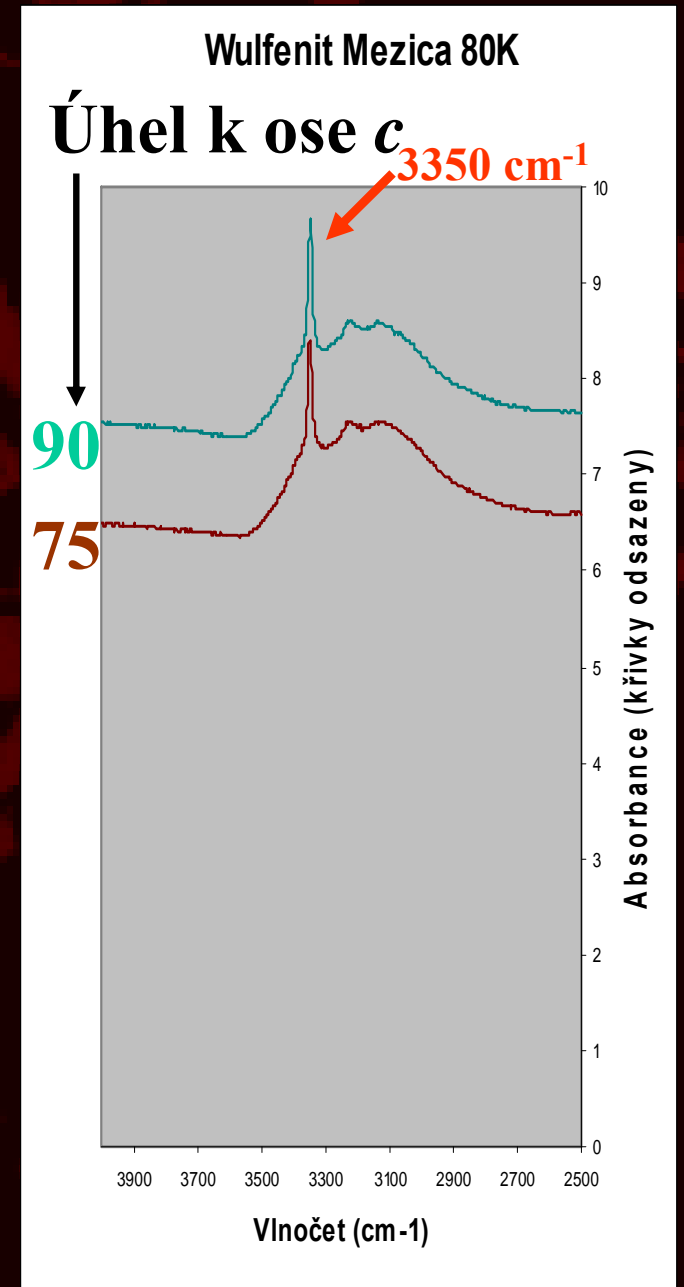
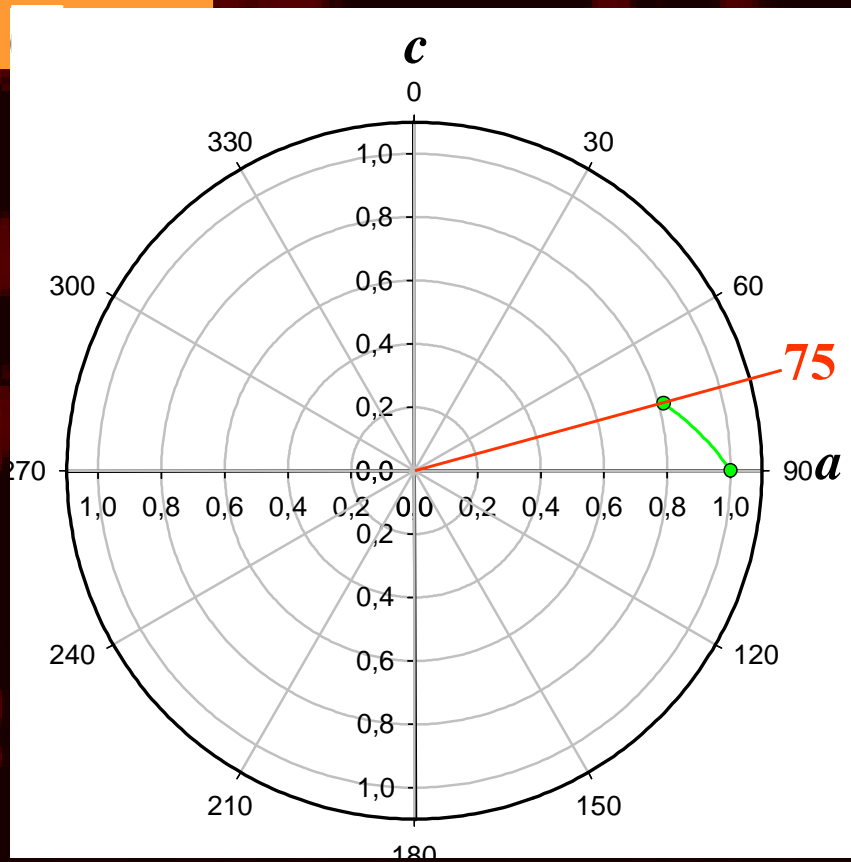
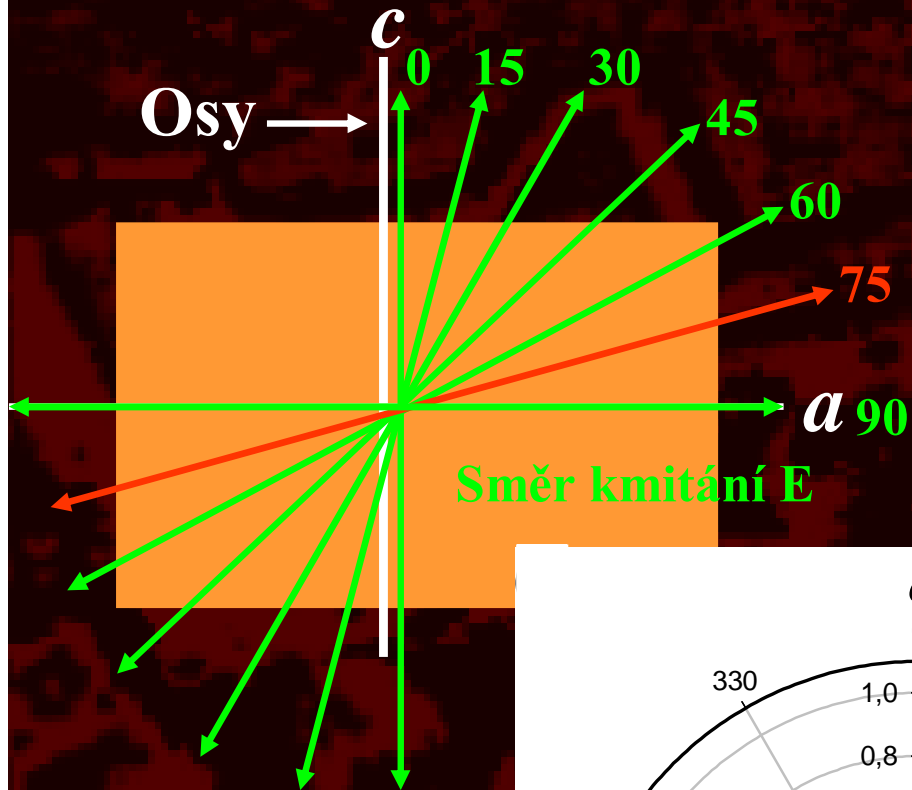
Zkoumaný wulfenit

# Konstrukce pleochroického obrazce



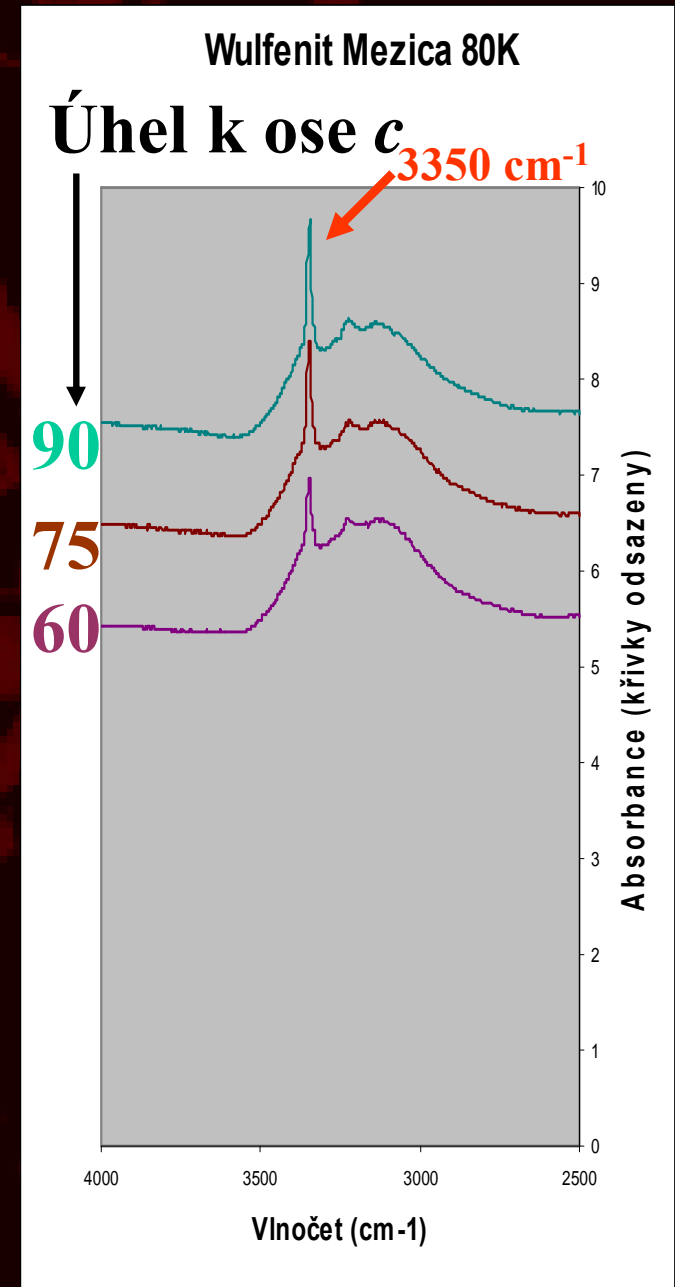
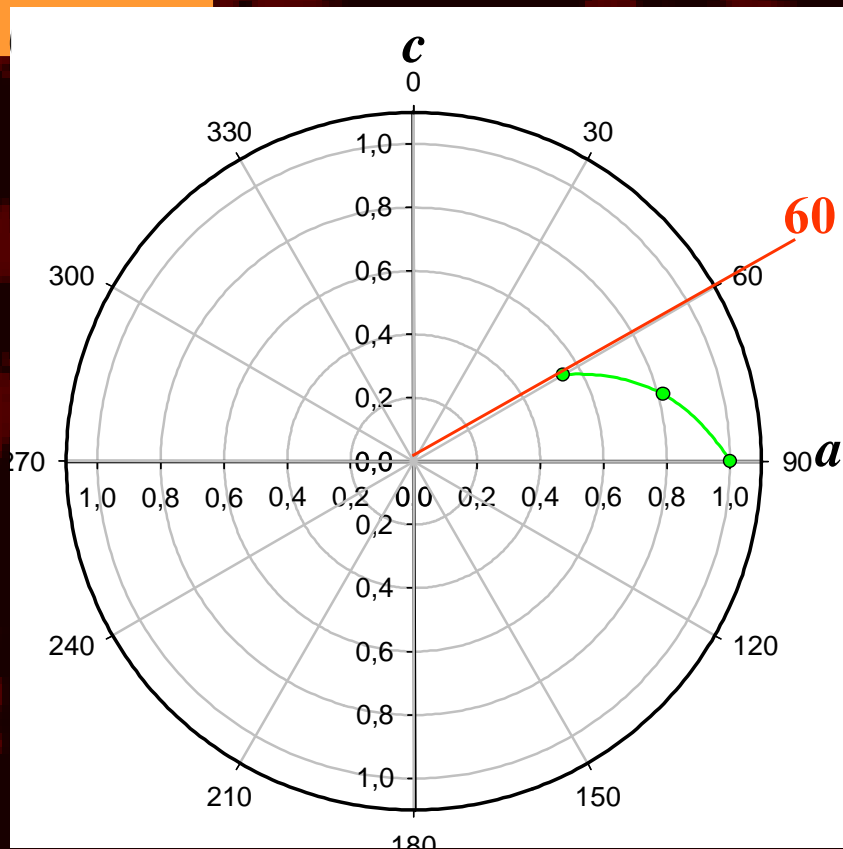
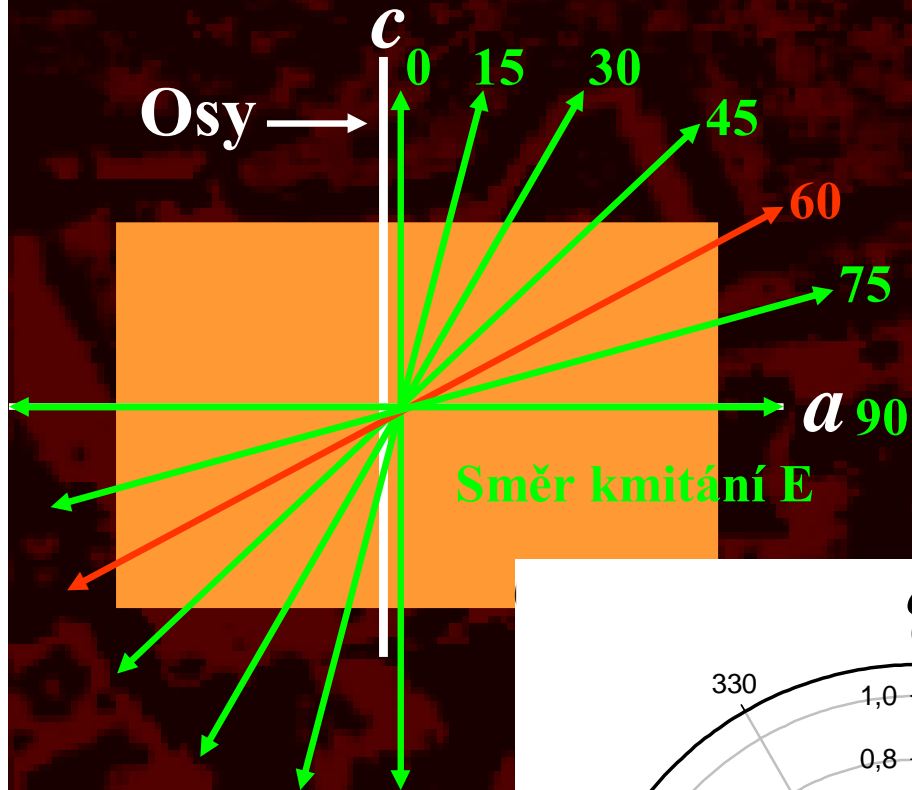


# Konstrukce pleochroického obrazce

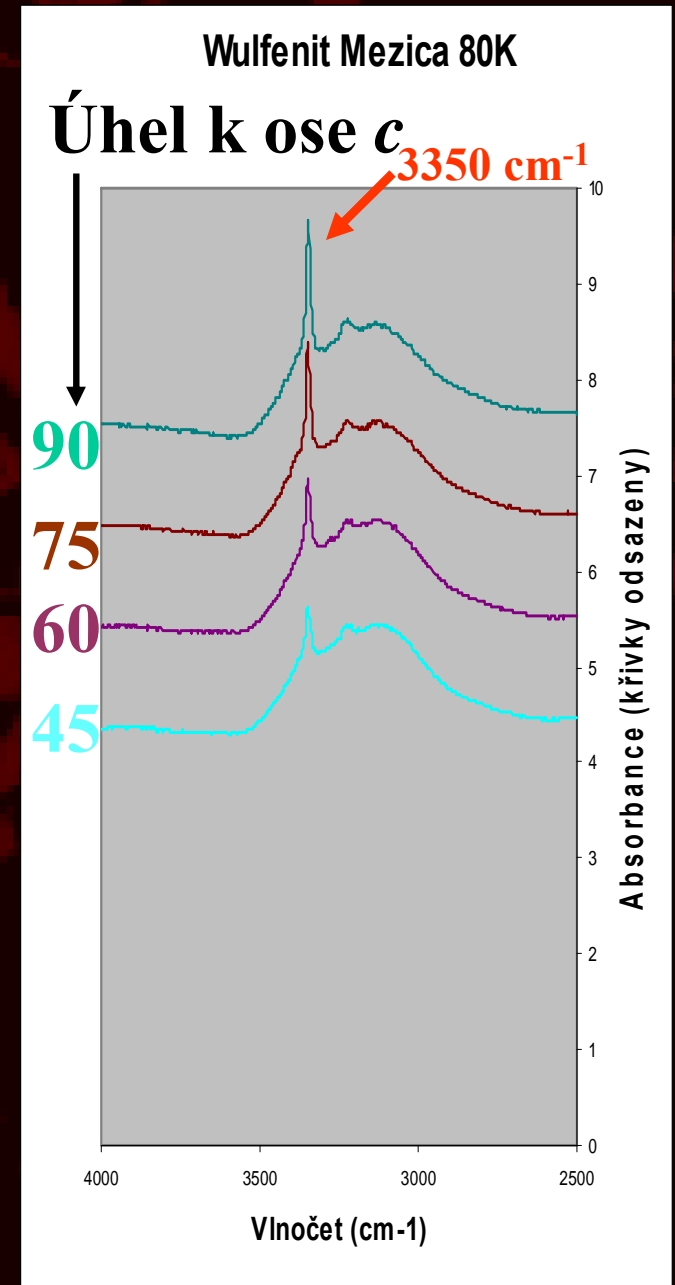
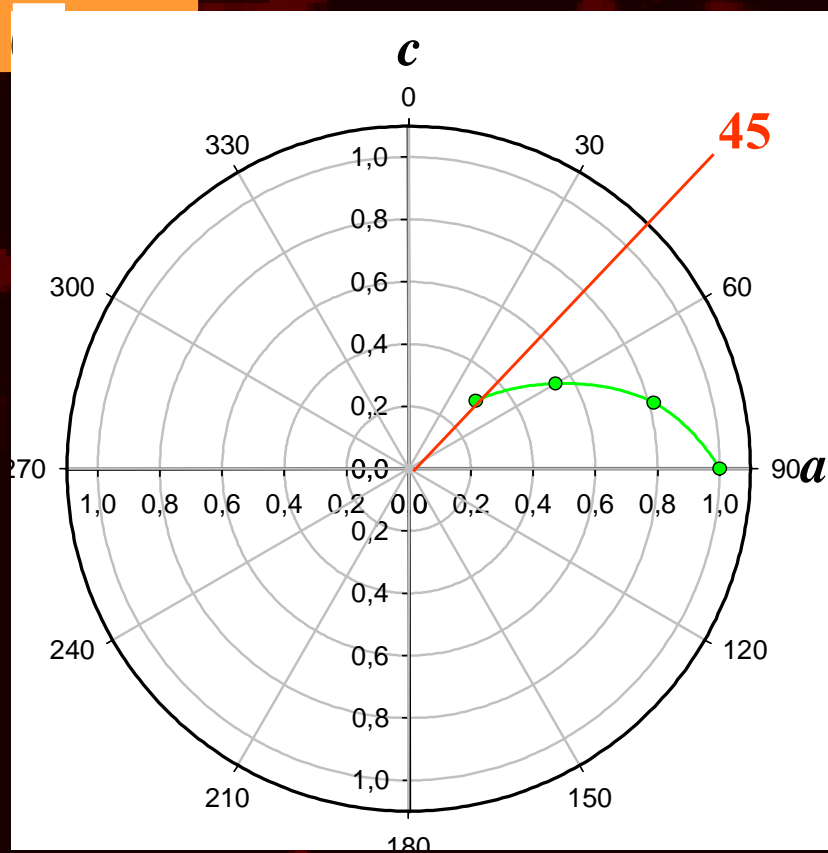
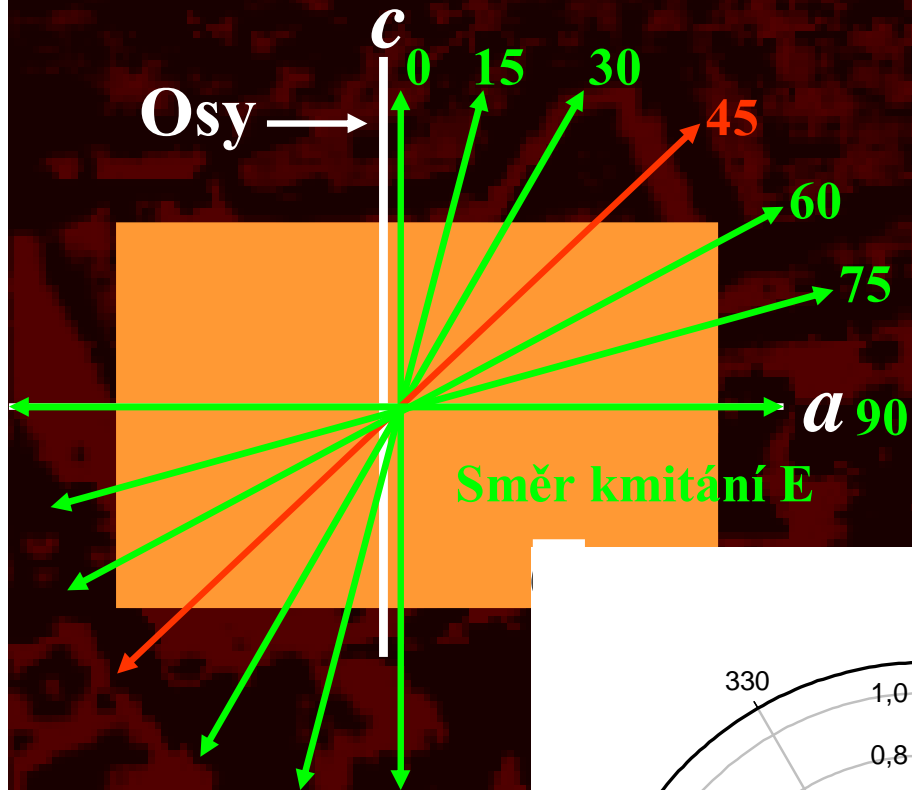




