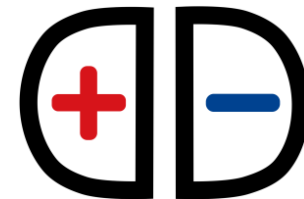


17. Quantum Fingerprint

Hynek Němec

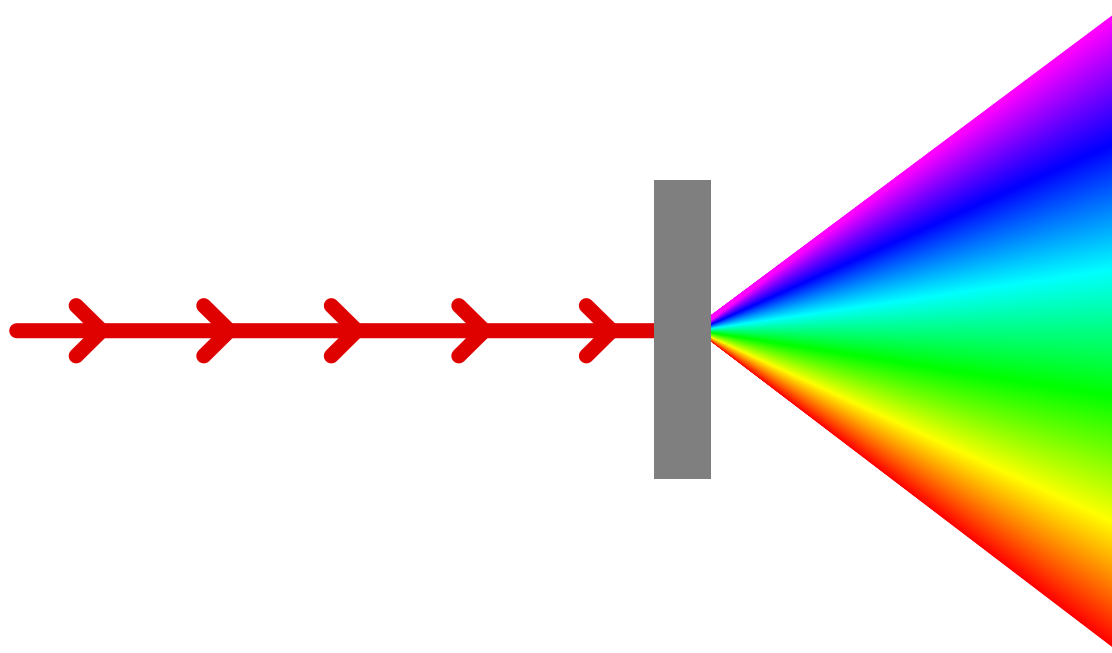


Dept. of Dielectrics
Institute of Physics of the
Czech Academy of Sciences



17. Quantum Fingerprint

Posviťte laserovým svetlom na organický polymer (napr. polystyrén). Rozptýlené svetlo môže mať delší alebo kratší vlnovú dĺžku než dopadajúce svetlo. Vysvetlite tento jav a určete, čo lze z posunu vlnovej dĺžky vyvodit o molekulárnej štruktúre materiálu.



Homogenita času (symetrie vůči posunutí v čase)

+

lineární odezva

↕

Zachovává se energie fotonu

↕

Barva světla se nemění

Děje vedoucí ke změně barvy světla

Interakce fotonu s další (kvazi)částicí/excitací

- Fonon (kmity struktury atomů): Ramanův/Brillouinův rozptyl
- Mezihladinový přechod: fluorescence
- Foton: nelineární optické jevy
- (Superkontinuum, generování vysokých harmonických frekvencí, další jevy)

Společné vlastnosti

- Zachovává se (zobecněná) hybnost i energie

Kmity struktury atomů, fonony

Lineární harmonický oscilátor $F = m\ddot{x} = -kx$

Lineární vazba mezi dvěma lineárními harmonickými oscilátory

$$F_1 \equiv m_1\ddot{x}_1 = -k_1x_1 - k_{12}(x_1 - x_2 - x_{12,0})$$

Vázané kmity struktury hmotných bodů. Vlastní módy.