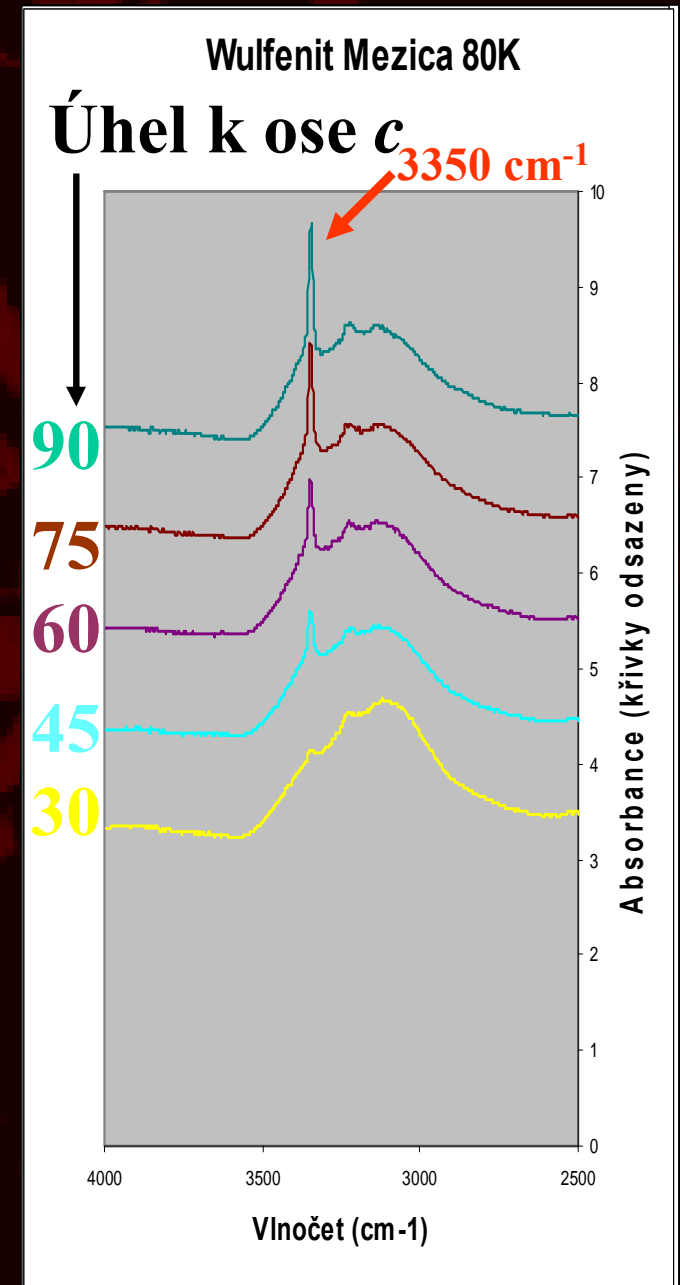
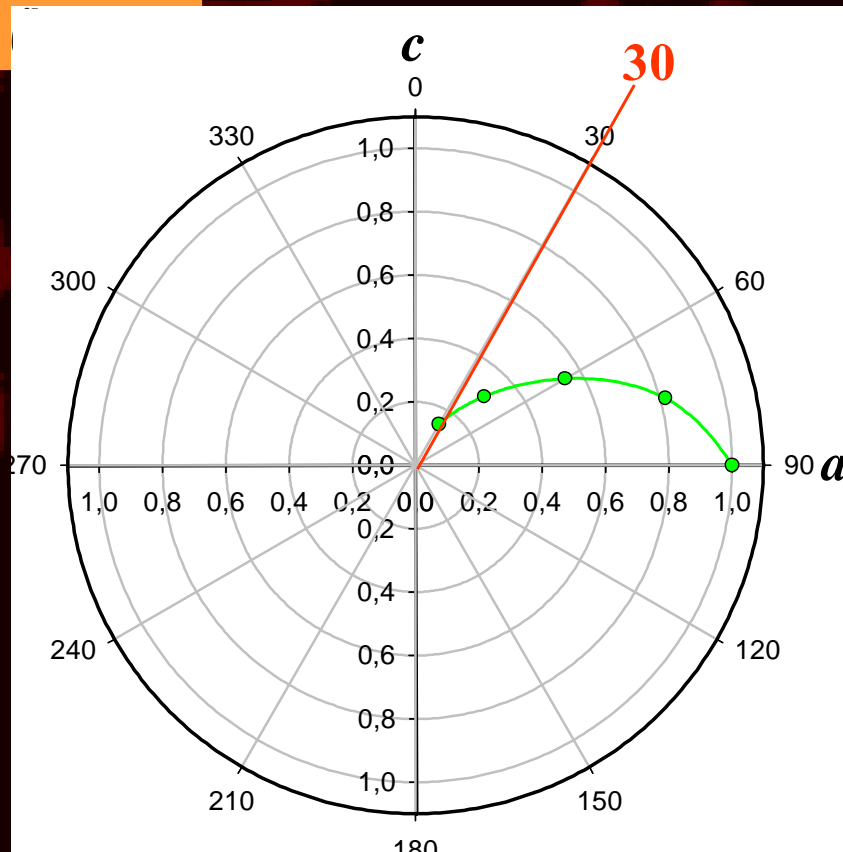
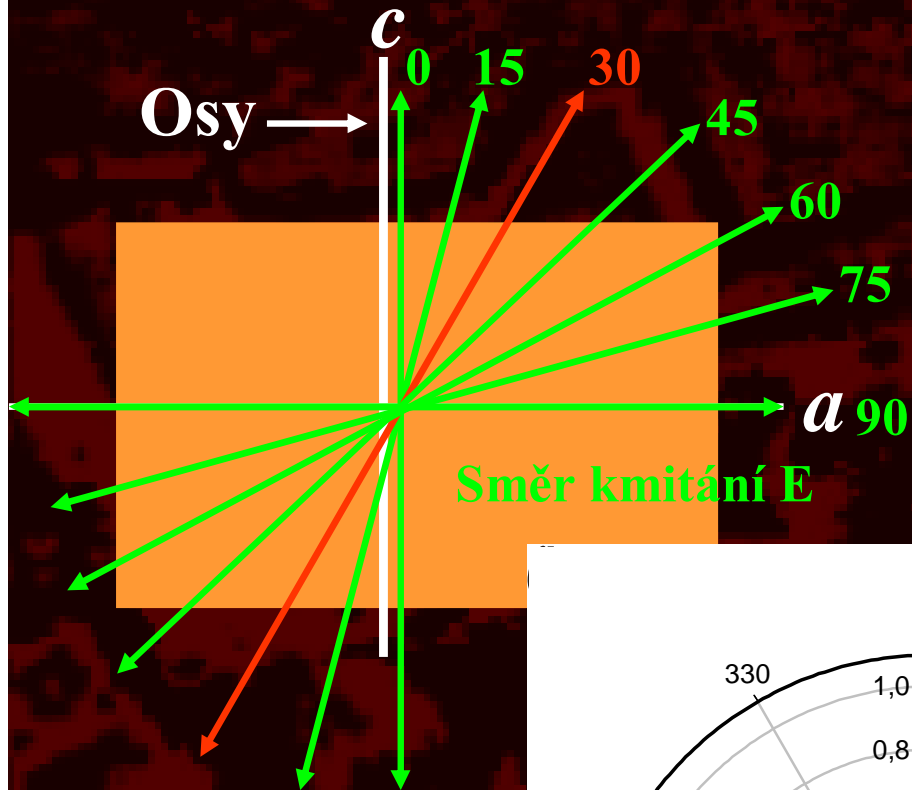
# Konstrukce pleochroického obrazce



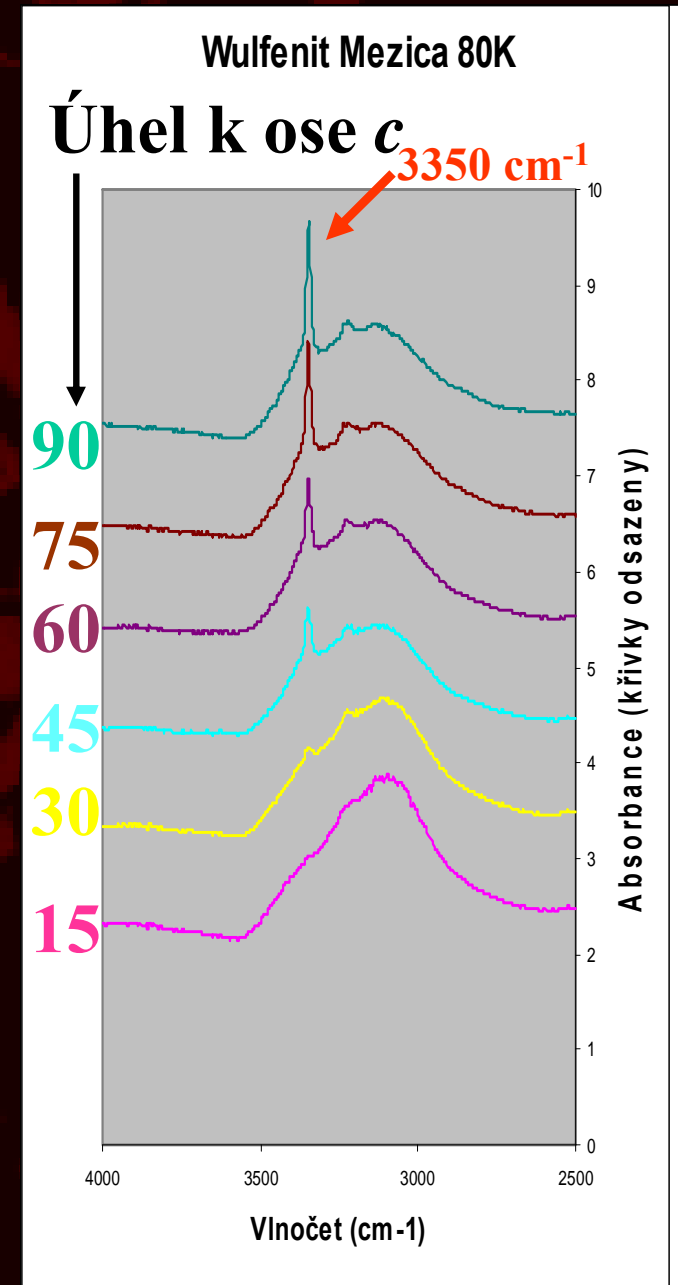
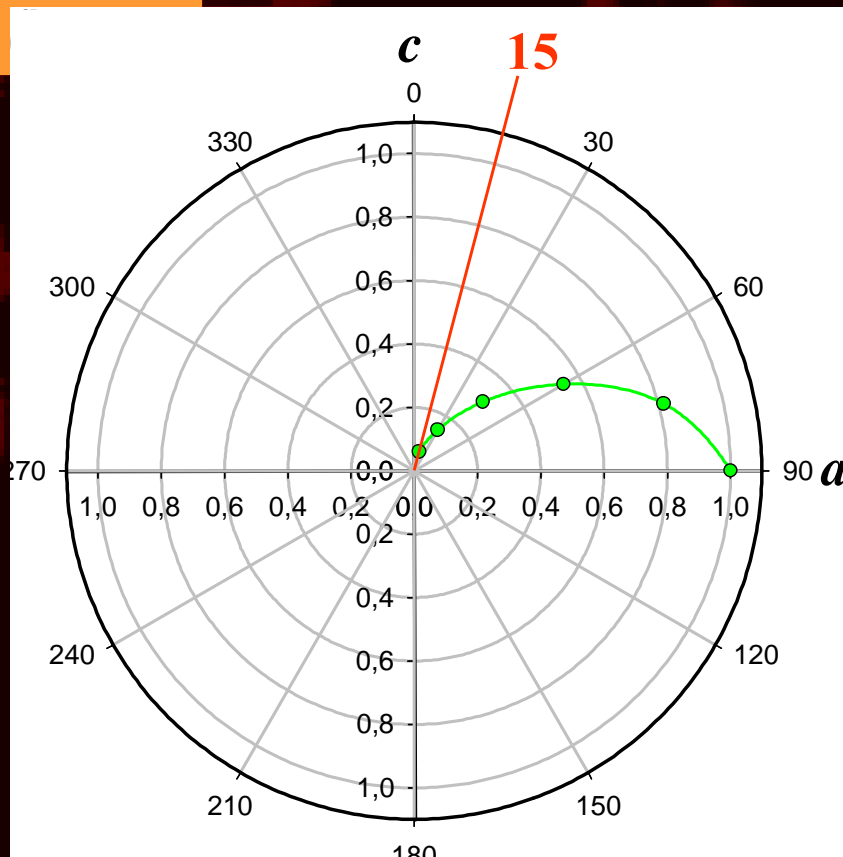
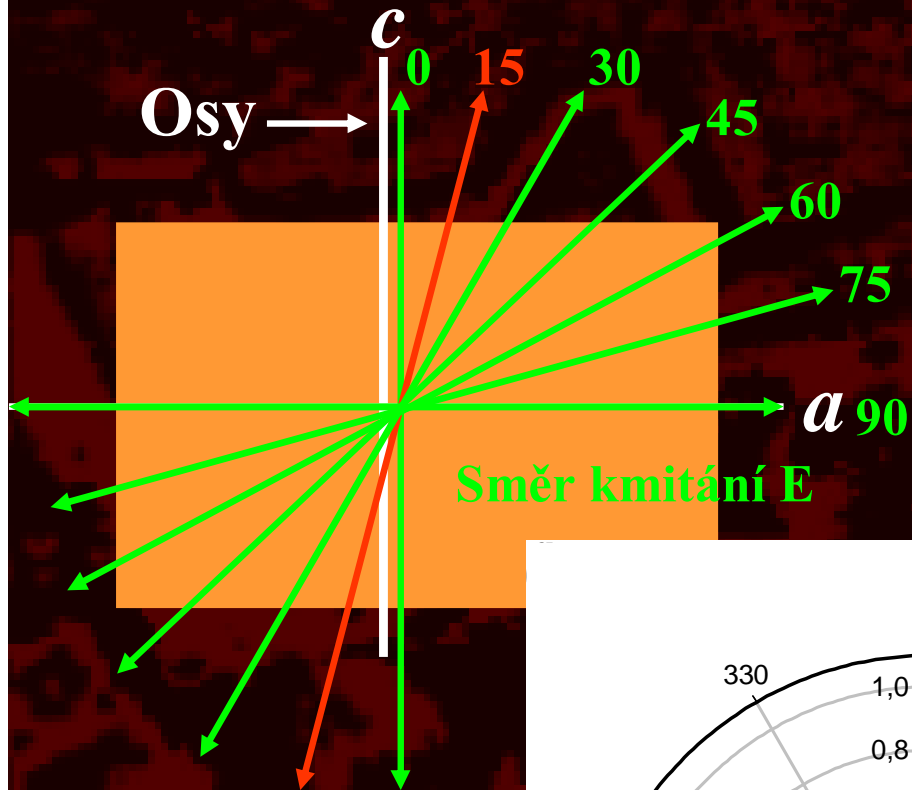
# Konstrukce pleochroického obrazce



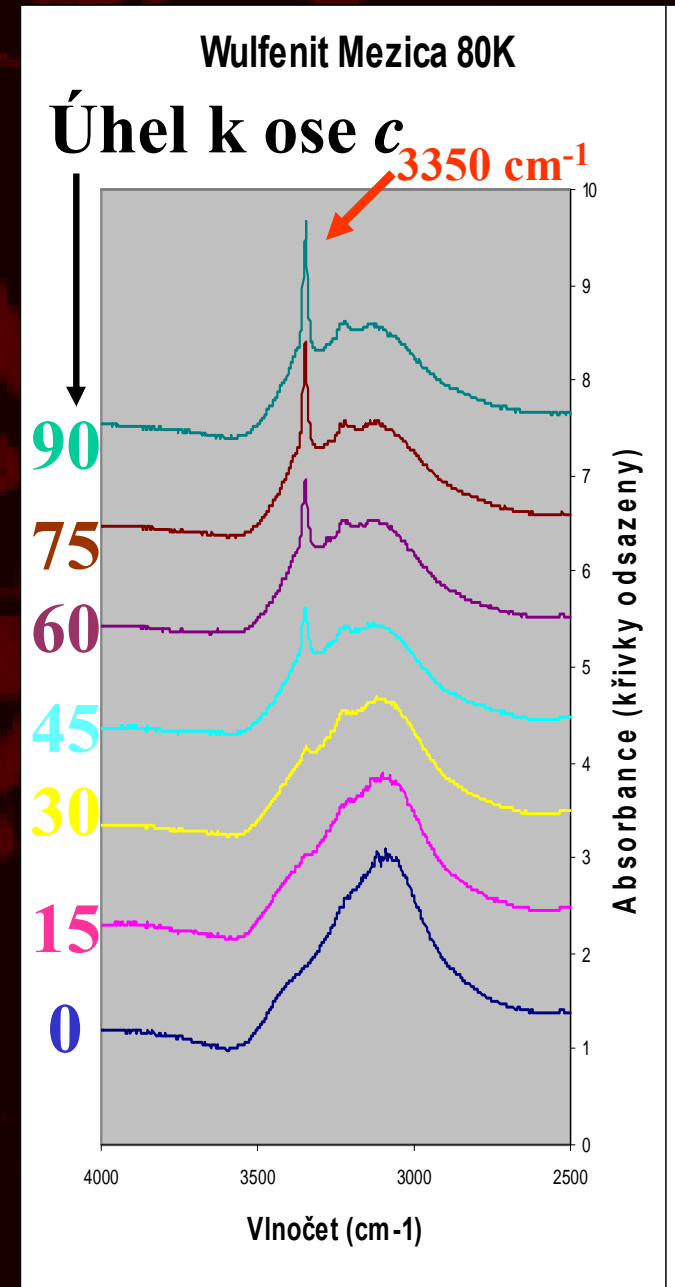
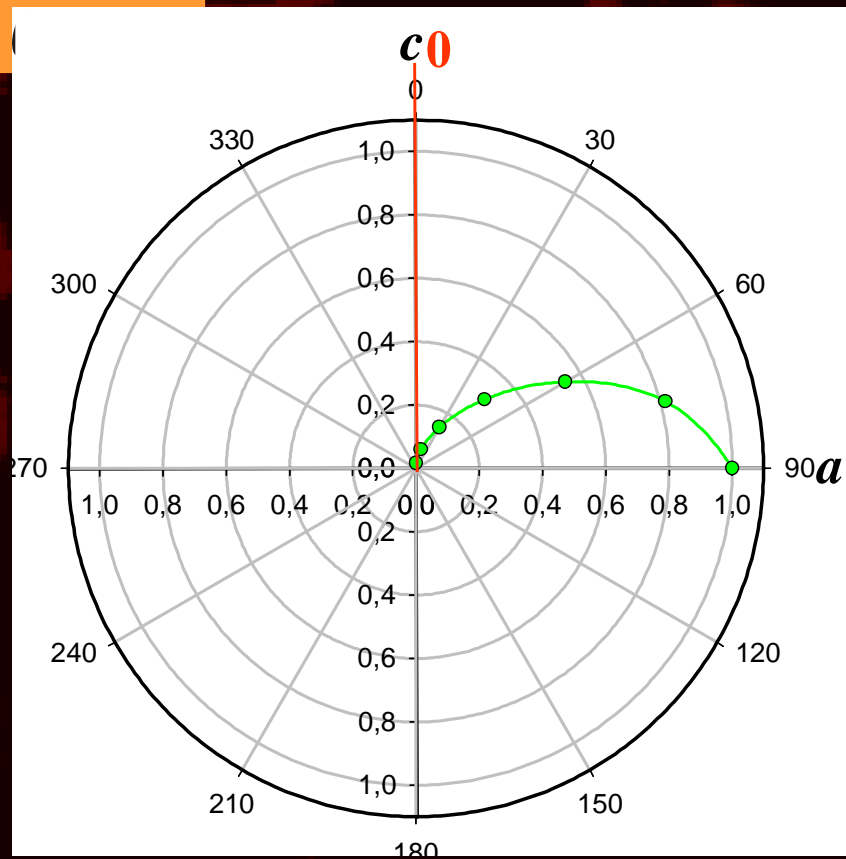
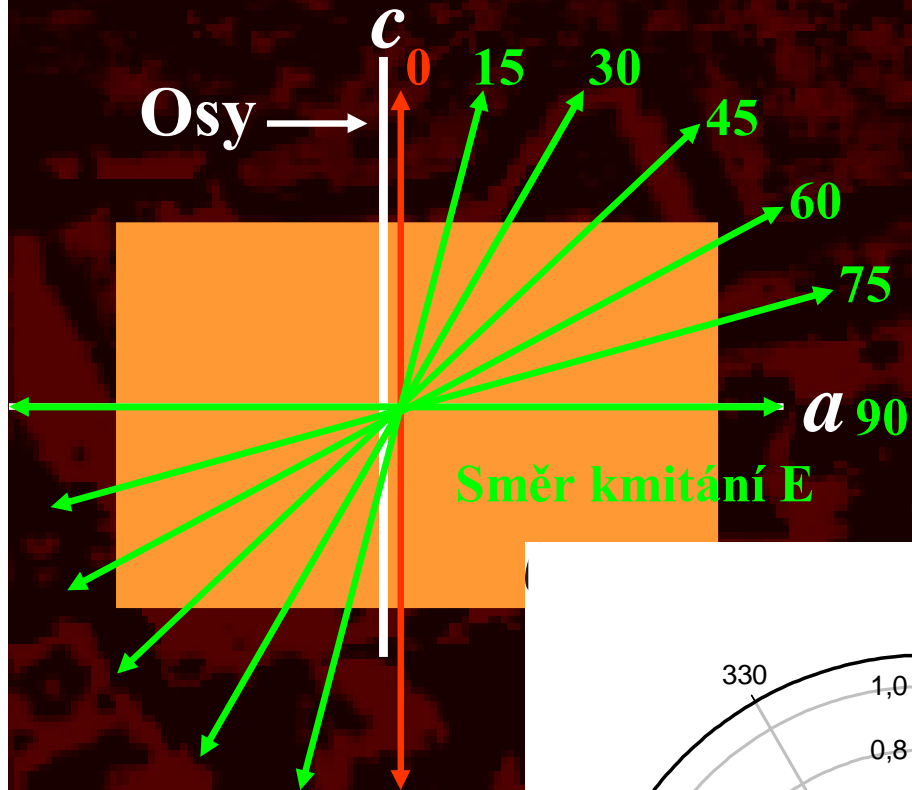
# Konstrukce pleochroického obrazce



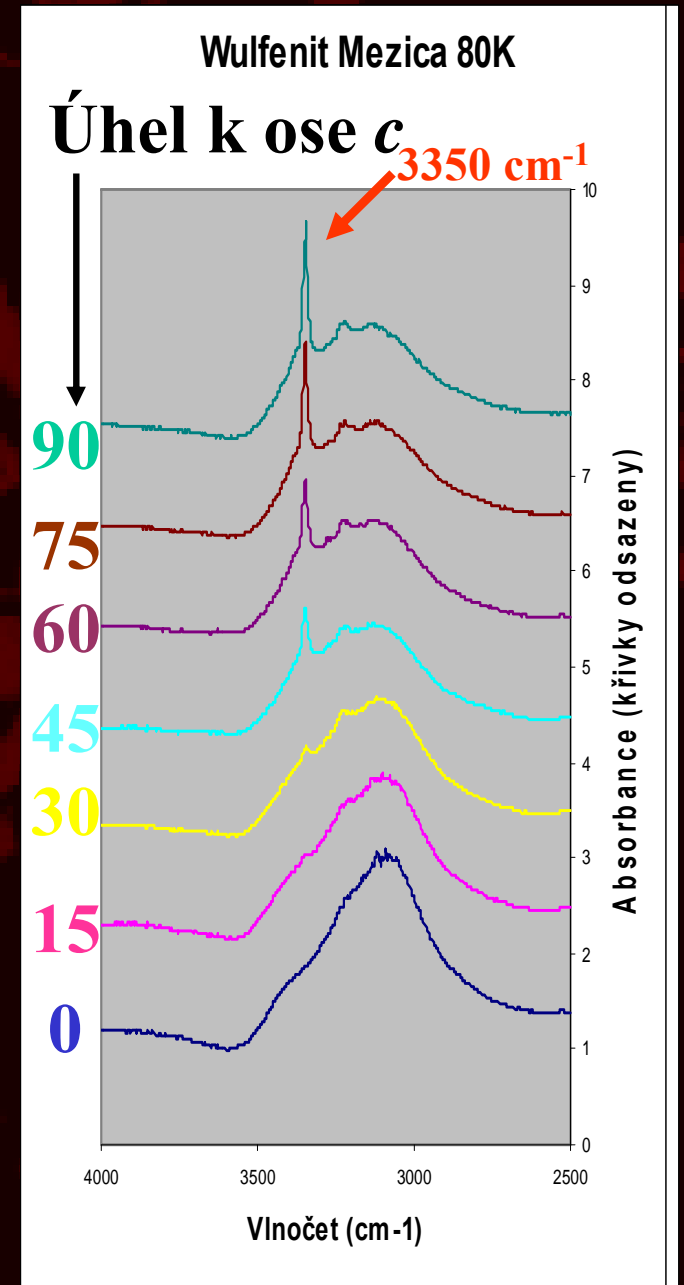
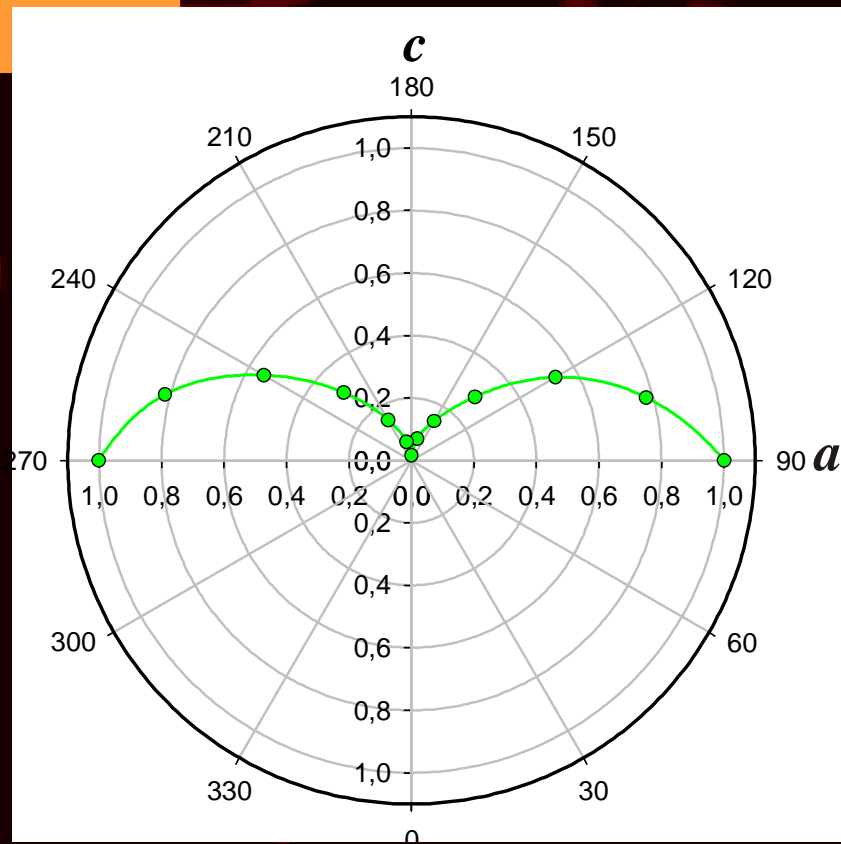
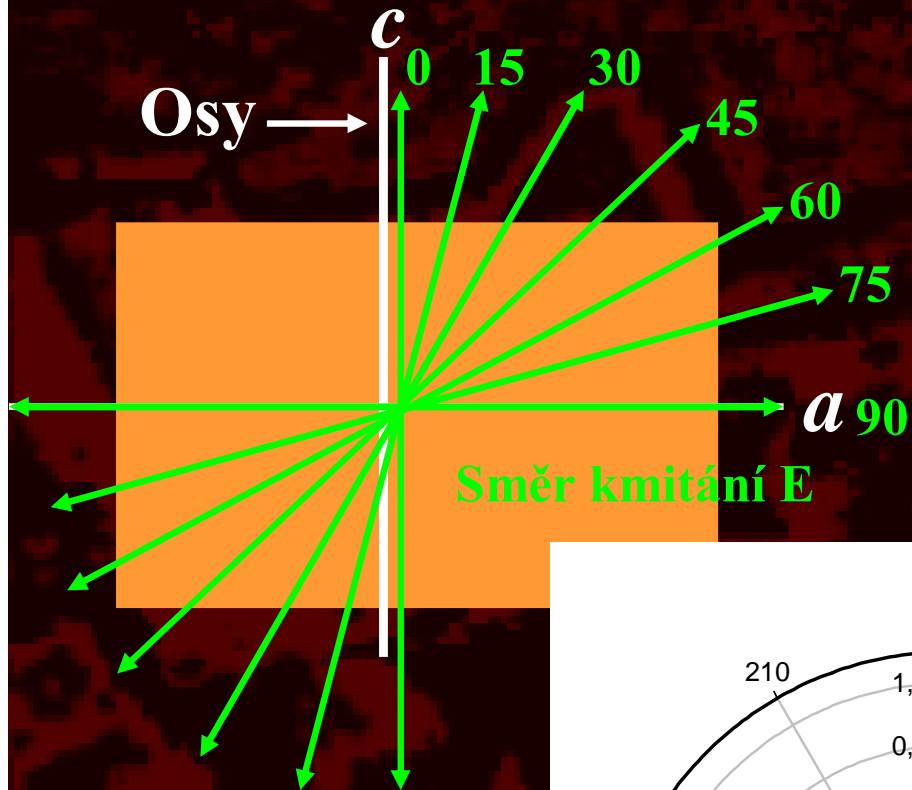
# Konstrukce pleochroického obrazce



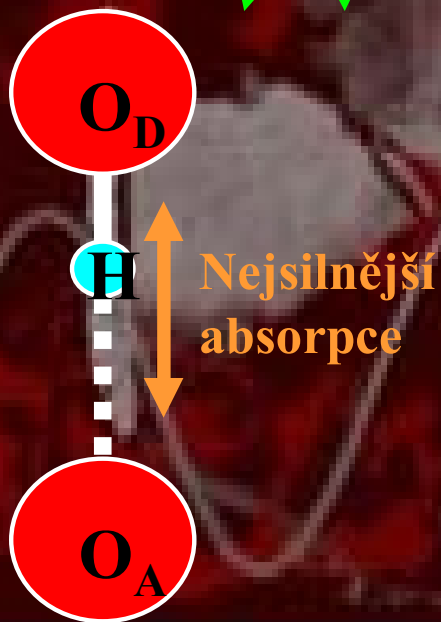
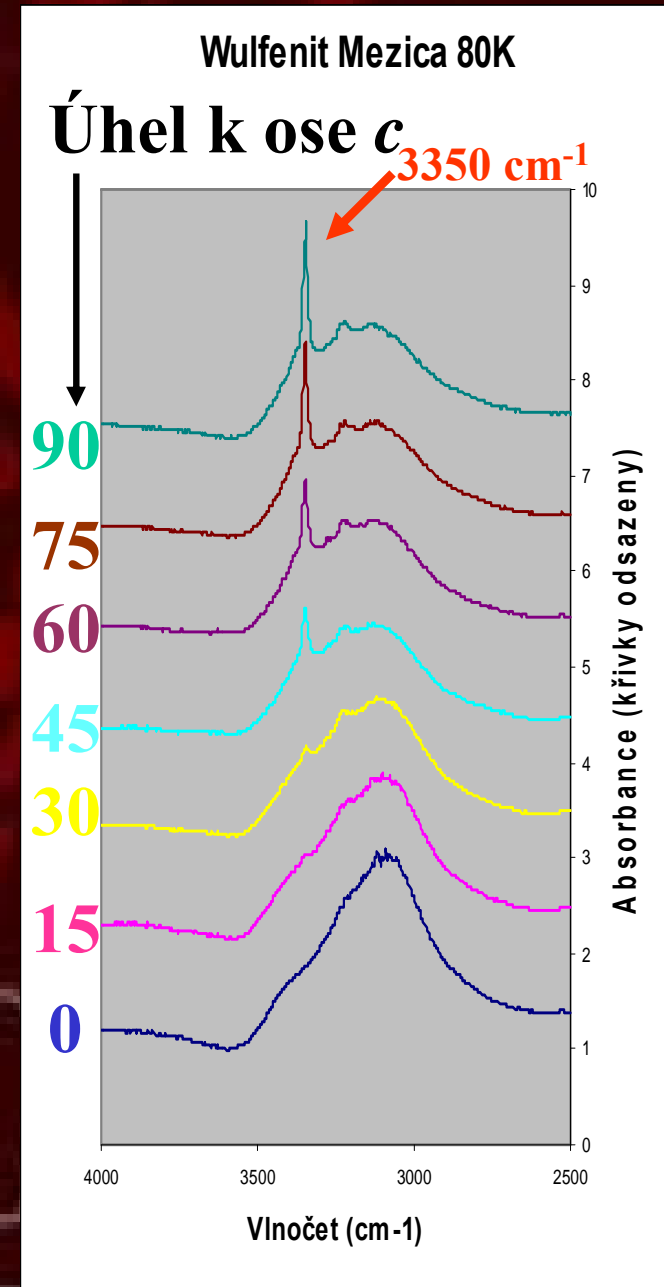
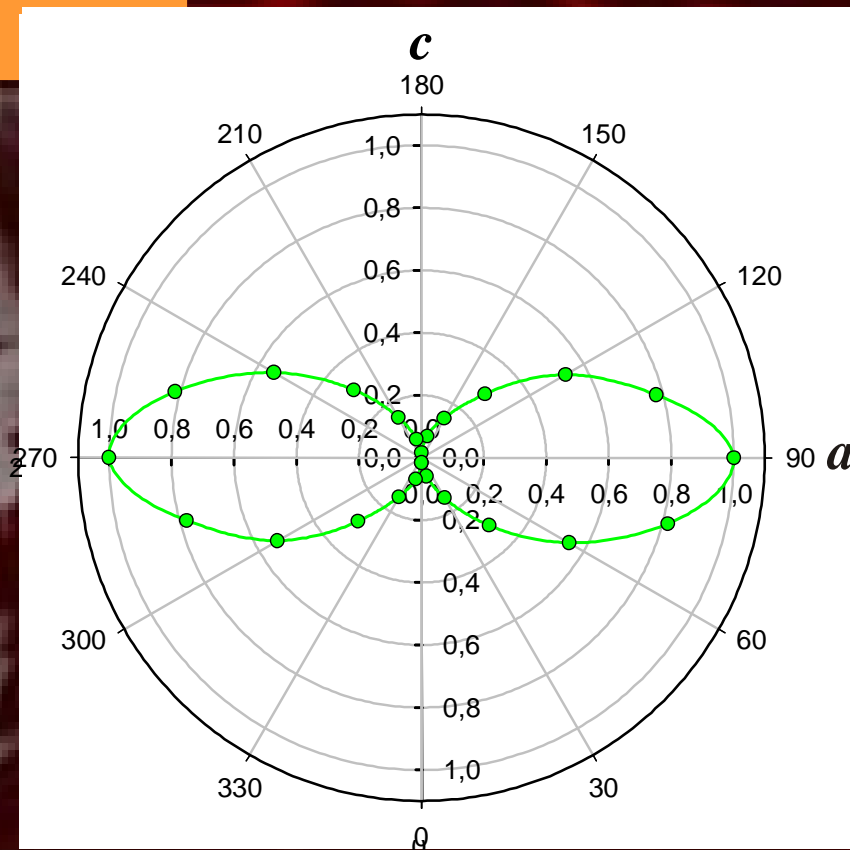
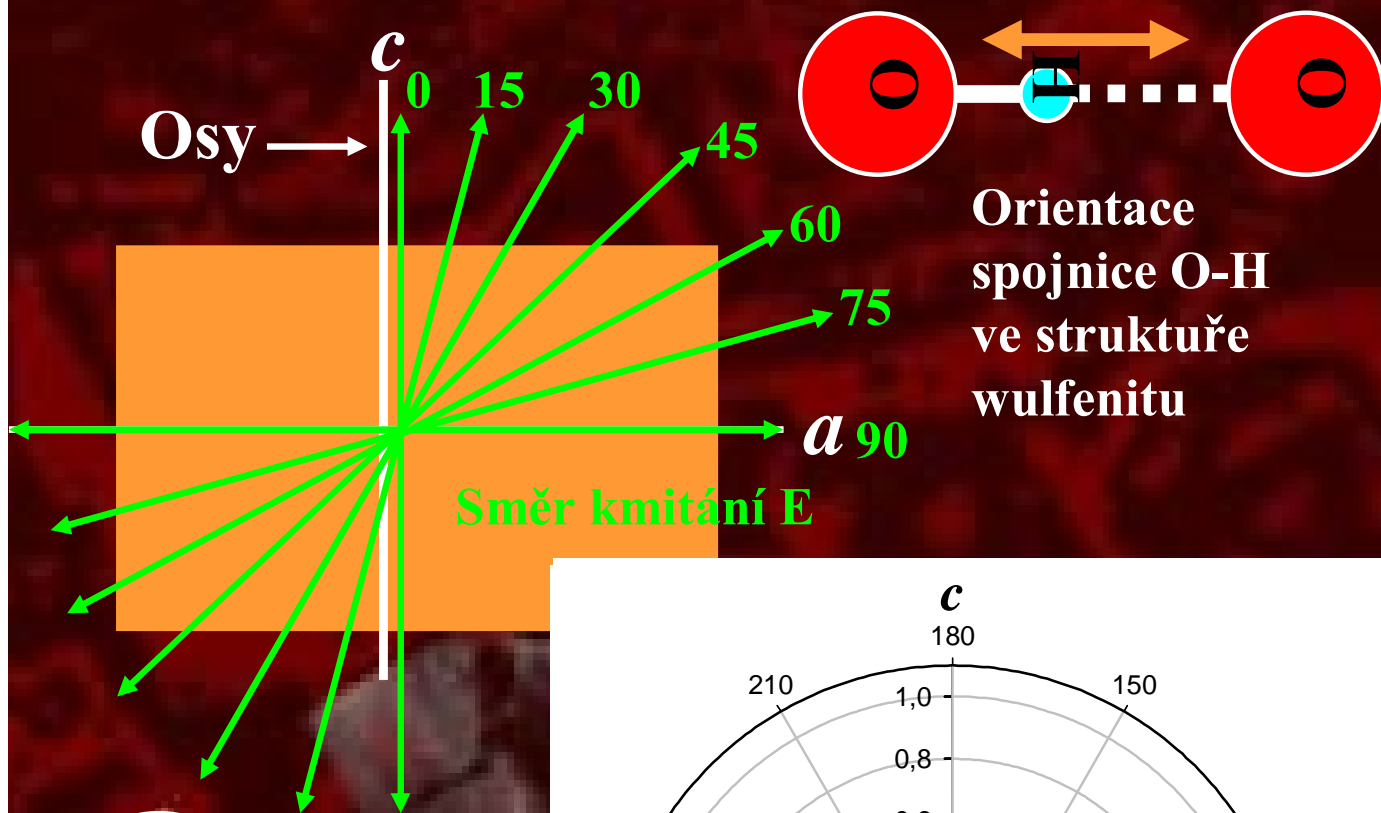
# Konstrukce pleochroického obrazce



# Konstrukce pleochroického obrazce

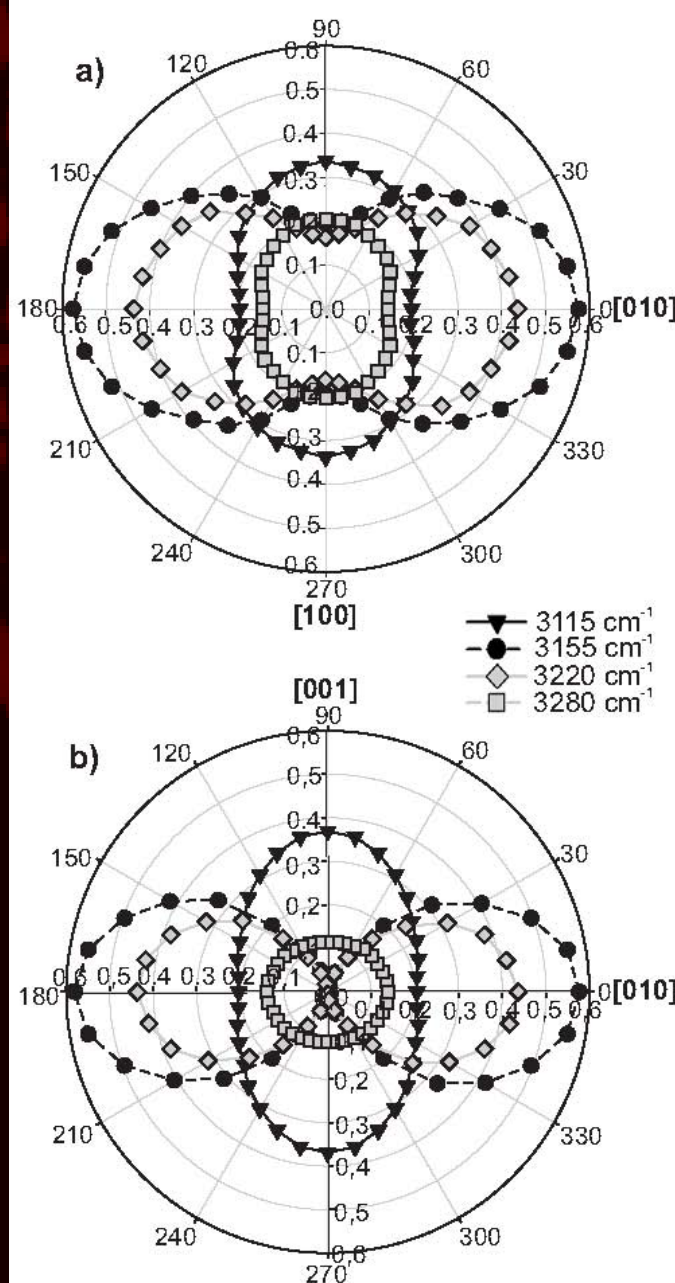
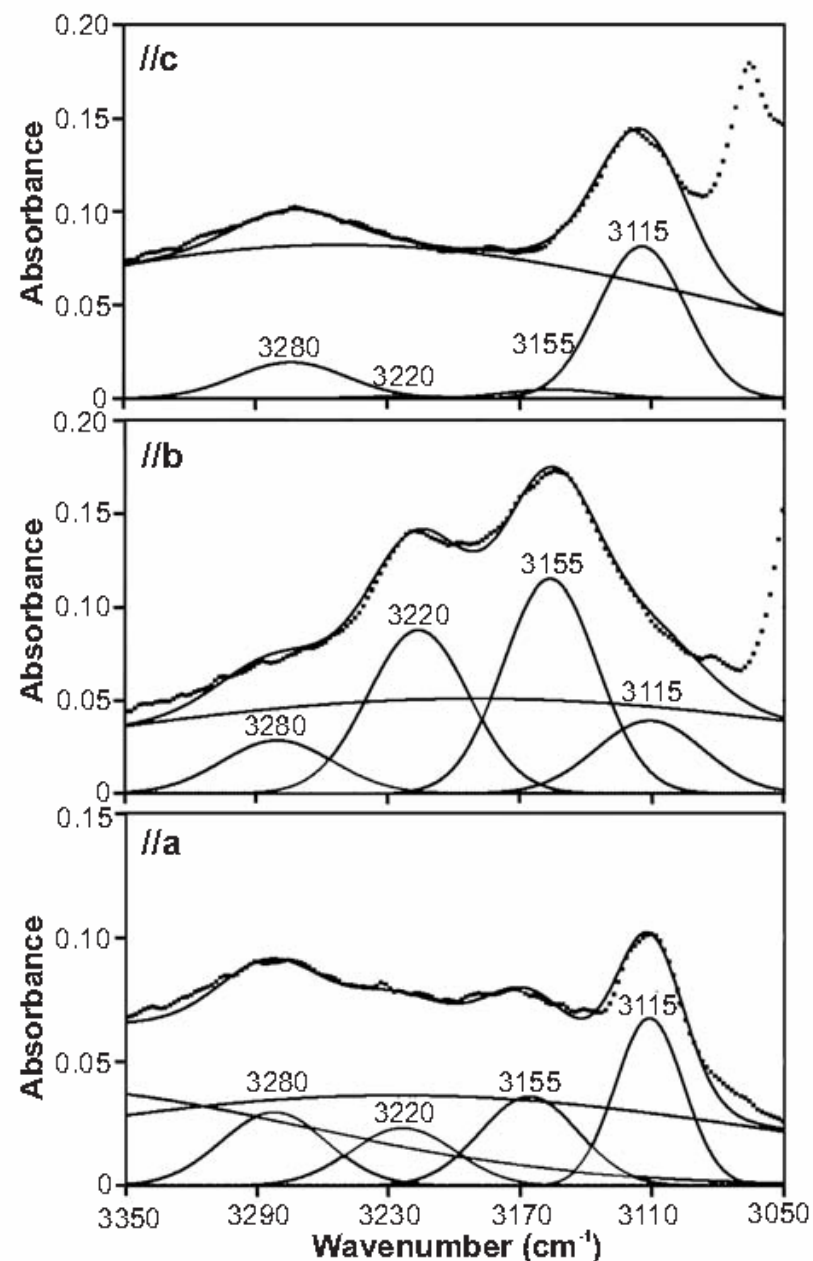


# Konstrukce pleochroického obrazce



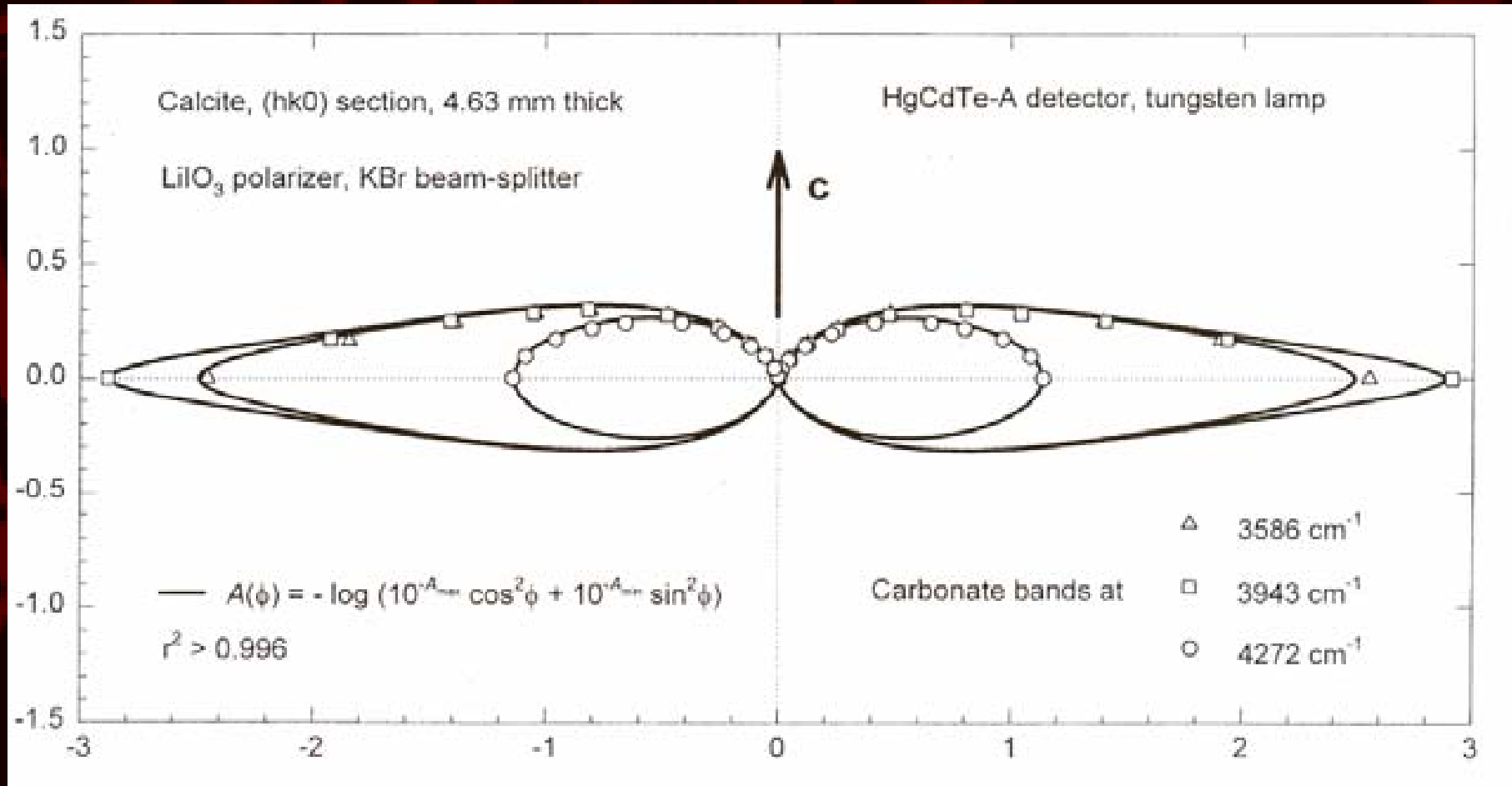


# Příklad pleochroických obrazců - baryt Pohla, DE



Vzhled IR spekter podél jednotl. os krystalu Pleochroismus jednotlivých peaků

# Příklad pleochroických obrazců - kalcit



Extrémní pleochroismus peaků v kalcitu (Libowitzky and Rossman 1996)