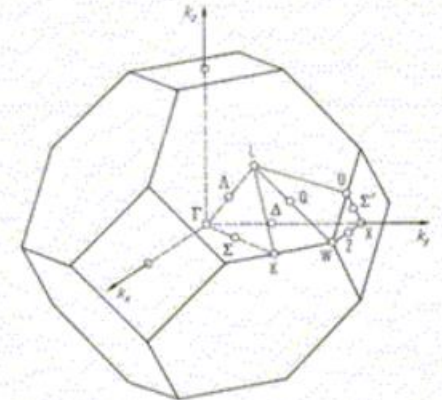
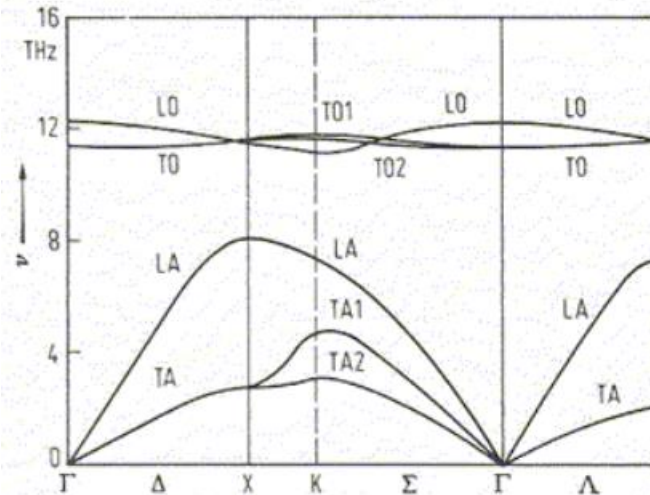
$$F_j \equiv m_j\ddot{x}_j = -k_jx_j - \sum_l k_{jl}(x_j - x_l - x_{jl,0})$$

$$f_j \equiv M_j\ddot{X}_j = -K_jX_j$$

Periodické mřížky atomů: disperze, optické a akustické fonony

Kvantování:

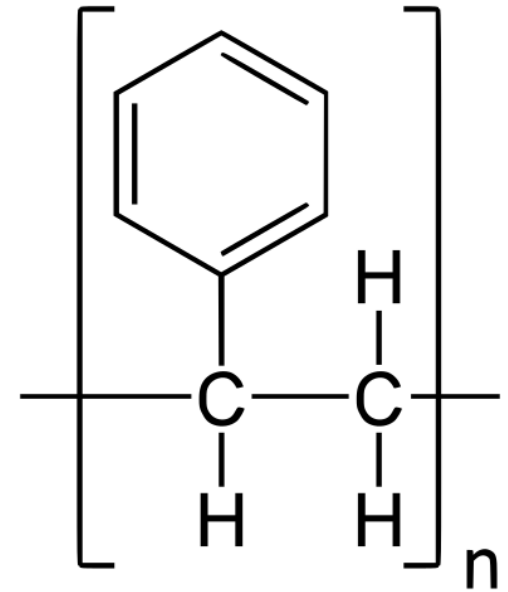
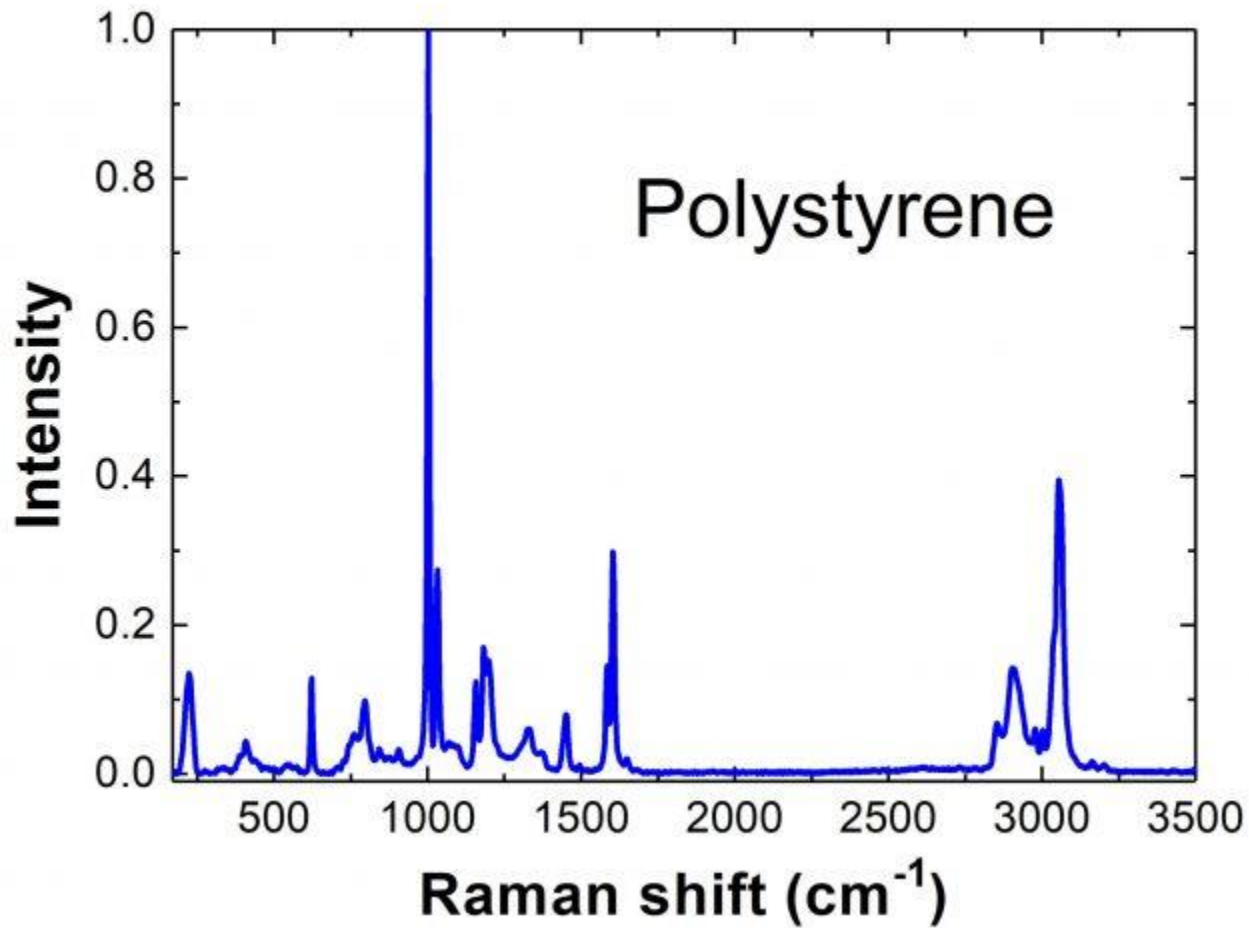
$$E_n = \hbar\omega_{osc} \left(n + \frac{1}{2} \right)$$