# Výpočet koncentrace absorbéru v anizotropním médiu (krystalu) - problematika

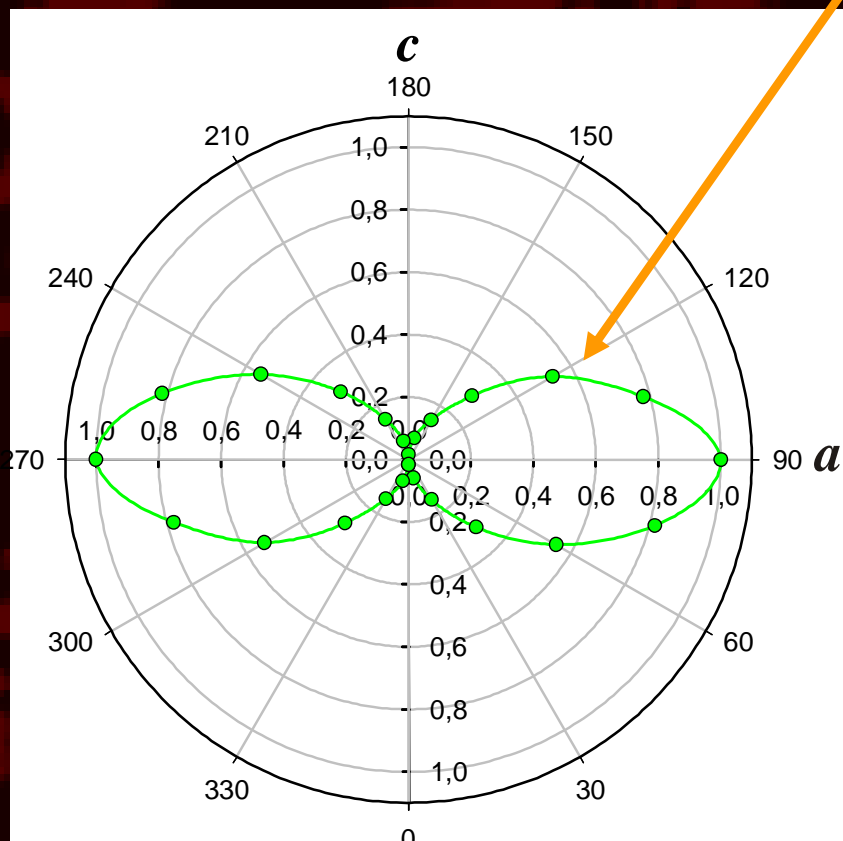


Lambert-Beerův zákon (bez úpravy na  $c[\text{wt}\%]$ )

$$c[\text{l}\cdot\text{mol}^{-1}] = A_{\text{tot}} / (\epsilon \cdot d)$$

Různá  $A$  v různých krystalografických směrech!!!

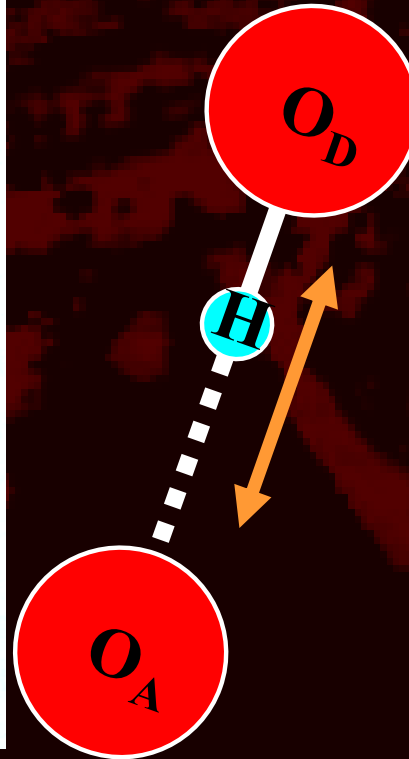
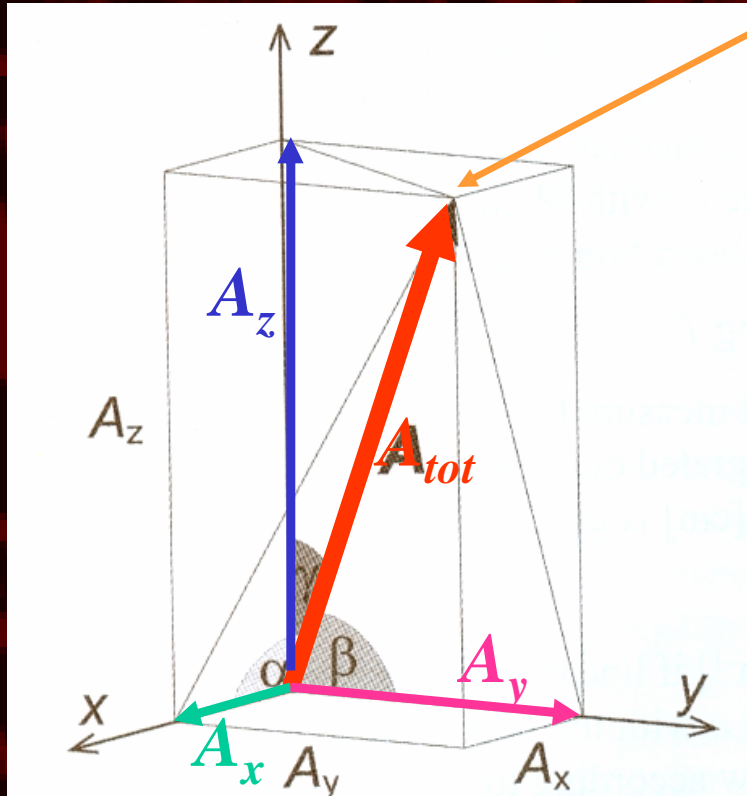
Různý pleochroický obrazec pro rozdílné peaky !



Kterou hodnotu absorbance použít do Lambert - Beerova vztahu jako  $A_{\text{tot}}$  ???

# Výpočet koncentrace absorberu v anizotropním médiu (krystalu)

Délku tohoto vektoru chceme



Vektor celkové absorpce spjatý s daným OH defektem je roven součtu vektorů dílčích absorpací podél hlavních os optické indikatrixe minerálu!

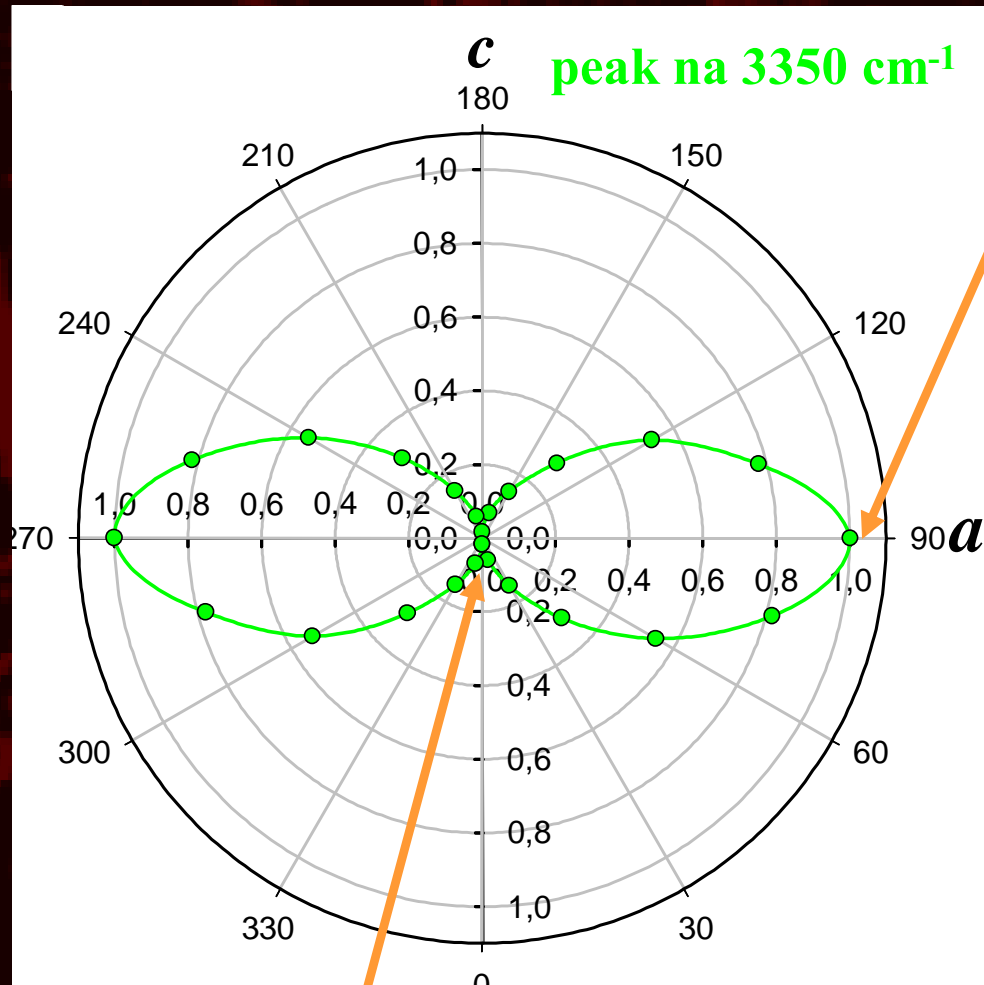
Délka vektoru celkové absorpce rovna součtu délek dílčích vektorů podél optických směrů

$$|\vec{A}_{tot}| = |\vec{A}_x| + |\vec{A}_y| + |\vec{A}_z|$$

Změřená absorpance podél hlav. optických směrů krystalu

Rovno součtu změřených hodnot absorpance podél hl. opt. směrů v krystalu  
!!!!!!

# Výpočet celkové absorbance v anizotropním médiu (wulfenitu)



$$A_x = A_y = 1,001$$

Tetragonální minerál →  
hlavní opt. směry rovnoběžné  
s krystalovými osami,  
osy x a y rovnocenné

$$A_z = 0,015$$

$$A_{\text{tot}} = A_x + A_y + A_z = 1,001 + 1,001 + 0,015 = \underline{\underline{2,017}}$$

# Proč se to tak nedělá v izotropních minerálech ???



Indikatrice každého izotropního minerálu tvar koule → stejná hodnota absorpance pro daný peak ve všech směrech



$$A_x = A_y = A_z = A_{\text{libov směr}}$$

$$A_{\text{tot}} = A_x + A_y + A_z = 3 * A_{\text{libov směr}}$$

## Lambert - Beerův vztah

$$c[1 * \text{mol}^{-1}] = A_{\text{tot}} / (\epsilon * d)$$

$$c[1 * \text{mol}^{-1}] = 3 * A_{\text{libov směr}} / (\epsilon * d)$$

$$c[1 * \text{mol}^{-1}] = A_{\text{libov směr}} / ([\epsilon/3] * d)$$

$$c[1 * \text{mol}^{-1}] = A_{\text{libov směr}} / (\epsilon_{\text{new}} * d)$$

$\epsilon_{\text{new}}$

Stačí použít třikrát menší hodnotu molárního absorpčního koeficientu a měřit jen jednou v libovolném směru !!!!

# Výpočet úhlu vektoru $A_{tot}$ k osám optické indikatrice



Skaláry

$$A_x = A_{tot} * \cos \alpha$$

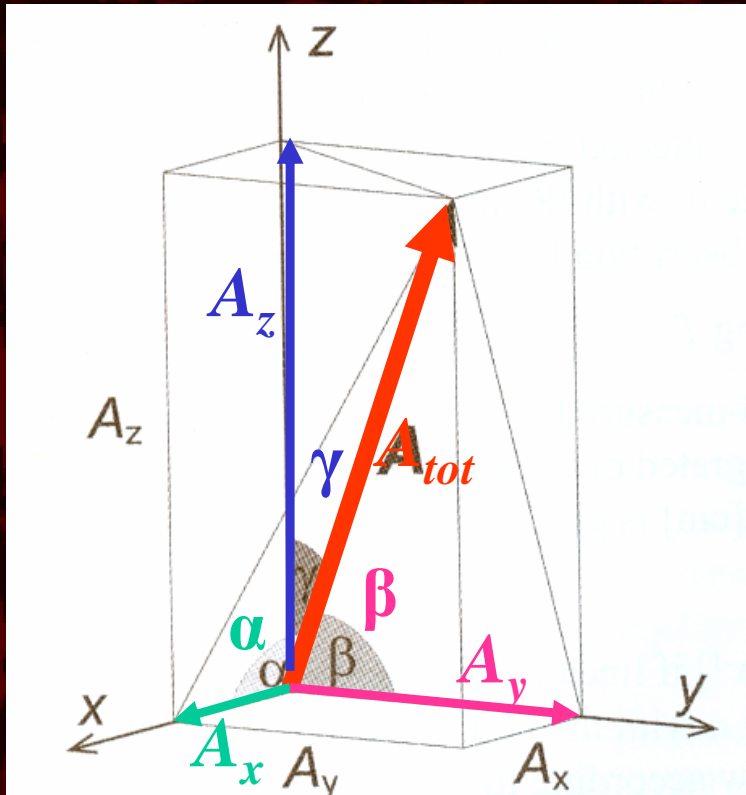
Nesse (1991)

Úhel mezi vektorem celkové absorbance a osou x optické indikatrice

Délku jednotlivých komponent podél hlavních os optické indikatrice lze vyjádřit pomocí  $A_{tot}$  a úhlu k dané ose optické indikatrice !



# Výpočet úhlu vektoru $\mathbf{A}_{tot}$



$$\mathbf{A}_x = \mathbf{A}_{tot} * \cos^2 \alpha$$

$$\mathbf{A}_y = \mathbf{A}_{tot} * \cos^2 \beta$$

$$\mathbf{A}_z = \mathbf{A}_{tot} * \cos^2 \gamma$$

Dosazení

$$|\vec{\mathbf{A}}_{tot}| = |\vec{\mathbf{A}}_x| + |\vec{\mathbf{A}}_y| + |\vec{\mathbf{A}}_z|$$

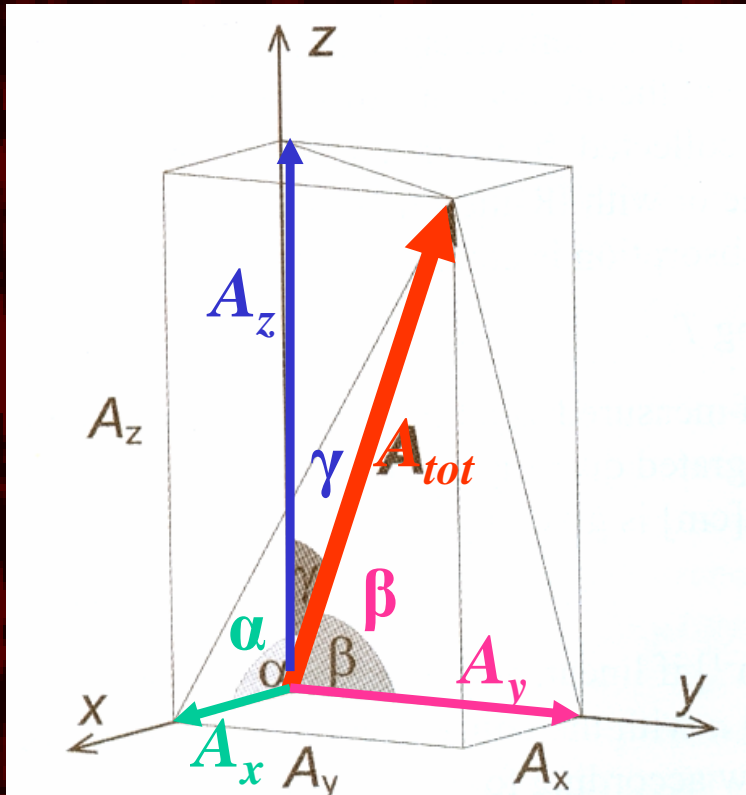
$$\mathbf{A}_{tot} = \mathbf{A}_{tot} * \cos^2 \alpha + \mathbf{A}_{tot} * \cos^2 \beta + \mathbf{A}_{tot} * \cos^2 \gamma$$

$$\mathbf{A}_{tot} = \mathbf{A}_{tot} * (\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma)$$

Z trigonometrie 3D prostoru:

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$$

# Výpočet velikosti úhlu vektoru $A_{tot}$ k hlavním osám optické indikatrixe krystalu



$$A_x = A_{tot} * \cos^2 \alpha \quad \cos^2 \alpha = A_x / A_{tot}$$

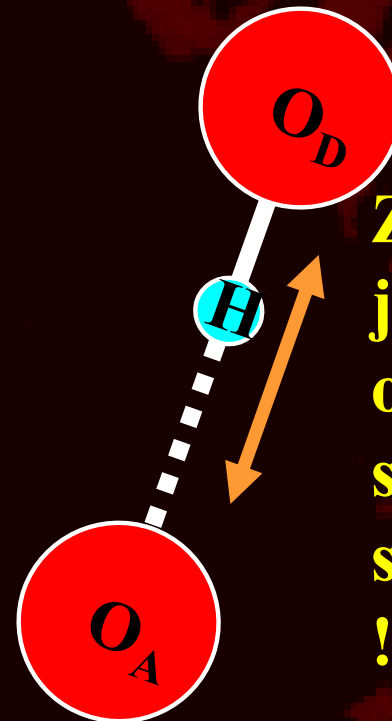
$$A_y = A_{tot} * \cos^2 \beta \quad \cos^2 \beta = A_y / A_{tot}$$

$$A_z = A_{tot} * \cos^2 \gamma \quad \cos^2 \gamma = A_z / A_{tot}$$

$$\alpha = \arccos( (\cos^2 \alpha)^{0,5} )$$

$$\beta = \arccos( (\cos^2 \beta)^{0,5} )$$

$$\gamma = \arccos( (\cos^2 \gamma)^{0,5} )$$



Získané úhly jednoznačně určují orientaci O-H spojnice vůči zbytku struktury minerálu !!!

# Problémy spjaté s výrobou preparátů pro měření orientace absorbéru (především OH)

---



Ne vždy je známa orientace krystalu, v němž se koncentrace absorbéru měří

- monokrystalový RTG difraktometr pro orientaci vzorku
- krystal s jednoznačnou morfologií
- dostatečně velký vzorek
- dostatečně dobrý brusič
- dostatek času - příprava vzorků atd.

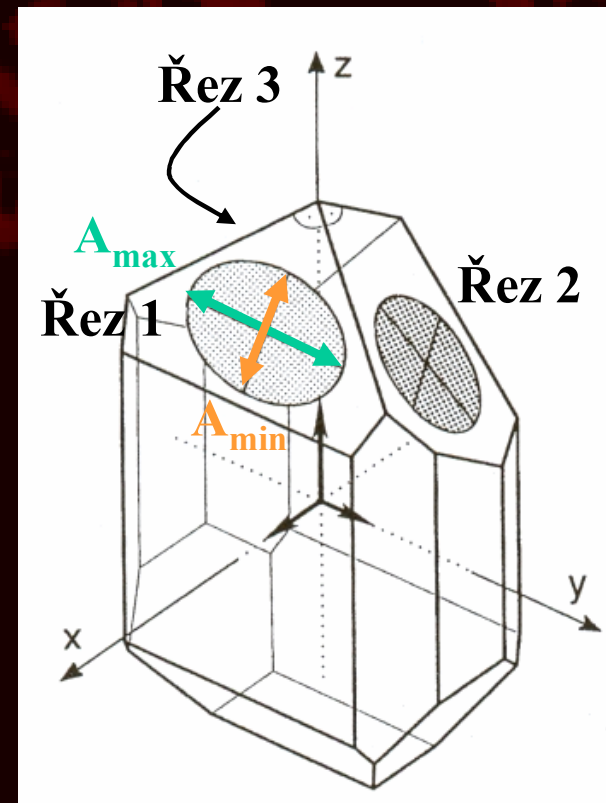
# Zkrátka...



**Institut mineralogie a krystalografie, Vídeň**

# Výpočet koncentrace absorbéru v anizotropním médiu, kde neznáme optickou orientaci krystalu

- Ne vždy je známa orientace krystalu, v němž se koncentrace absorbéru měří
- Alternativní metoda vyžaduje, aby byl preparát měřen třemi vůči krystalu nahodile orientovanými směry, vůči sobě ale navzájem kolnými.
- V rámci každého z daných tří směrů lze měřením s různě natočeným polarizátorem získat minimální a maximální hodnotu absorbance pro daný směr.
- Celková absorbance je pak dána součtem všech takto získaných hodnot ze všech tří řezů
- U takto zhotovených vzorků bez známé orientace krystalu nelze získat ani orientaci absorbéru.





# IR aktivita versus RAMAN aktivita

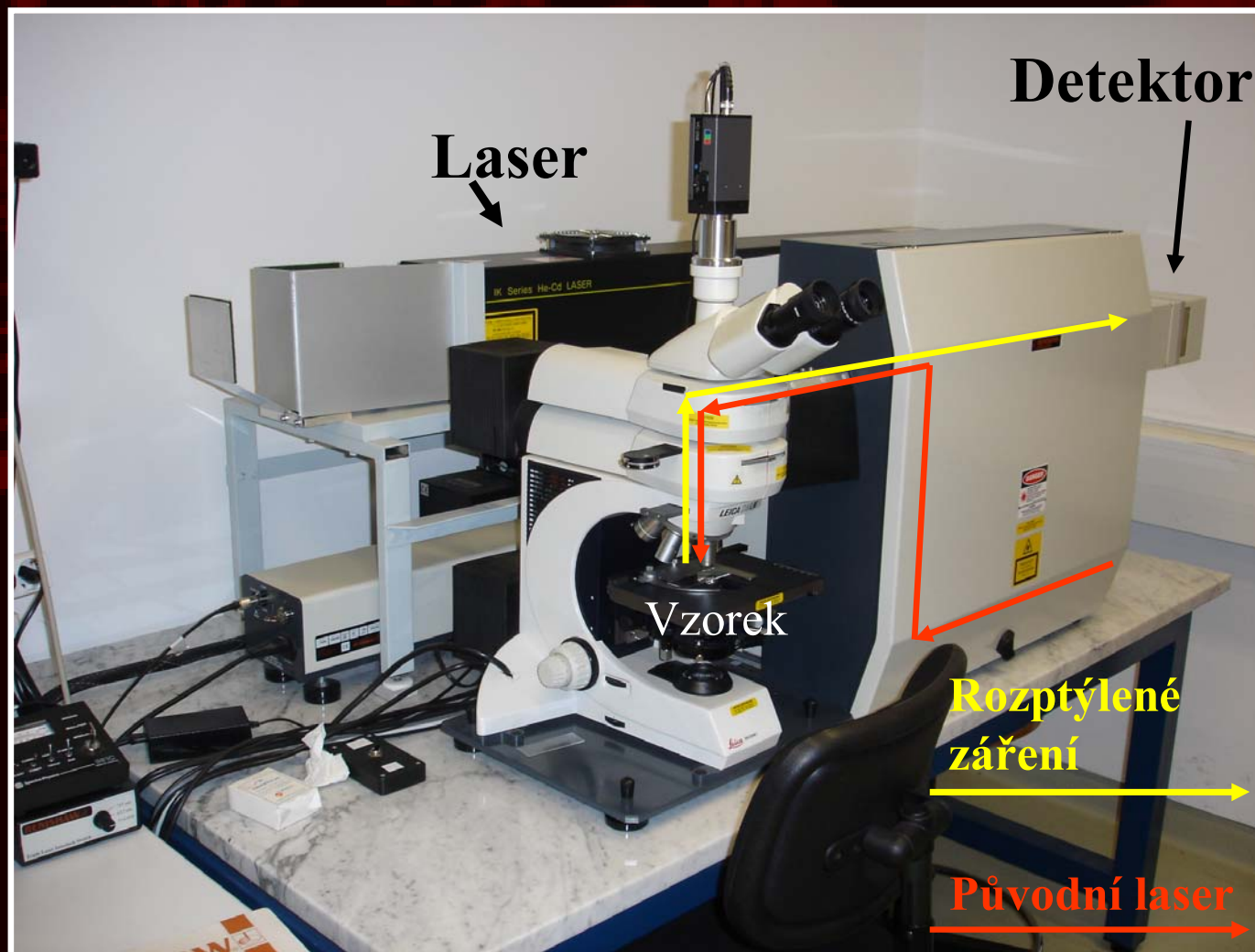


Ne všechny typy pohybu dané molekuly je možno vybudit pomocí IR spektroskopie



Doplňující metoda k IR spektroskopii - RAMANovská spektroskopie

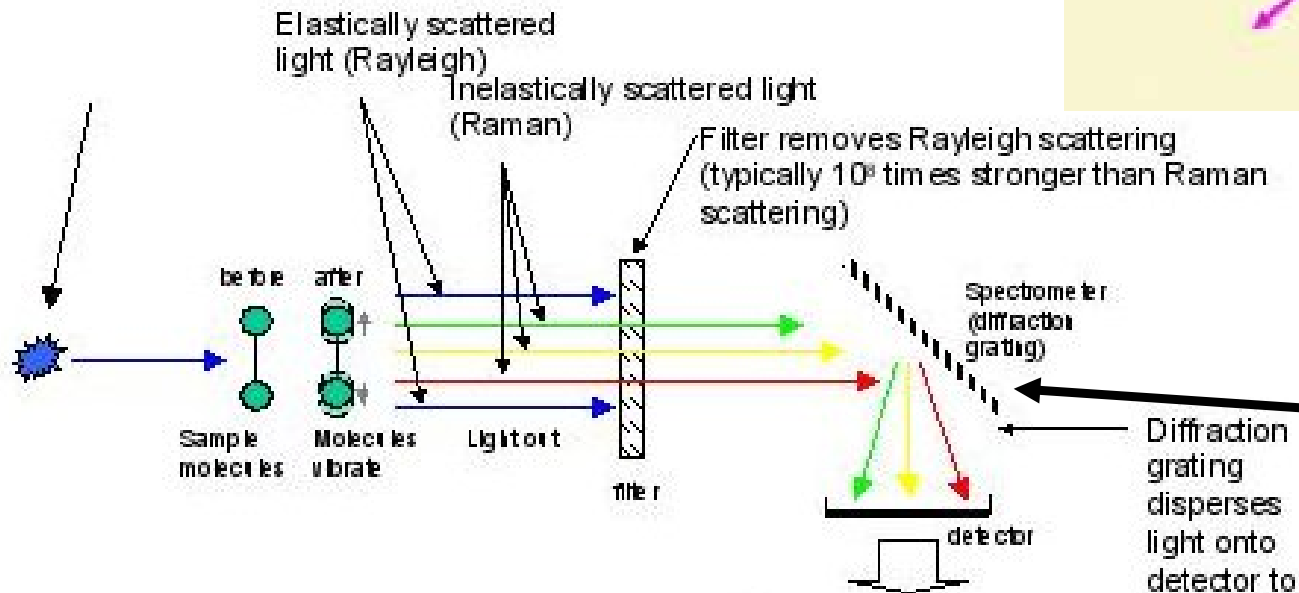
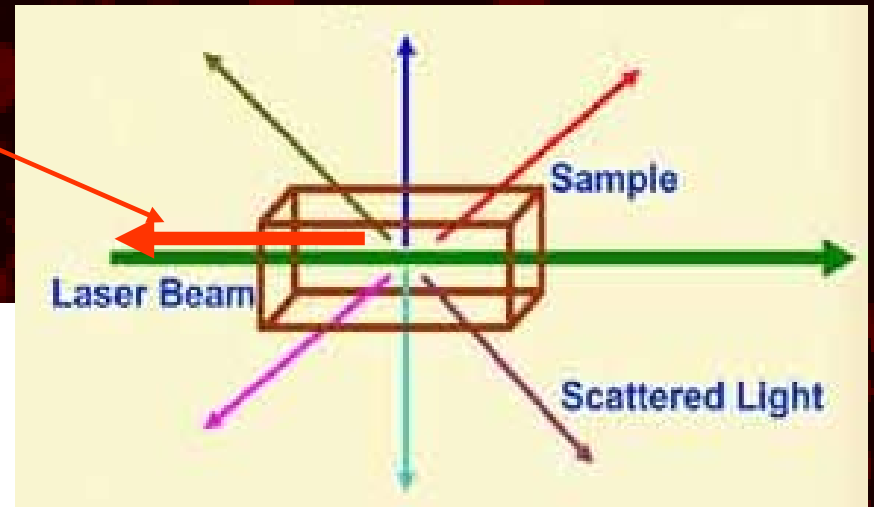
Princip metody - snímání záření vznikajícího rozptylem laserového paprsku (scattering) v rámci povrchu (objemu) vzorku



# Princip Ramanovské spektroskopie



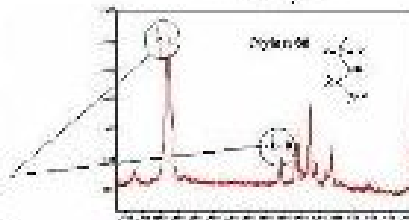
Snímána část rozptýleného záření, která se šíří v opačném směru než přichází laser (jde nazpět)



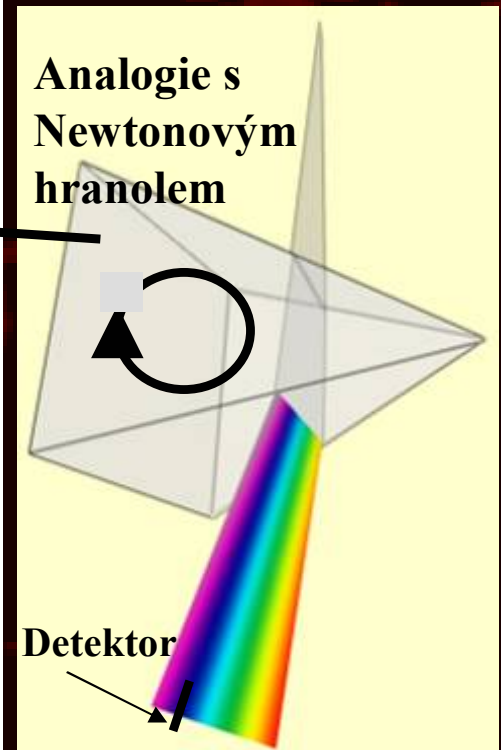
Light loses energy to molecular vibration  
Raman shift:

$$\nu_{\text{laser}} - \nu_{\text{scattered}} = \nu_{\text{Raman}}$$

The spectrum gives information about molecular bonding




Analogie s Newtonovým hranolem



Diffraction grating disperses light onto detector to generate a spectrum



# Princip Ramanovské spektroskopie

 Většina zpětného záření má vlnovou délku (frekvenci, vlnočet, energii) rovnou vlnové délce (vlnočtu, frekvenci, energii) primárního laseru (Rayleighův rozptyl)


 Část záření však vybujuje rezonanci molekul ve struktuře a mění tak svoji energii

$$E = h\nu = h \cdot c / \lambda = hc \cdot 1 / \lambda = \underline{hc\tilde{\nu}}$$

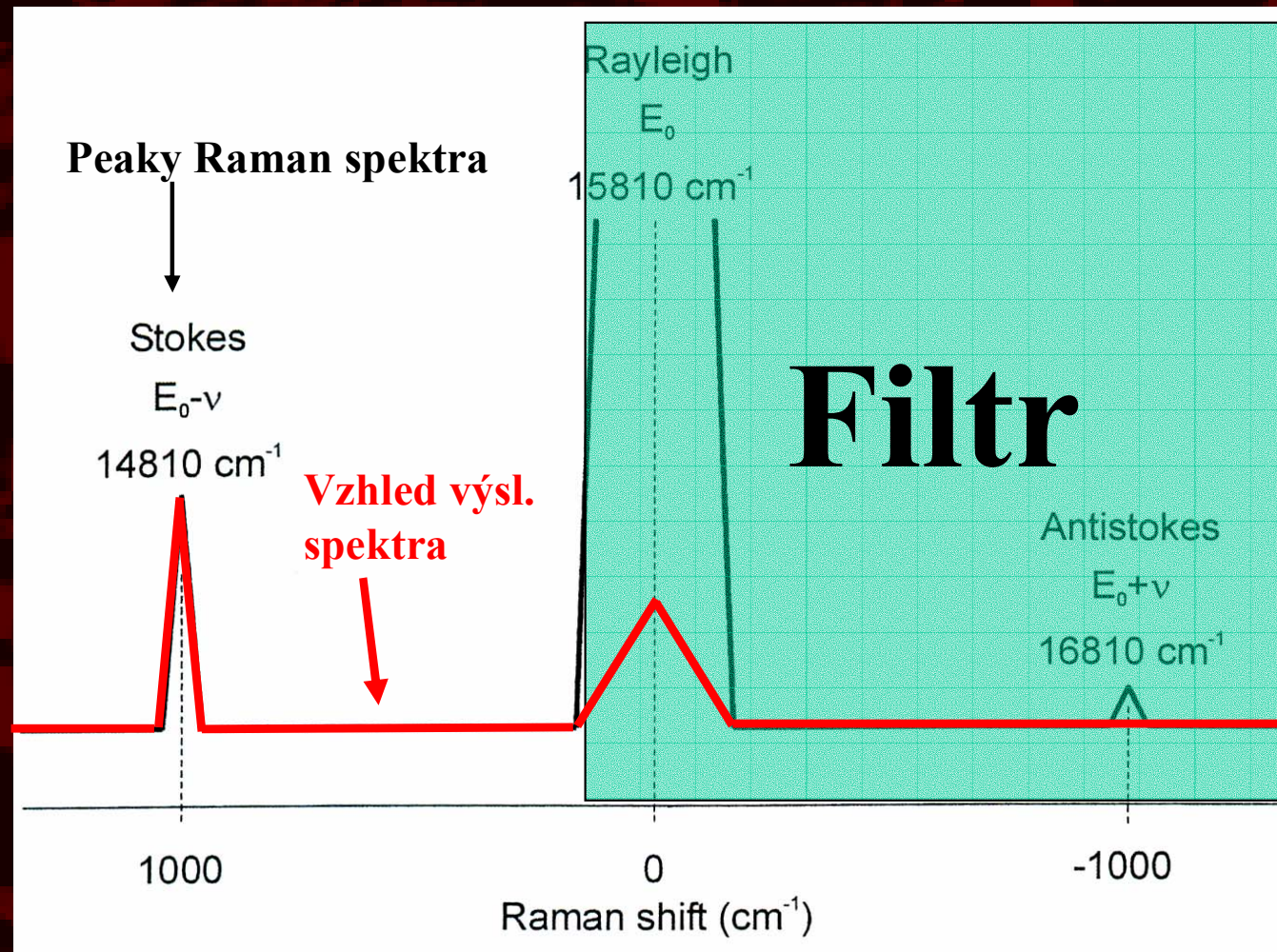
**Jiná energie - jiná vlnová délka = jiný vlnočet než primární laser !!!**

Vznik peaků s rozdílem vlnočtu vůči vlnočtu původního laseru!! (např OH vibrace: pozice peaku = vlnočet laseru - 3600 cm<sup>-1</sup>)

↑  
rovno vlnočtu stretching  
vibrace OH v rámci IR  
spektroskopie

 **RELATIVNÍ** pozice Raman peaků v závislosti na vlnočtu primárního laseru umožňuje užití laserů ve viditelné či UV oblasti EM spektra

# Princip Ramanovské spektroskopie



Schematické znázornění vzniku Raman spektra. Centrální peak odpovídá pozičně vlnočtu primárního laseru (Rayleigho rozptyl). Zrcadlově souměrně od něj jsou rozmístěny tzv. Stokes (vlnočet odpovídá vlnočtu laseru - vlnočet vybuzeného fononu) a antistokes (vlnočet laseru + vlnočet daného fononu - tzv. dvoufotonová interakce, jejíž pravděpodobnost je menší než pravděpodobnost Stokes  $\rightarrow$  nižší amplitudy). Normálně je filtrem odfiltrována celá část Antistokes a utlumen Rayleigho peak.

# IR aktivita versus RAMAN aktivita


---

 Pomocí IR spektroskopie lze vybudit pouze ty typy pohybu molekul (fonony), při nichž dochází ke změně CELKOVÉHO dipólového momentu molekuly (funkční skupiny)

 Pomocí RAMANovské spektroskopie lze vybudit pouze ty typy pohybu molekul (fonony), při nichž dochází k VÝRAZNÉ změně polarizovatelnosti molekuly (funkční skupiny)

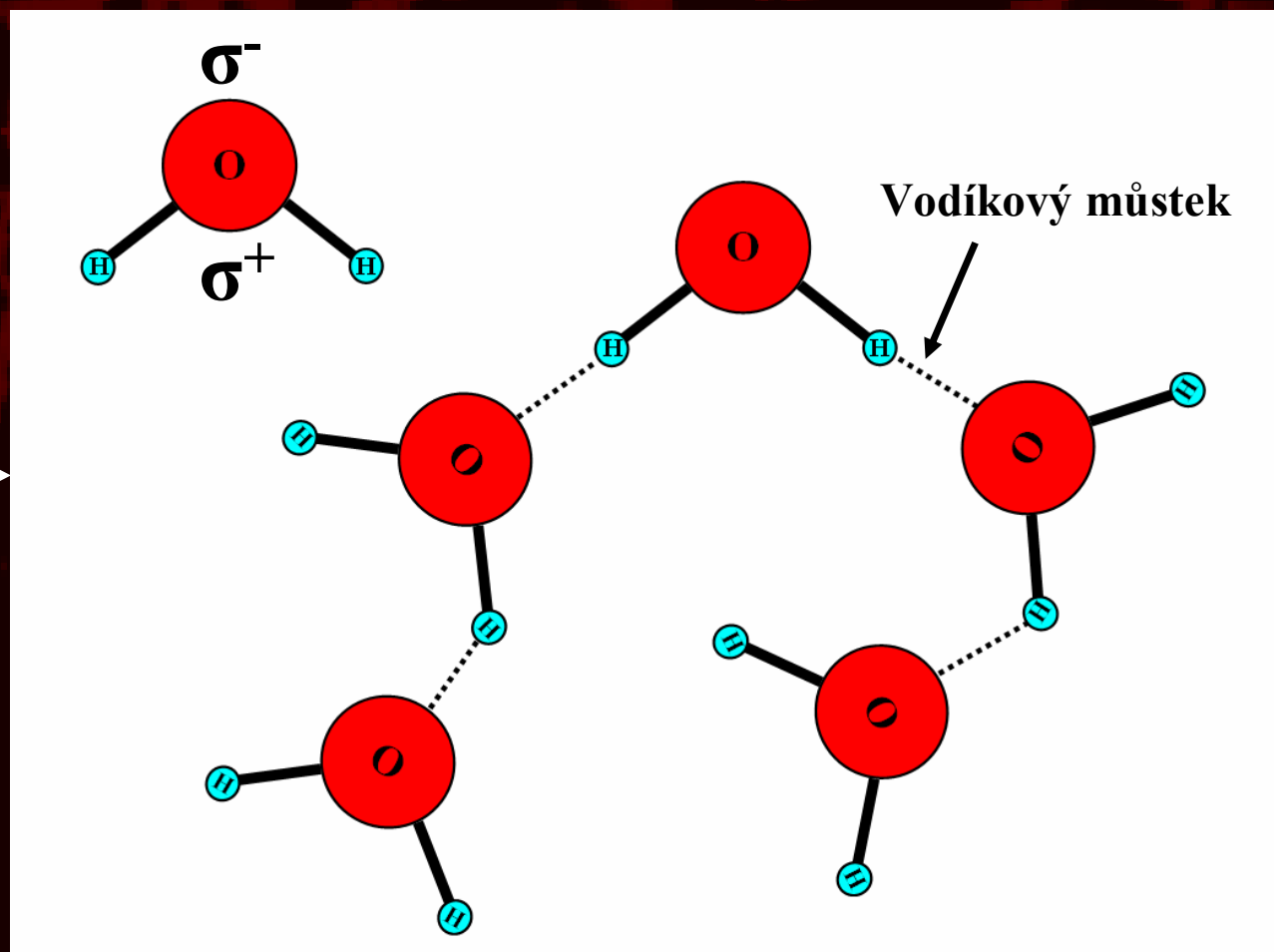
- Určité fonony mohou být jak IR-aktivní, tak RAMAN-aktivní
- Určité fonony nejsou ani IR-aktivní, ani RAMAN-aktivní

# Dipólový moment

 Každá molekula (funkční skupina) složená z kationtů a aniontů (kladný a záporný náboj). Jejich nerovnoměrné rozmístění může způsobit, že je molekula v určité části spíše kladně nabitá a jinde zase slabě záporně nabitá - vznik dvou elektrických pólů - dipólu

Nenulový celkový dipólový moment molekul  $\text{H}_2\text{O}$  způsobuje vznik slabých vazeb mezi kladnými a zápornými částmi molekul - vodíkové můstky

Důsledek: vysoký bod varu vody, vysoké skupenské teplo výparu...

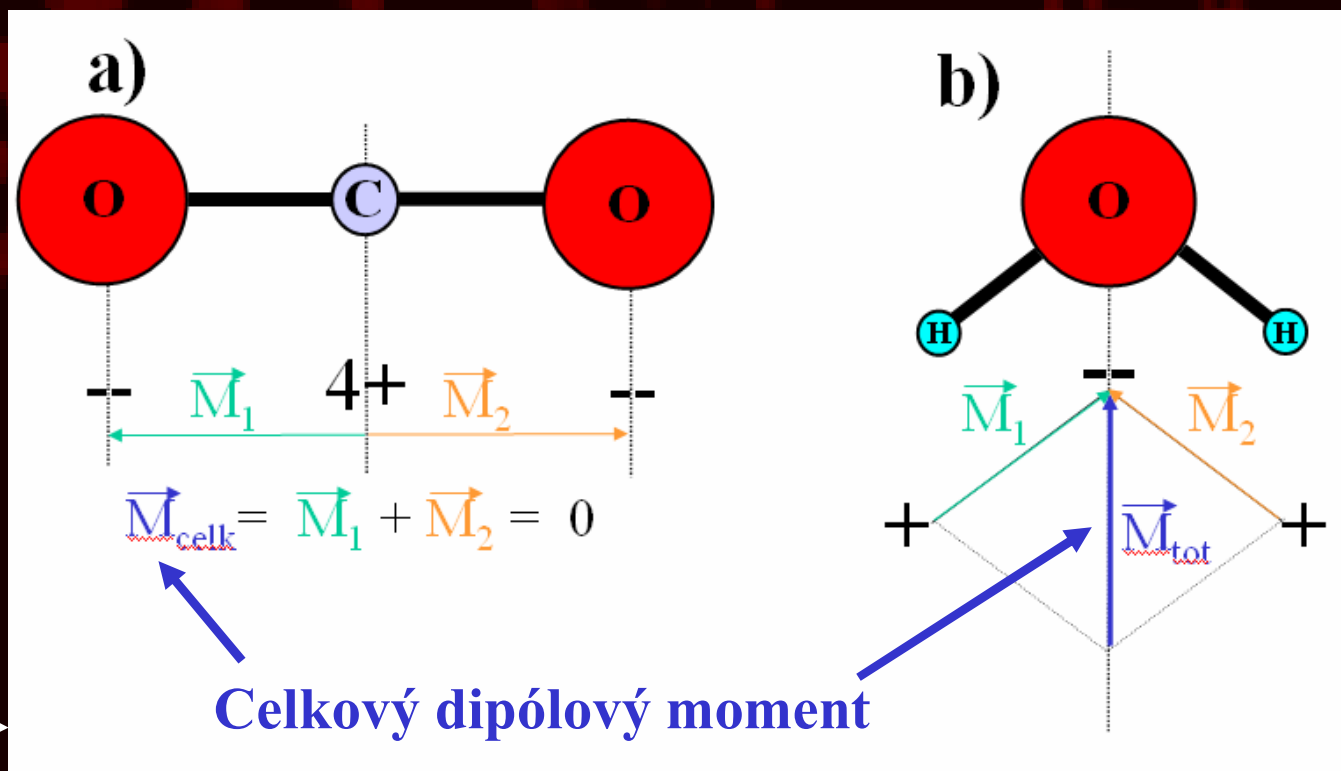


# Odvození dipólového momentu

🌀 Vytyčit vektory vedoucí od kationtů k aniontům či naopak (všechny ale stejná varianta!) s poměrnou délkou v závislosti na počtu nábojů připadajících na danou chemickou vazbu

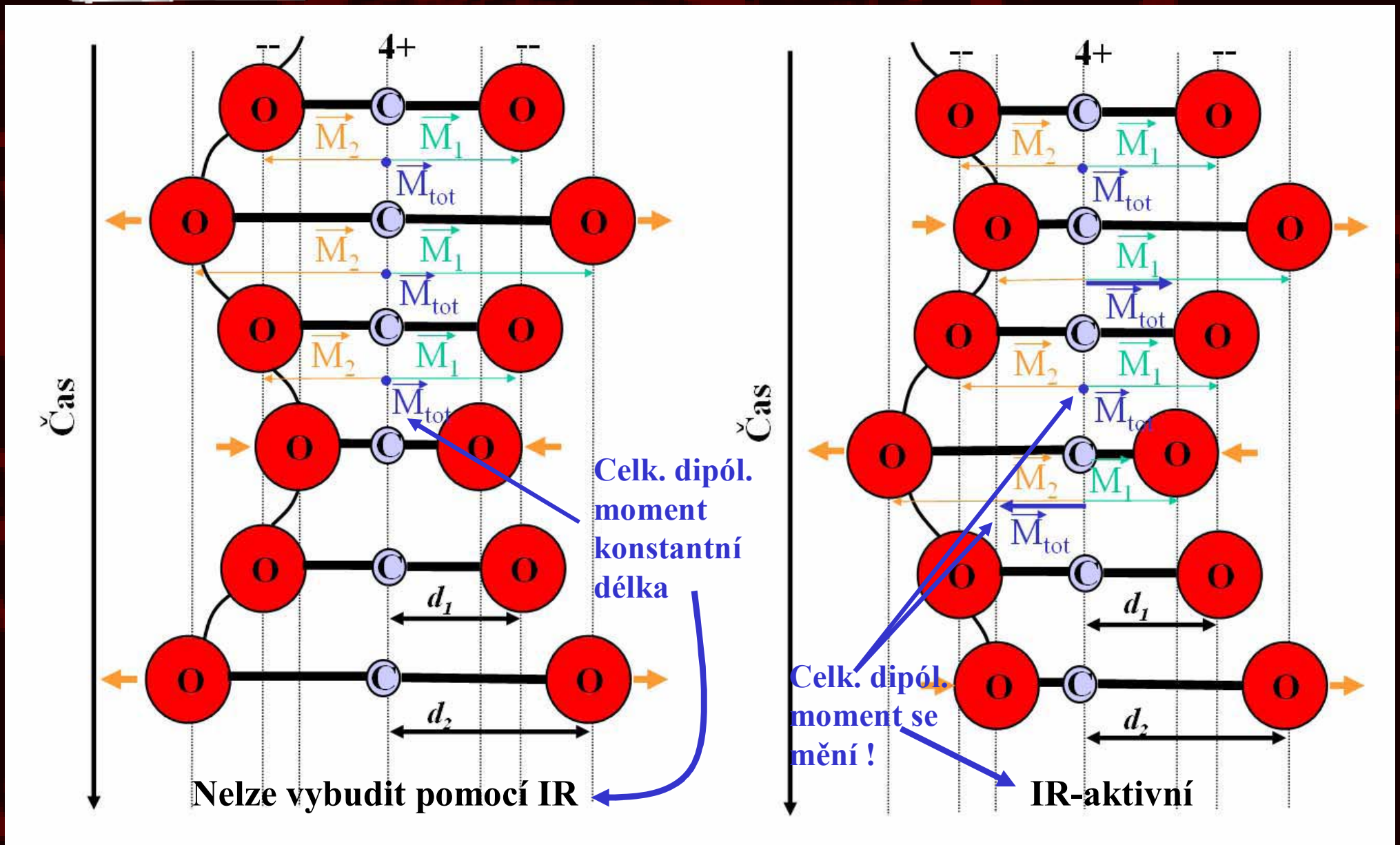
🌀 Vektorový součet všech dílčích vektorů odvozených v předešlém kroku poskytne výsledný vektor, jehož délka představuje CELKOVÝ dipólový moment dané molekuly

Odvození celkového dipólového momentu pro  
a) molekulu  $\text{CO}_2$ , b)  
molekulu  $\text{H}_2\text{O}$






# Odvození změny dipólového momentu



Odvození změny celkového dipólového momentu pro a) symetrickou vibraci molekuly CO<sub>2</sub>,  
b) asymetrickou vibraci molekuly CO<sub>2</sub>


# Polarizovatelnost

 Míra snadnosti změny prostorového rozložení záporných a kladných nábojů v rámci molekuly z normálního stavu (závislá mj. na vzdálenosti kationt-aniont (délce chem. vazeb) působením vnějšího elektrického pole (u nás el. vektor EM vlnění - neustále se mění)

$$\mathbf{P} = \boldsymbol{\alpha} * \mathbf{E}$$

Dipólový moment      Polarizovatelnost      Intenzita el. pole

**Tenzor 2.řádu - prostorový elipsoid, omezeně se mění při každém typu fononu - změna pozice jednotlivých atomů - problém**

 RAMAN - aktivní ten fonon, kde v rámci pohybu atomů dochází k VÝZNAMNÉ změně polarizovatelnosti

**Jak poznat v rámci daného fononu, jestli je změna polarizovatelnosti významná?**



# Vylučovací pravidlo pro centrosymetrické molekuly a další pomůcky k rozeznání IR - či RAMAN - aktivity

Fyzikální výpočty pro naše účely (kvalitativní zhodnocení ano/ne) složité



## Vylučovací pravidlo pro centrosymetrické molekuly

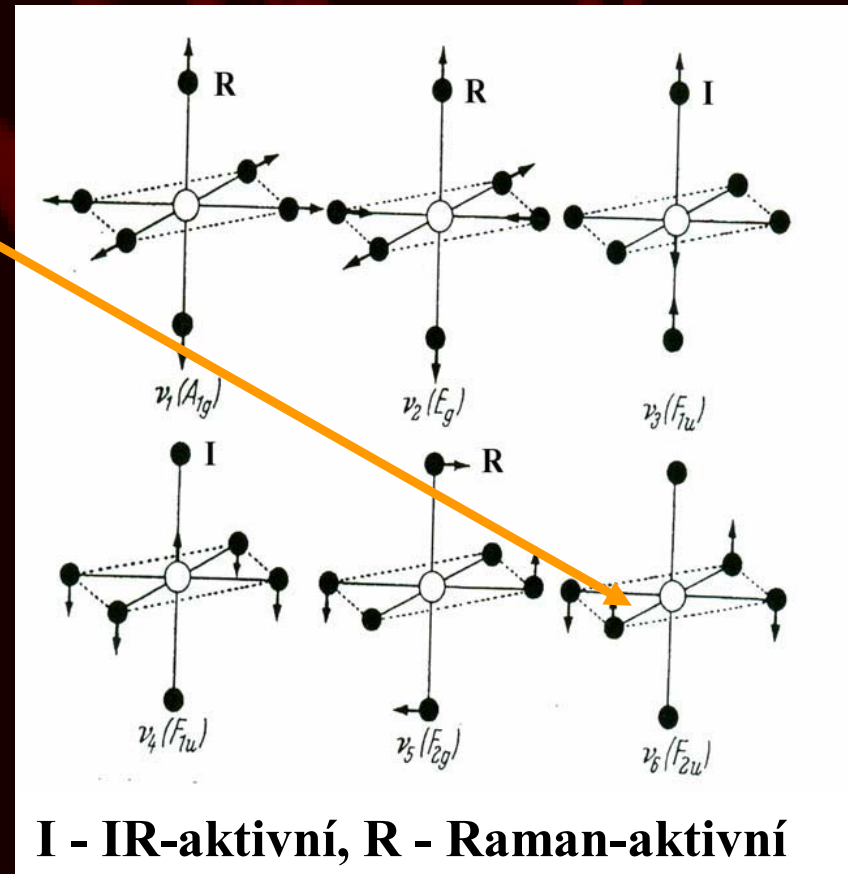
Je-li molekula (funkční skupina) centrosymetrická (má střed souměrnosti), pak může být libovolný fonon pouze IR-aktivní, či pouze RAMAN-aktivní, nemusí však vykazovat ŽÁDNOU aktivitu!



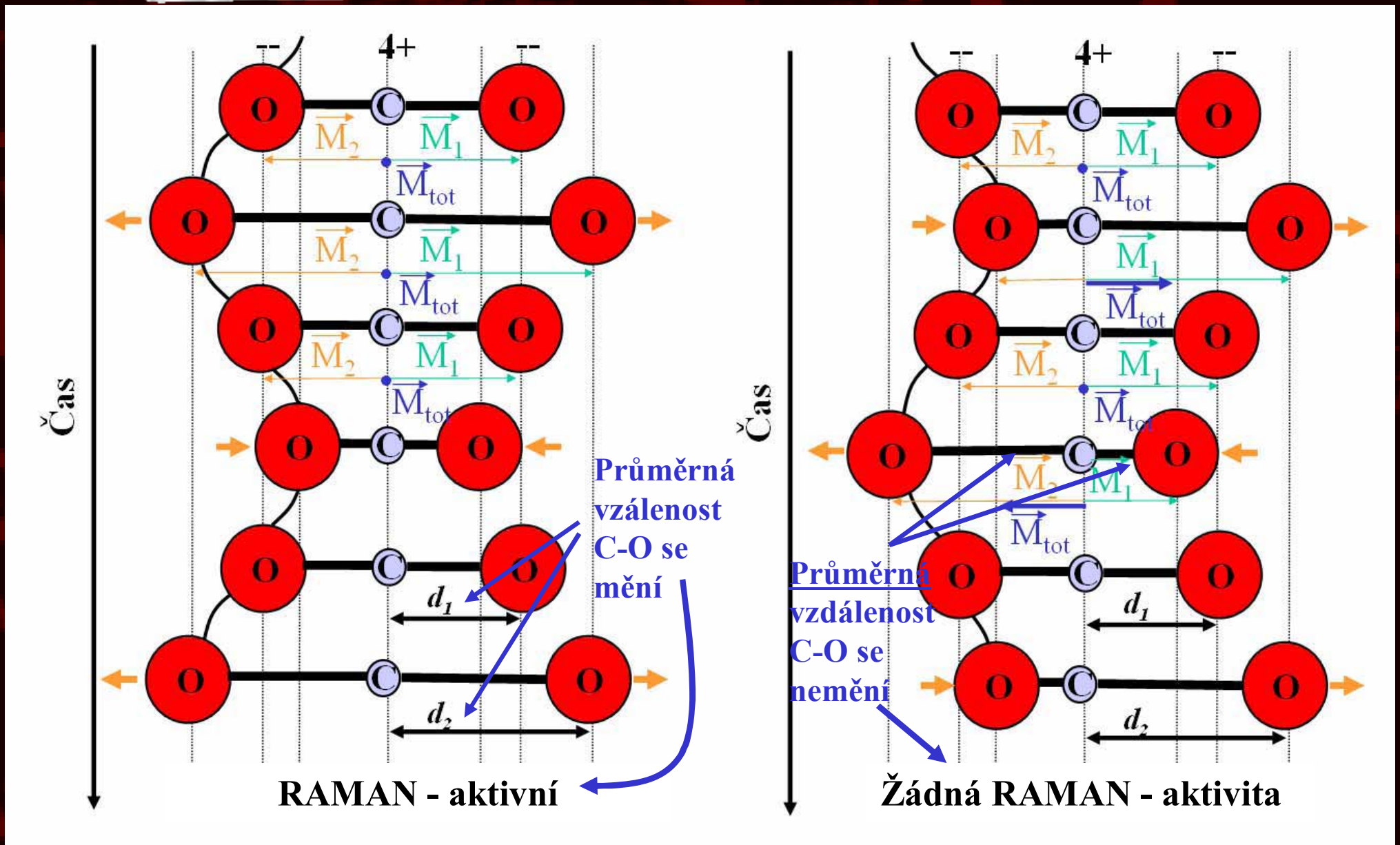
U molekul (funkč. skupin), jenž i v klidovém stavu vykazují nenulový CELKOVÝ dipólový moment, jsou všechny fonony IR-aktivní



Mění-li se při určitém fononu PRŮMĚRNÁ vzdálenost kationt/aniont v rámci celé molekuly, je daný fonon RAMAN-aktivní.

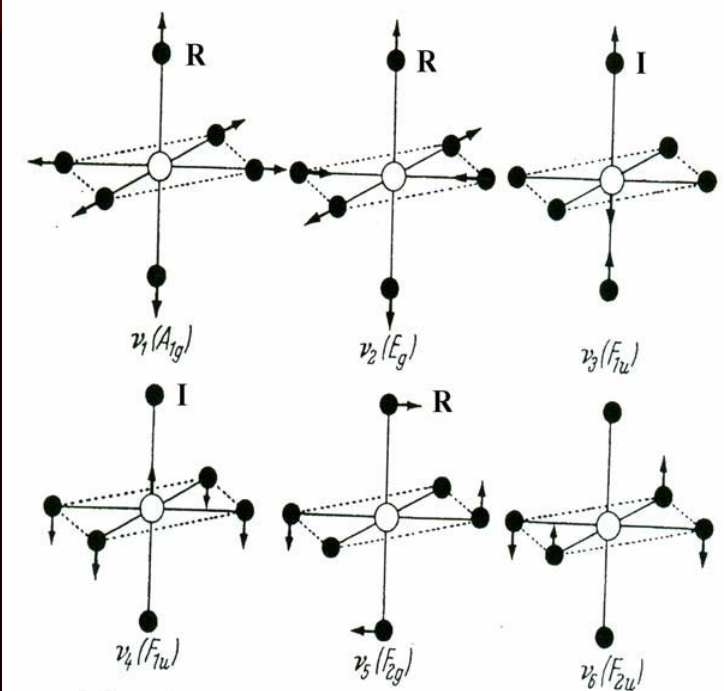
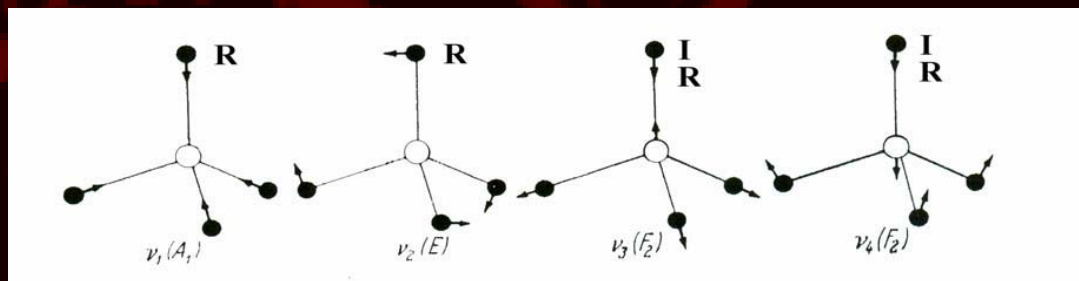
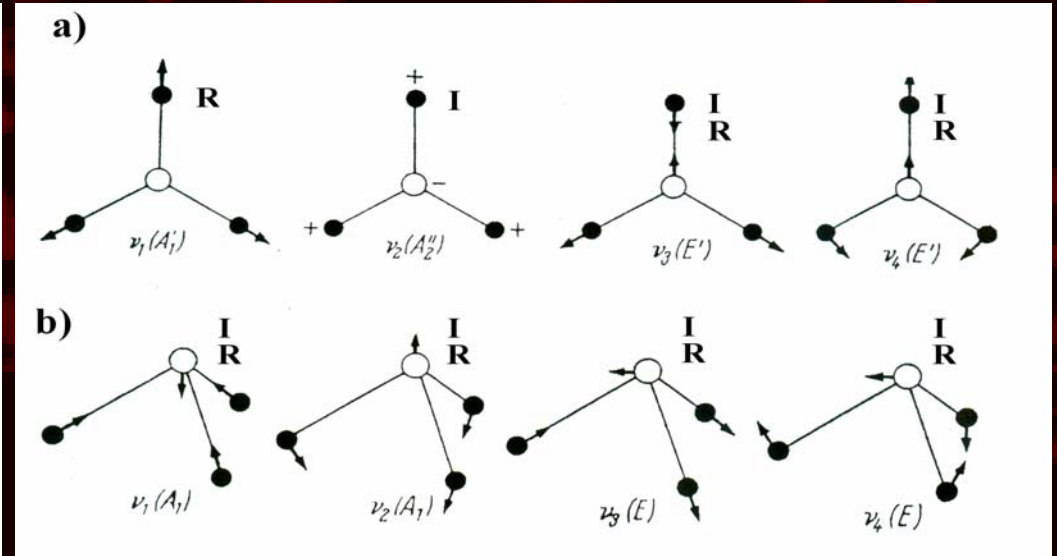
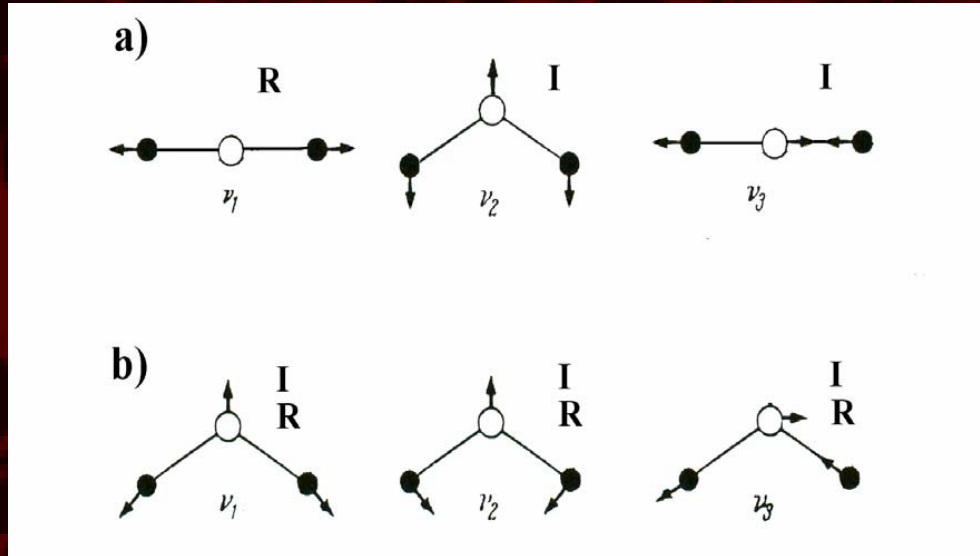


# Odvození RAMAN-aktivnosti fononu



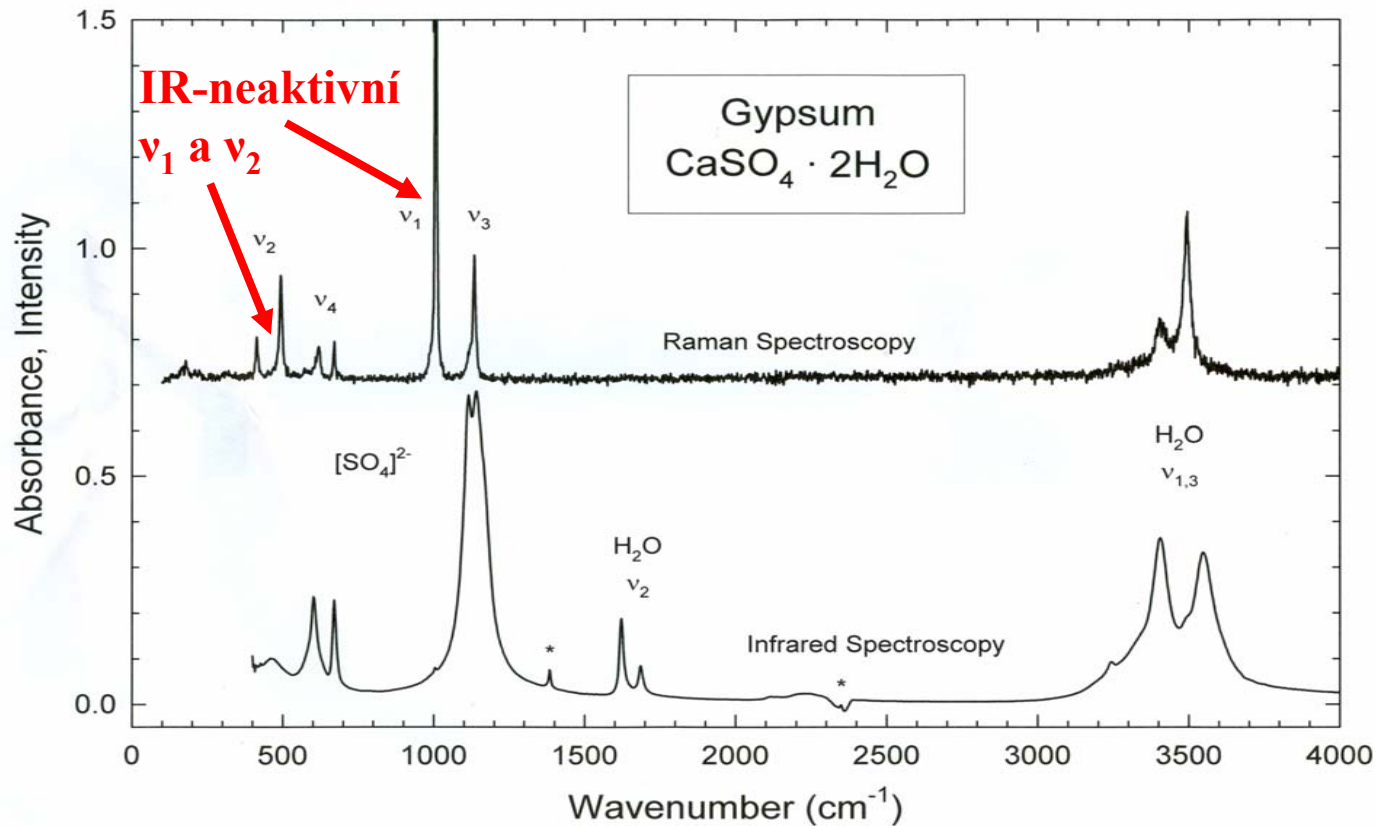
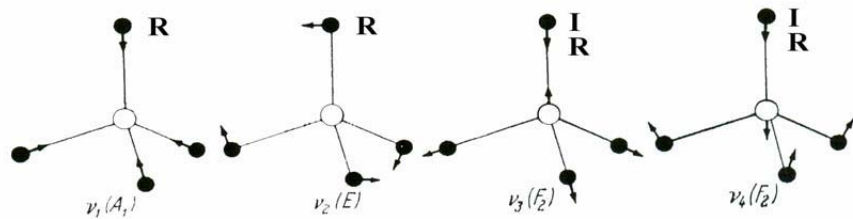
Odvození RAMAN-aktivity pro a) symetrickou vibraci molekuly  $\text{CO}_2$ , b) asymetrickou vibraci molekuly  $\text{CO}_2$

# IR- a RAMAN-aktivnost jednoduchých molekul (strukturních polyedrů)



**I = IR-aktivní, R = Raman-aktivní**

# Příklad - srovnání IR spektra a RAMAN-spektra sádrovce ( $\text{CaSO}_4$ ) - fonony $\text{SO}_4^{2-}$ skupiny







# Přínos kombinování IR- a RAMAN-spektroskopie

 Identifikace dané fáze fingerprintingem - RAMAN mnohdy lepší výsledky než IR spektra

 Možnost výzkumu IR-neaktivních fononů - doplňující informace o látce

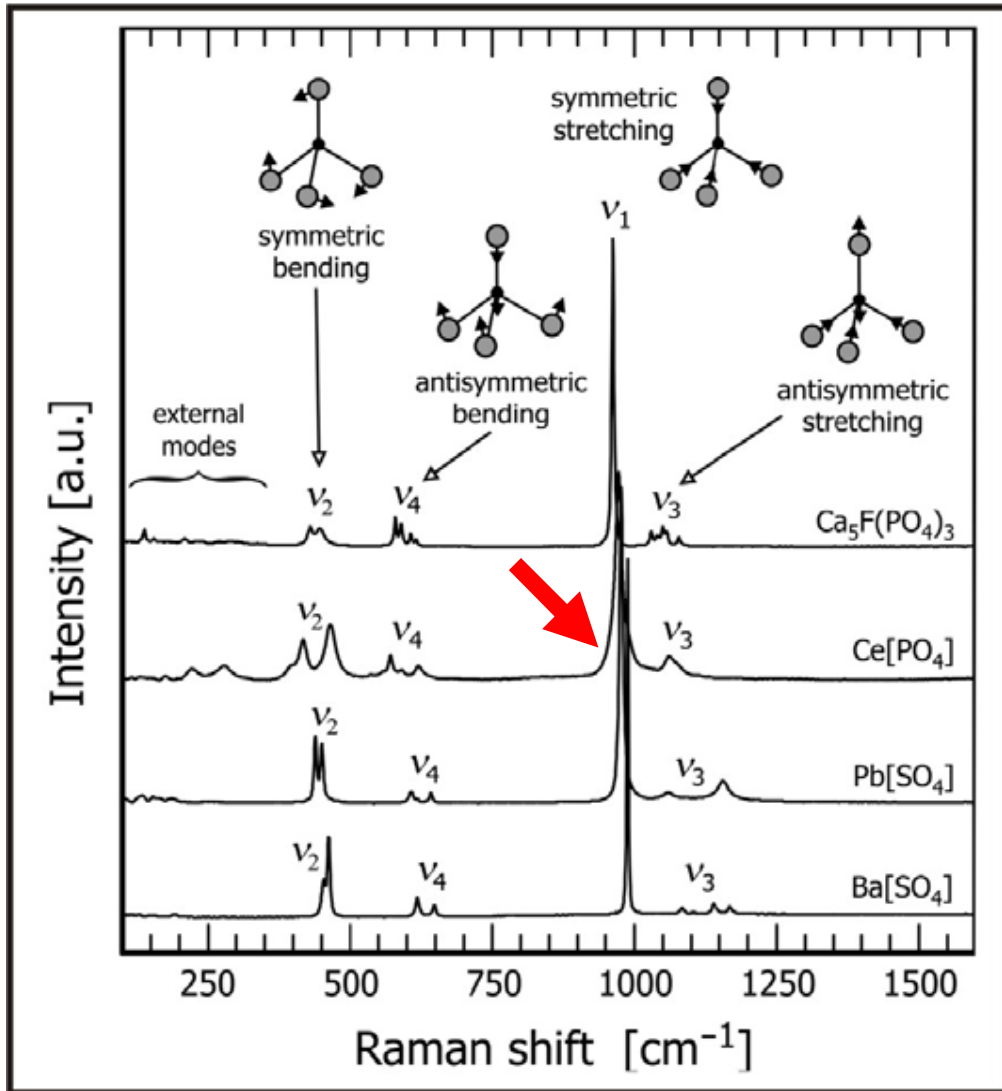
## OMEZENÍ RAMAN

 Nemožno stanovit koncentraci absorbéru pomocí Beer-Lambertova zákona  
Proces rozptylu laserového záření, jeho intenzita a míra interakce s látkou pro vznik RAMAN-spektra různá pro odlišné fáze - nelze matematicky vyjádřit

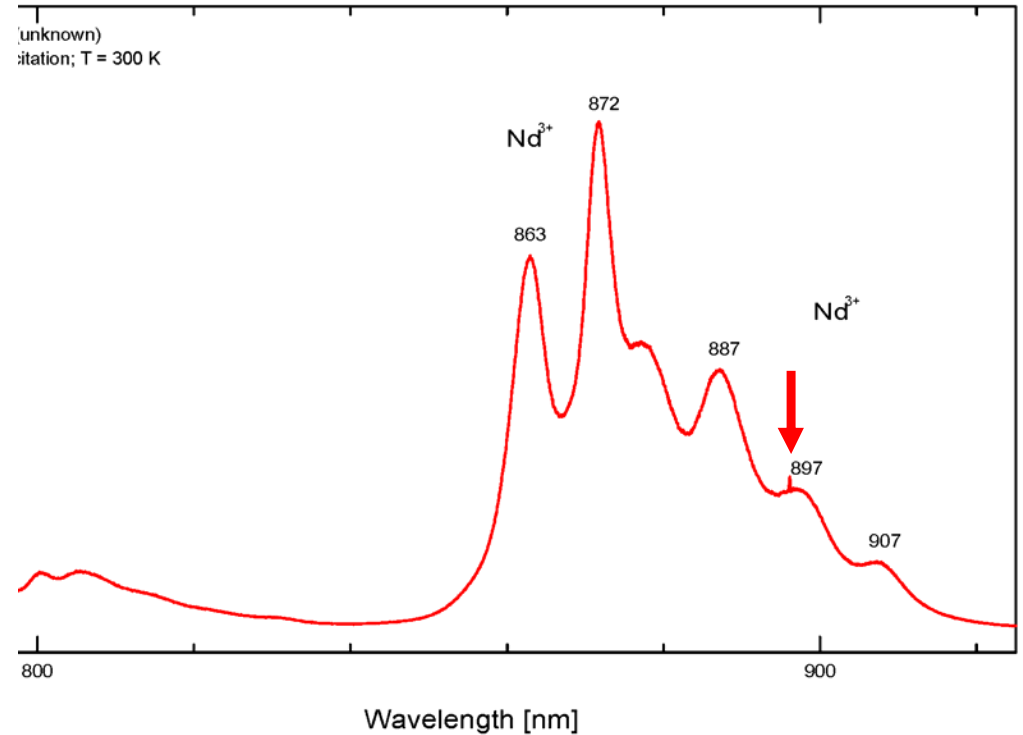
 Nebezpečí koincidence RAMAN-peaků a luminiscence  
Peaky RAMAN-spektra vždy v tomtéž odstupu od vlnočtu Rayleighovy čáry (vlnočtu laseru), luminiscence na jedné konkrétní hodnotě vlnočtu.

Řešení - měřit více lasery o různých vlnových délkách (vlnočtech)

# Problém koincidence s luminiscencí - příklad monazit



Luminiscence zpravidla mnohem intenzivnější než vlastní Ramanovské spektrum



RAMAN spektrum monazitu (Nasdala)

Reference: Gaft, Reisfeld & Panczer (2005): Luminescence spectroscopy of Minerals and Materials, Springer, Berlin Heidelberg, 356 p.

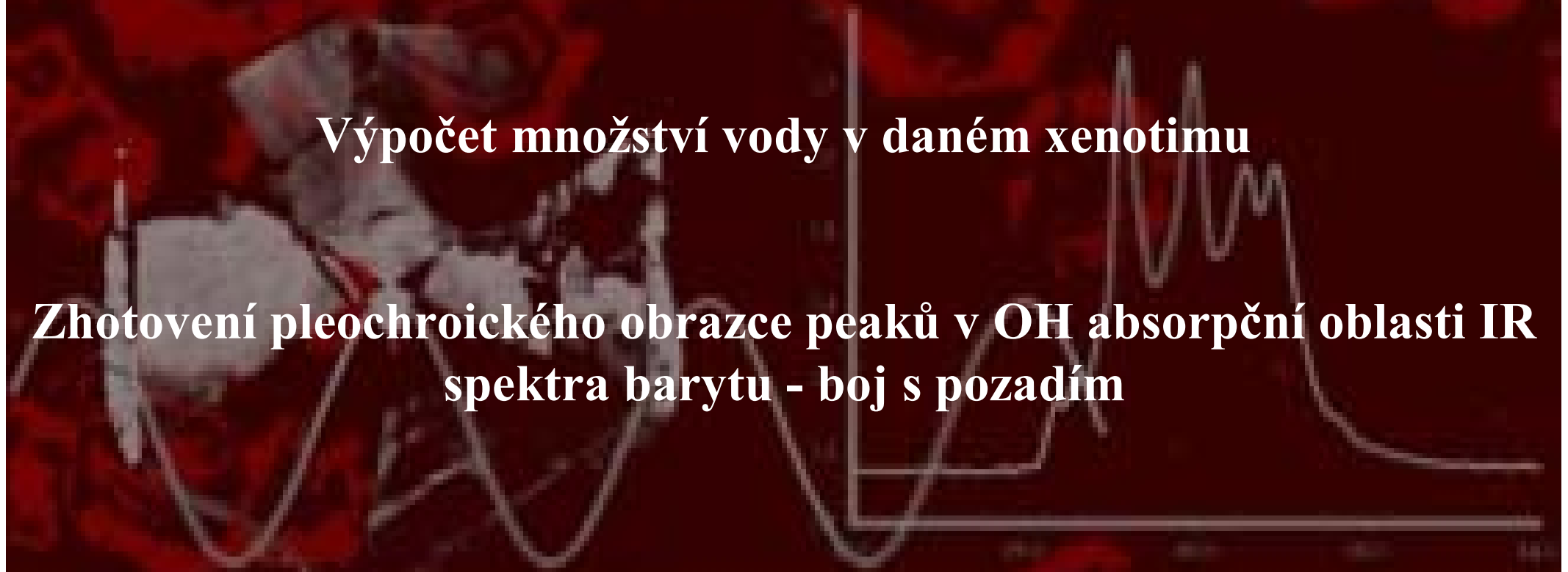
RAMAN spektrum monazitu v kombinaci se silnou luminiscencí Nd<sup>3+</sup>

# Cvičení II

**Stanovení orientace OH defektu náležícího hlavnímu peaku v IR spektru xenotimu**


**Výpočet množství vody v daném xenotimu**

**Zhotovení pleochroického obrazce peaků v OH absorpční oblasti IR spektra barytu - boj s pozadím**

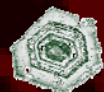





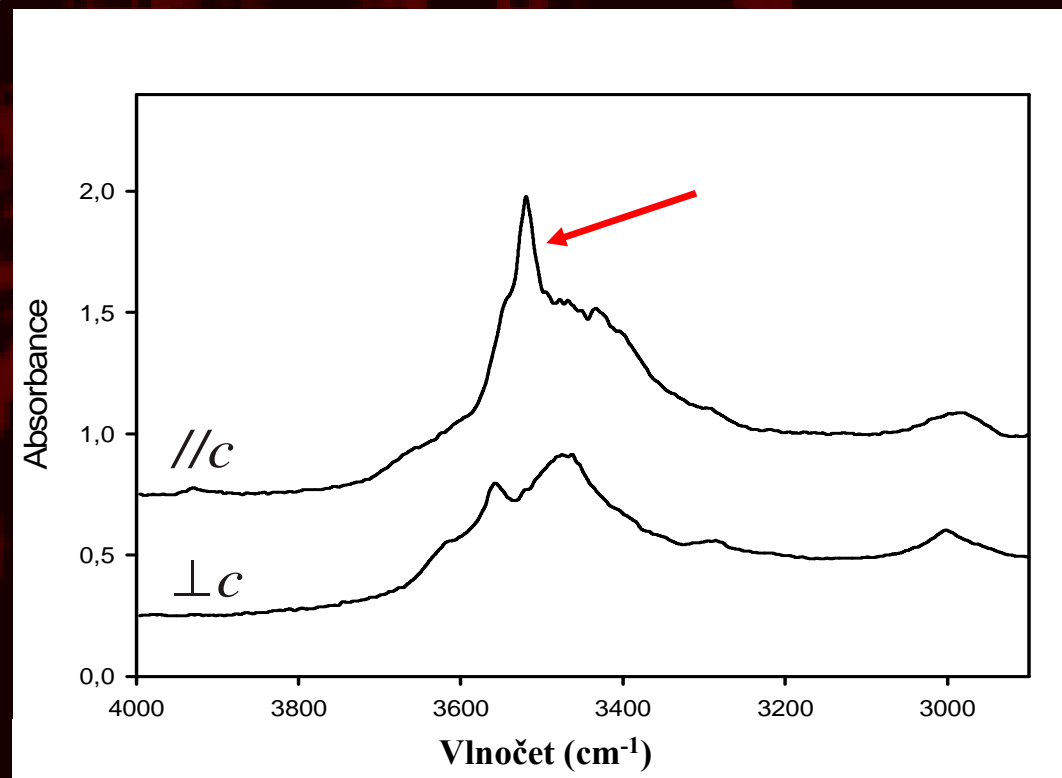
# Postup

 Fitujte sérii IR spekter od 0 do 90° vůči ose  $c$  vzorku xenotimu

Šetřete čas! Použijte jako výchozí bod fitu pro xenotim za 298K z minula rovnoběžně s osou  $c$ , který posléze upravte.

 Pro každý fit vytvořte numerický výstup, obsahující mj. lineární absorbanci (amplitudu spektr. peaků)

 Sestrojte polární diagram s užitím úhlu vůči ose  $c$  jako  $x$  hodnot (úhel), a lineární absorbance peaku na  $3519\text{ cm}^{-1}$  z numerického výstupu jednotlivých spekter jako  $y$  hodnot (poloměr).



Xenotim - Ibitiara, BRA, s označením hlavního peaku

# Postup - pokračování

 Vypočtete úhel spojnice O-H v rámci studovaného defektu vůči krystalové ose  $c$ .

- Pro vzorec na výpočet kosinu úhlu O-H spojnice k dané ose je nutno zjistit totální absorbanci pro peak na  $3519 \text{ cm}^{-1}$  ( $A_{\text{tot}}$ ).

$$\cos^2\gamma = A_z / A_{\text{tot}}$$

Xenotim je tetragonální - osy  $x$  a  $y$  jsou si rovnocenné, stejně jako absorbance podél nich - obě jsou rovny lineární absorbanci peaku na  $3519 \text{ cm}^{-1}$  ve směru kolmém na osu  $c$ .

$$A_{\text{tot}} = A_z + A_x + A_y = A_{//c} + 2 * A_{\perp c}$$

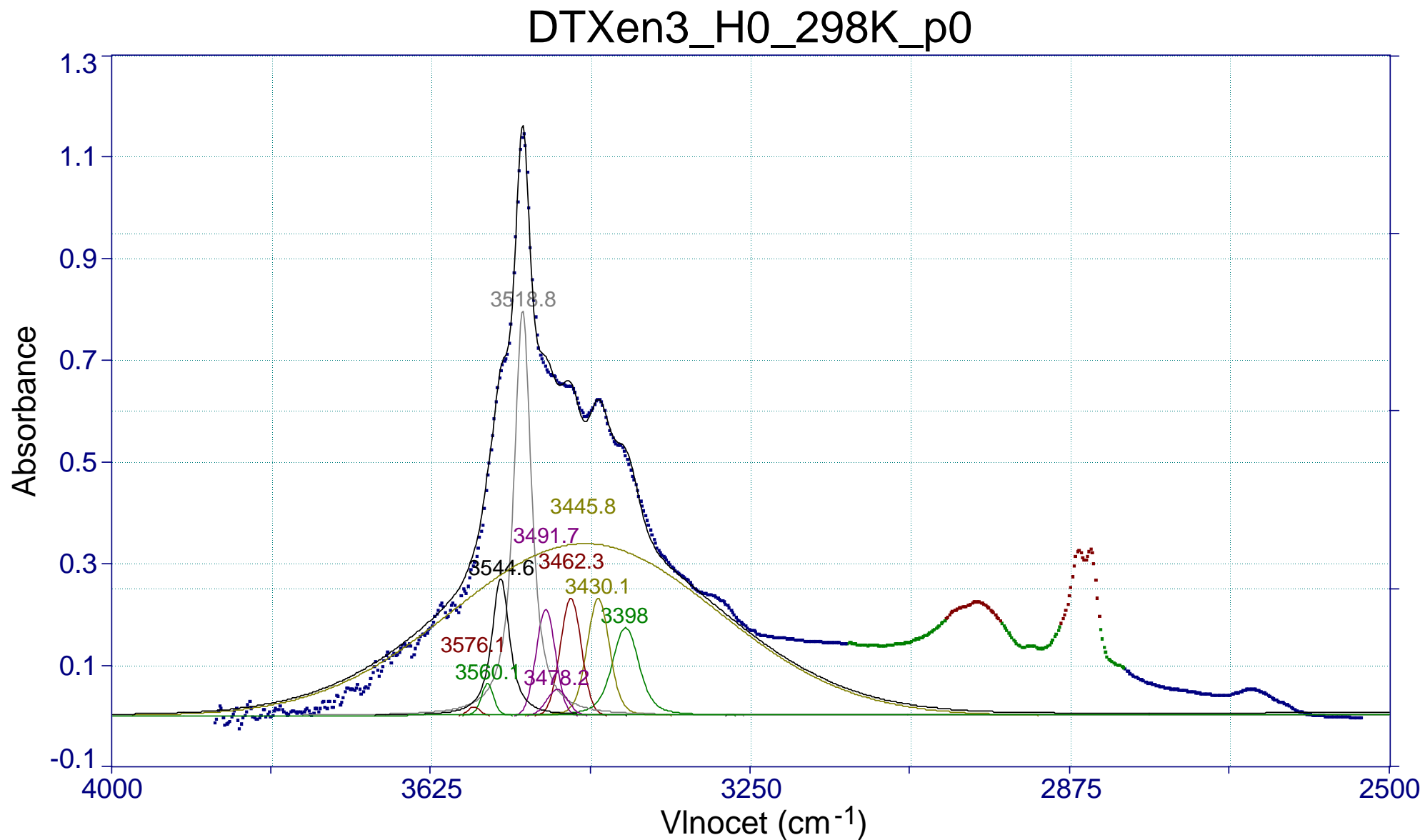
$$A_x = A_y$$

- Dosad'te do výše uvedeného vzorce a získejte druhou mocninu kosinu daného úhlu.
- Přepočtete získanou hodnotu na vlastní úhel  $\gamma$  ve stupních pomocí níže uvedeného vzorce.

$$\gamma = \arccos( (\cos^2\gamma)^{0,5} )$$

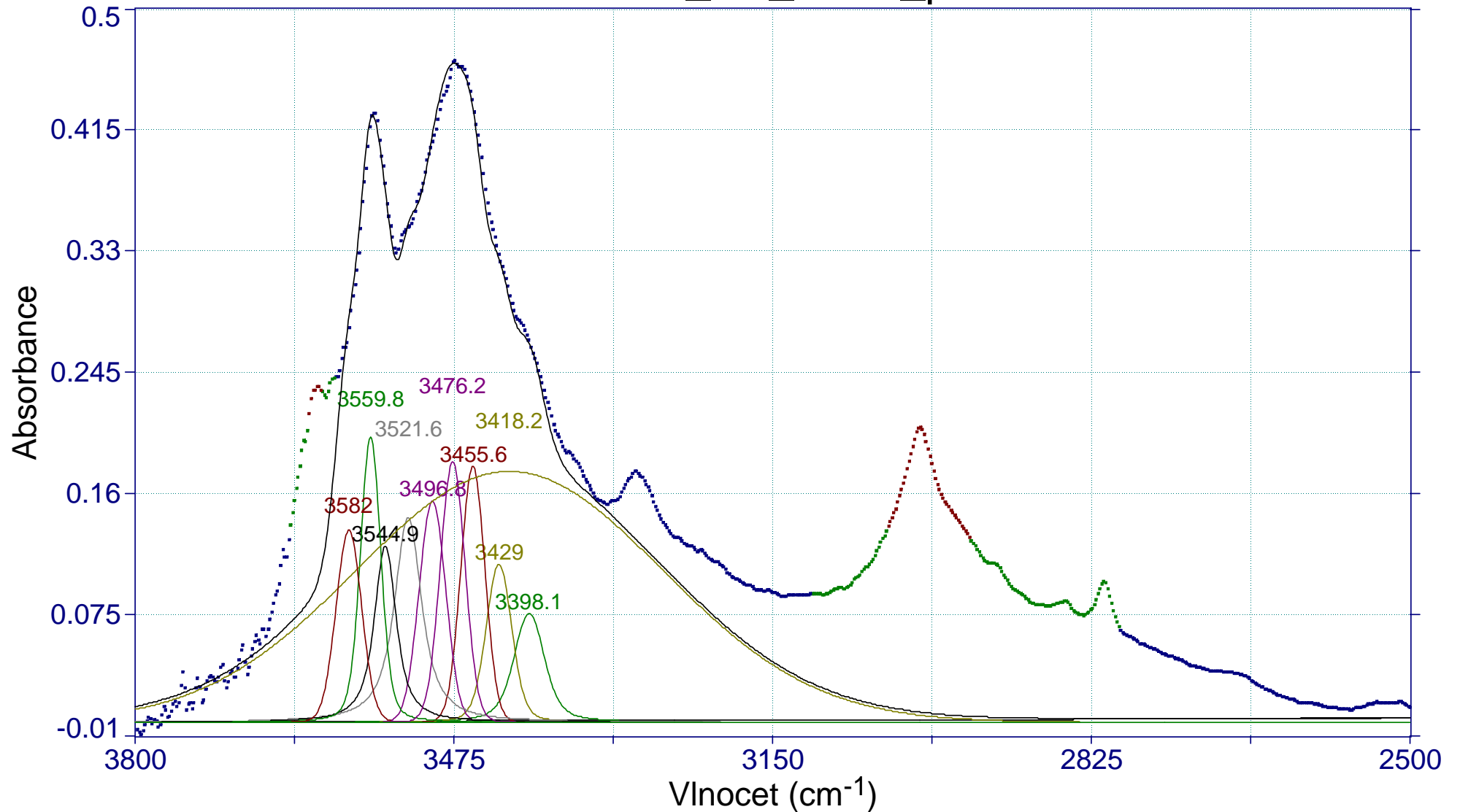
 Výsledný úhel by měl činit cca.  $20^\circ$ .

# Fitování IR spektra xenotimu měřeného rovnoběžně s osou *c*



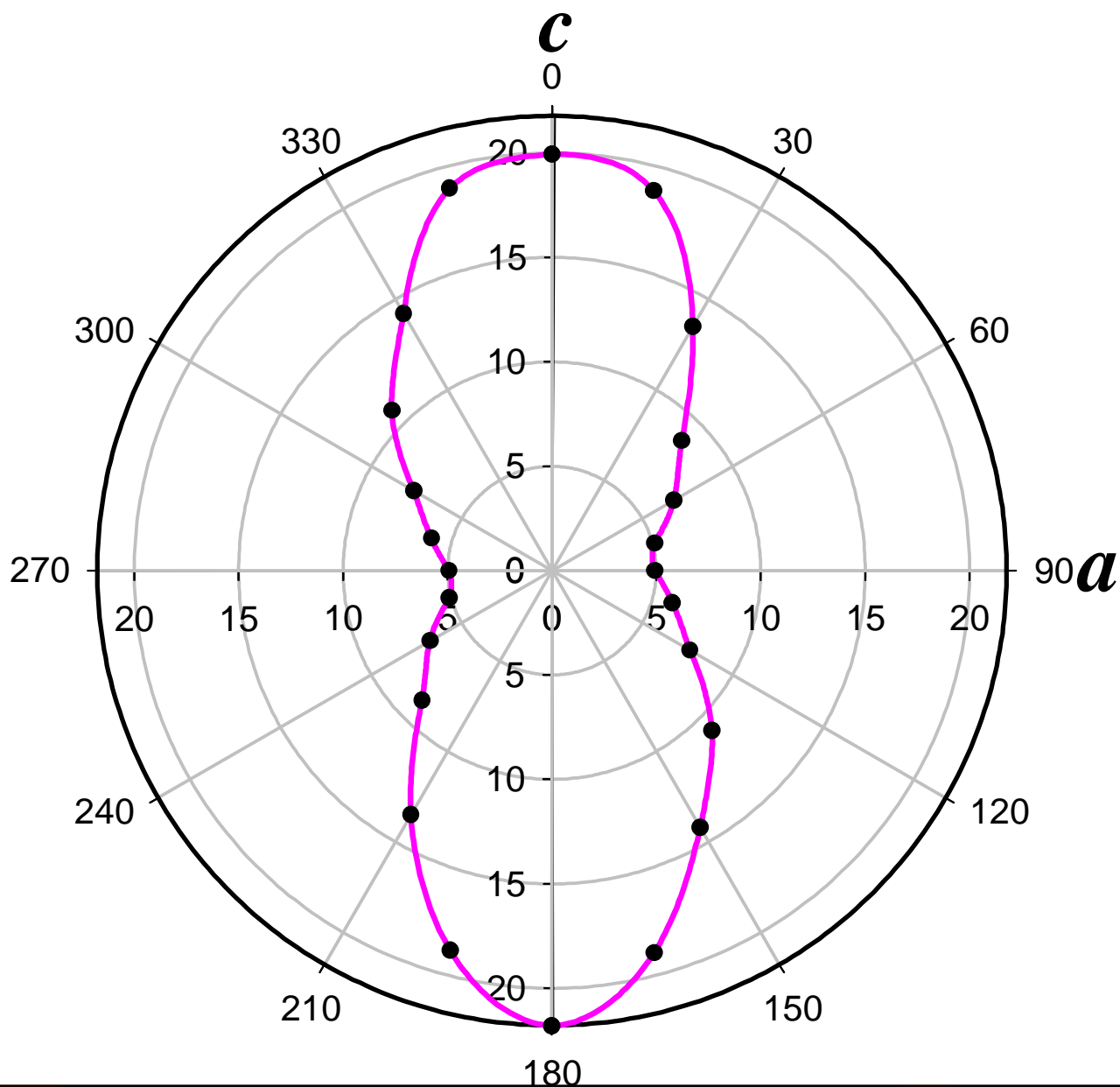
# Fitování IR spektra xenotimu měřeného kolmo na osu $c$

DTXn3\_H0\_298K\_p90



# Výsledky - pleochroický obrazec peaku na 3500 cm<sup>-1</sup>

Xenotim Ibitiara - peak 3519 cm<sup>-1</sup>




# Zkoumaný xenotim - fakta

---

 Anizotropní minerál, vedlejší osy rovnocenné

 Tloušťka leštěného preparátu  $1080 \mu\text{m} = 0,108 \text{ cm}$

 Anizotropní minerál (nutno stanovit hodnotu integrální absorbance podél všech hlavních optických směrů)

Nutno fitovat pomocí PeakFitu a extrahovat numerická data ohledně plochy celého spektra. Hlavní optické směry jsou totožné s krystalovými osami!!

 Hustota xenotimu  $4,8 \text{ gcm}^{-3}$  (4,4 - 5,1 - [www.mindat.org](http://www.mindat.org))

 Molární hmotnost  $\text{H}_2\text{O}$  cca.  $18 \text{ g mol}^{-1}$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = M(\text{H}_2) + 0,5M(\text{O}_2) = 2 \text{ g mol}^{-1} + 16 \text{ g mol}^{-1} = 18 \text{ g mol}^{-1}$$

# Výpočet koncentrace H<sub>2</sub>O - co již známe

Chceme

Molární absorpční koeficient

$$c[\text{wt}\%] = A / (\epsilon * d) * (0,1 * M_{\text{specie}}) / \rho_{\text{min}}$$

Celková absorbance spojená s OH absorpcemi

**INTEGRÁLNÍ VARIANTA !!!!**

Podél všech kryst. os stanovit a sečíst !!!

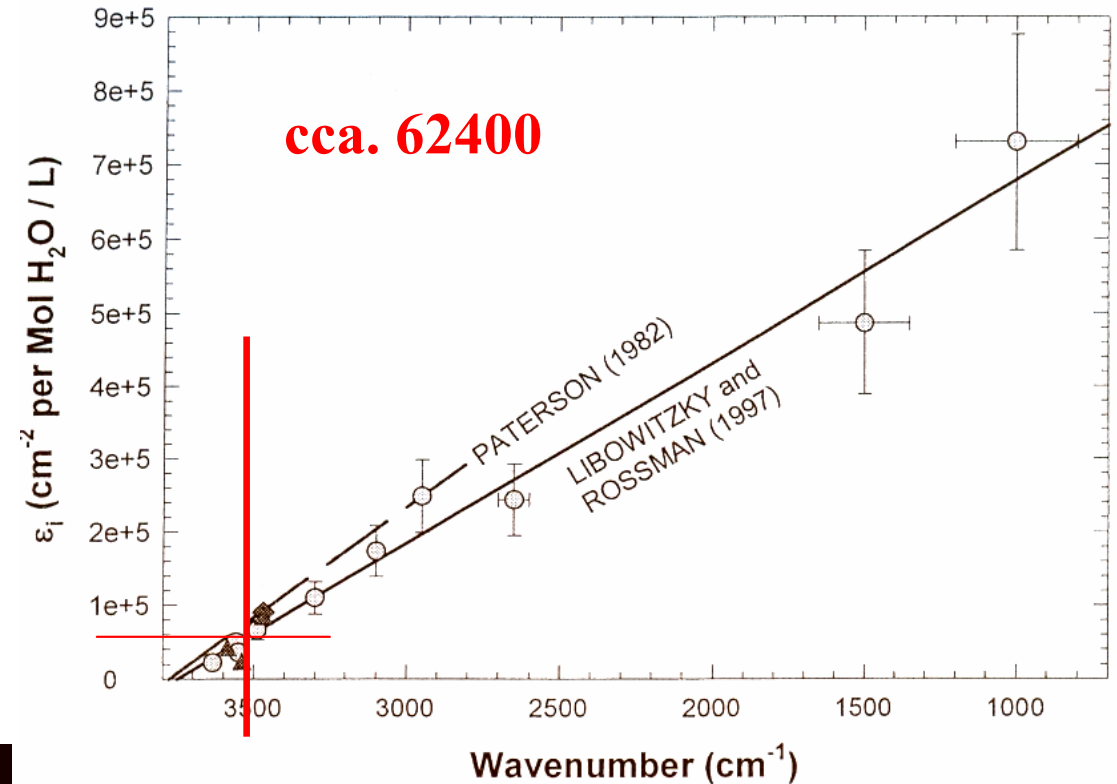
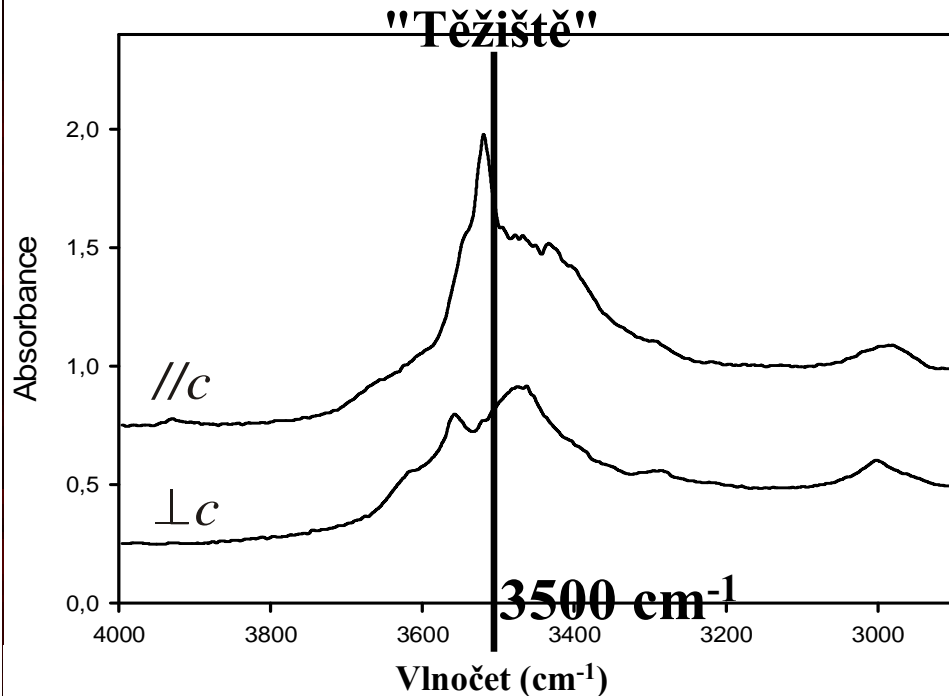
$$A_{\text{tot}} = A_x + A_y + A_z$$



# Odvození molárního absorpčního koeficientu



Podle všeobecného trendu vlnočet -  $\epsilon$  (Libowitzky & Rossmann 1997)



$$\epsilon_i = 246,6 * [3753 - \check{u}(\text{cm}^{-1})] \quad (\text{Libowitzky \& Rossman 1997}) \quad \check{u} - \text{vlnočet}$$

- Stanovit pozici "těžiště" IR spektra xenotimu na ose vlnočtu
- Pro daný vlnočet odvodit hodnotu molárního absorpčního koeficientu  $\epsilon$  z korelace Libowitzkyho a Rossmana (1997) **62400**

# Výpočet obsahu vody ve zkoumaném xenotimu



Sečíst integrální absorbance (plochy spektra) podél všech tří hlavních krystalových os a získat tak totální absorbanci  $A_{\text{tot}}$

$$A_{\text{tot}} = A_z + A_x + A_y = A_{//c} + 2 * A_{\perp c} \quad A_x = A_y$$



Dosadit náležité hodnoty do upraveného Beer-Lambertova vztahu (pro výpočet koncentrace  $\text{H}_2\text{O}$  ve wt%)

$$c[\text{wt}\%] = A / (\epsilon * d) * (0,1 * M_{\text{specie}}) / \rho_{\text{min}}$$



Výsledek něco kolem 100 ppm  $\text{H}_2\text{O}$

# Zhotovení pleochroického obrazce peaků v OH absorpční oblasti IR spektra barytu

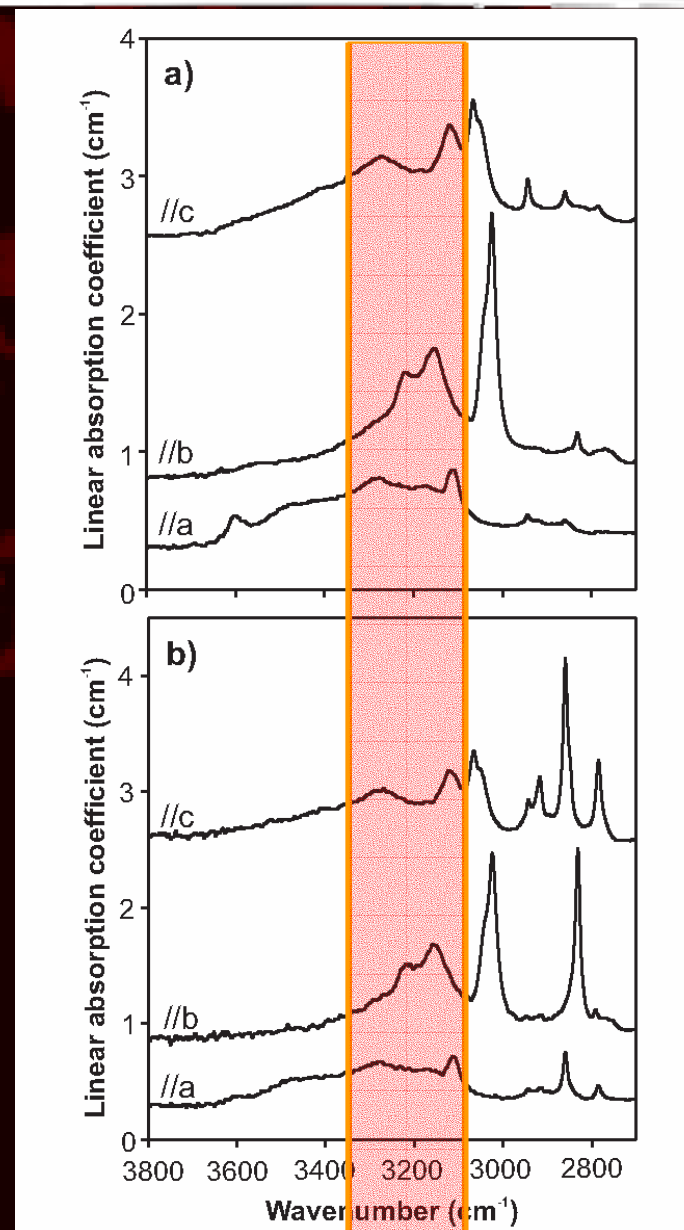


Pro sérii IR spekter barytu zhotovte fity. Postupujte stejně jako v případě xenotimu - po nařítování zhotovte numerický výstup a odečtěte pro každé spektrum výšku (lineární absorpční) všech peaků.



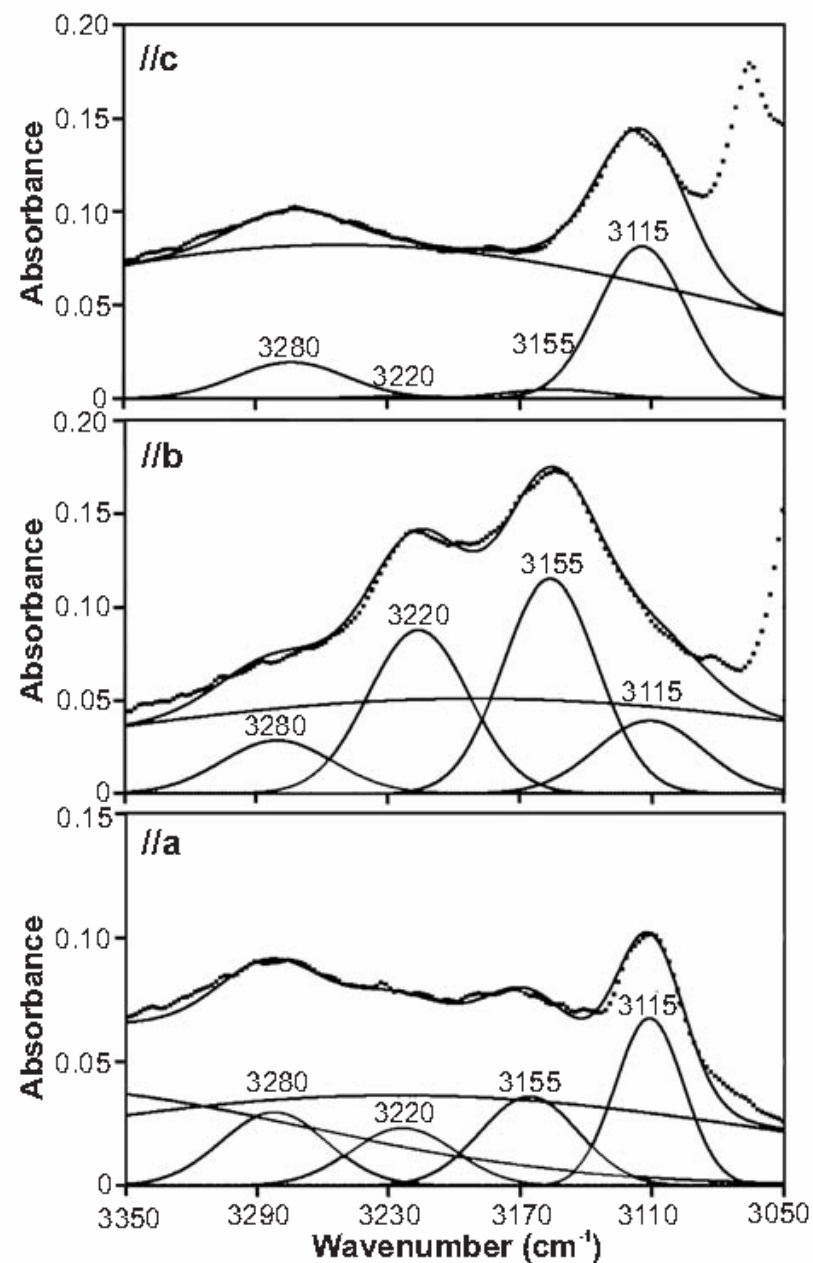
Vyneste amplitudy (lin. absorpční) všech peaků v závislosti na úhlu vůči krystalovým osám do polárních diagramů v Excelu, používejte úhel vůči stanovené ose jako hodnoty x (úhlová data) a lineární absorpční jako data Y. Zhotovte pleochroický obrazec pro řezy AB a BC (A, B, C - osy)

## Silné pozadí !!!

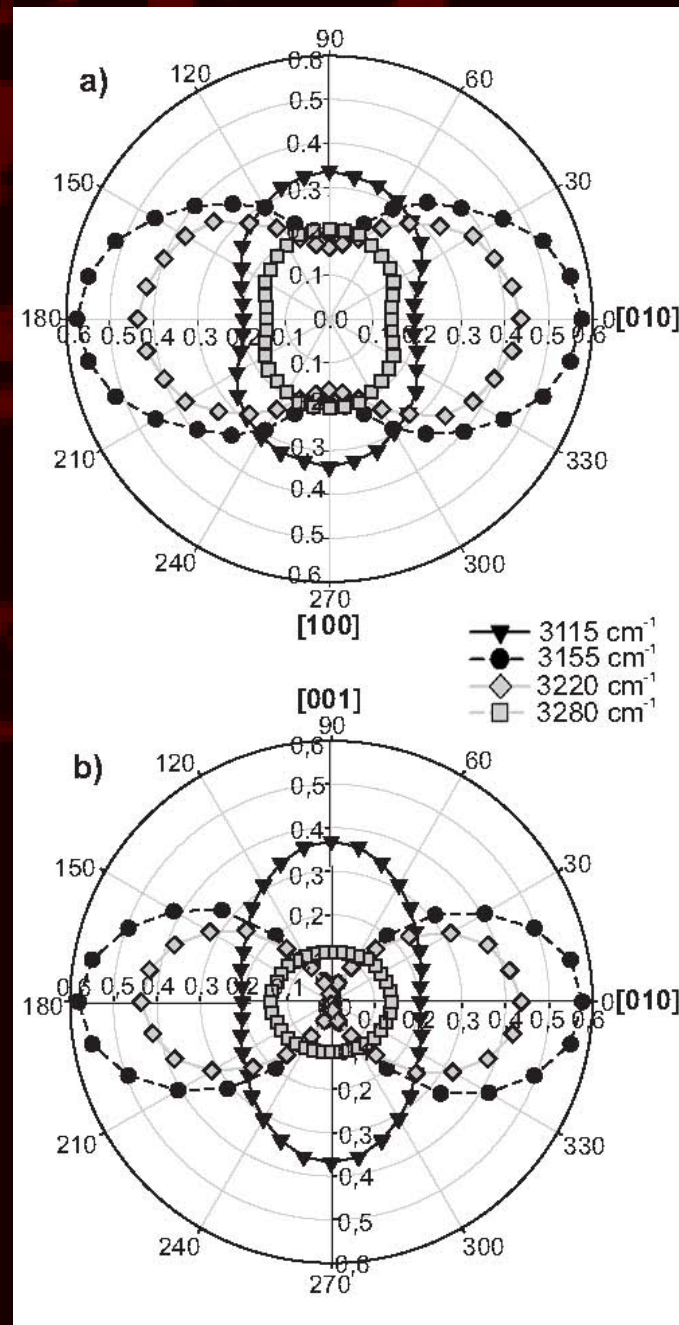


Zkoumané peaky zde

# Výsledek - baryt Pohla, DE

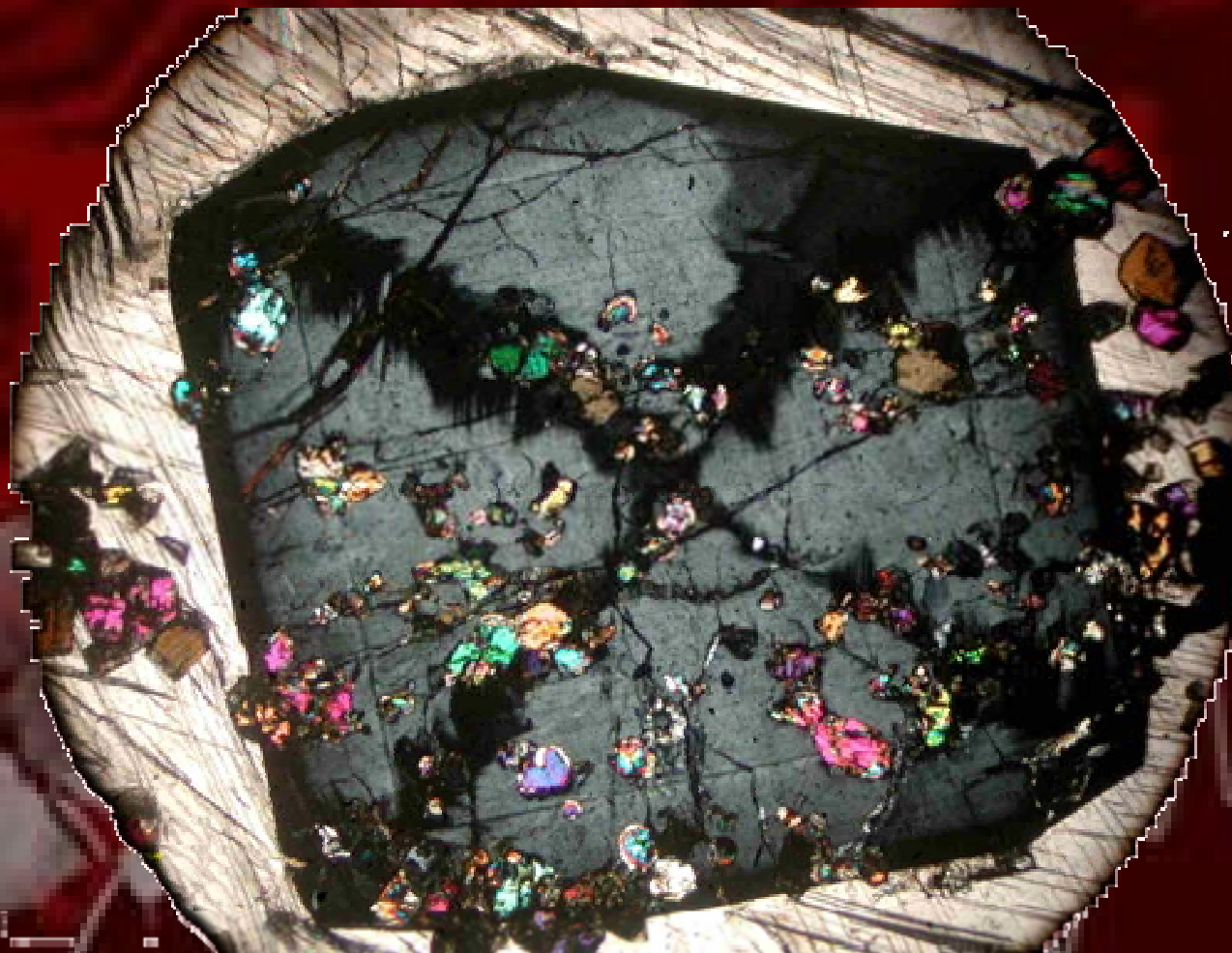


Vzhled IR spekter podél jednotl. os krystalu



Pleochroismus jednotlivých peaků

Děkuji Vám



za pozornost!