Kmity struktury atomů, fonony

- Hybnost spjatá s vlnou: $p = \hbar k$
 - $\hbar = h/2\pi =$ redukovaná Planckova konstanta ($\approx 10^{-34}$ J·s)
 - $k = 2\pi/\lambda =$ vlnový vektor (neplést s tuhostí oscilátoru!!!)
- Zelené světlo ($\lambda = 532$ nm)
 - Velikost vlnového vektoru $|k| \approx 10^5$ cm $^{-1}$
 - Energie fotonu $E = hc/\lambda = 2.33$ eV
- Mřížka mědi ($a = 3.615$ Å, $v = 3810$ m/s)
 - Maximální vlnový vektor fononu $|k_{\max}| = \pi/a \approx 10^8$ cm $^{-1}$
 - Odhad energie fononu pro $|k_{\max}|$: $E = hv/(2a) = 0.022$ eV
- Zákon zachování hybnosti a energie

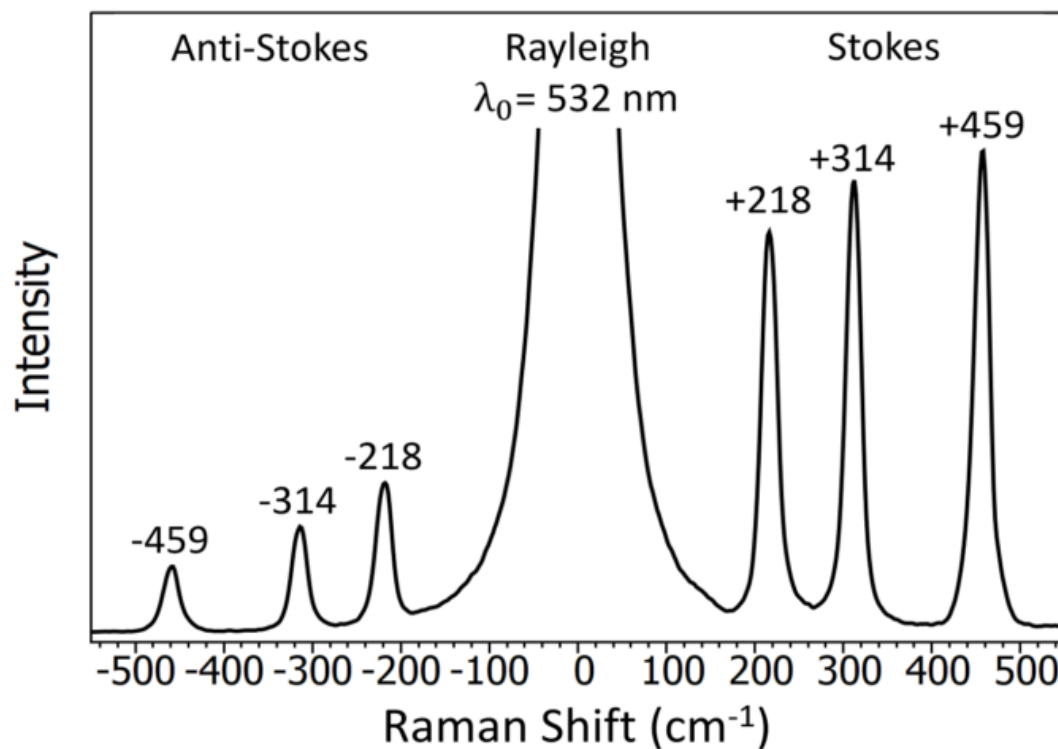
Ramanův rozptyl – příklad spektra



Převzato z <https://ramanlife.com/library/polystyrene-raman/>

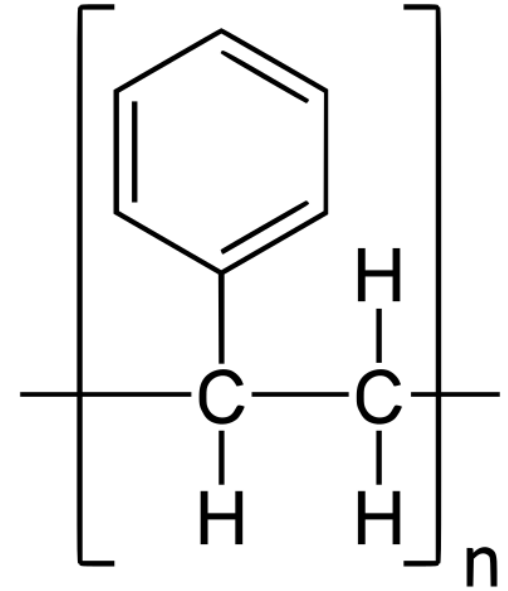
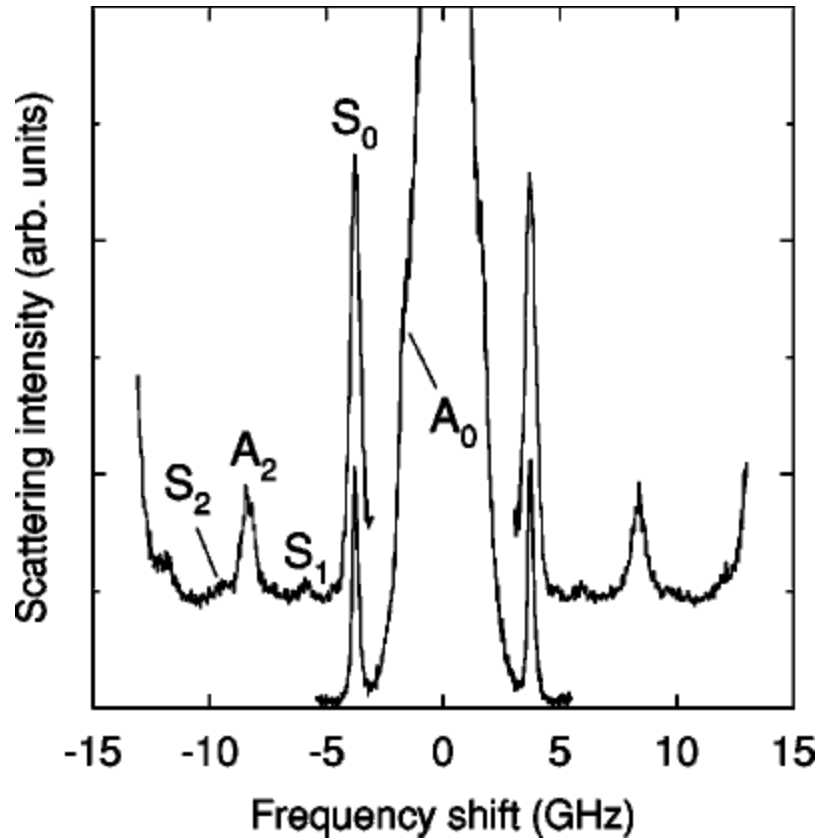
Ramanův rozptyl

- Stokesův proces: energie fotonu je předána
- Anti-Stokesův proces: energie kmitů zvýší energii fotonu



Raman spectrum of CCl₄ excited with a 532 nm laser.
Převzato z <https://www.edinst.com/blog/what-is-the-stokes-shift/>

Brillouinův rozptyl – příklad spektra

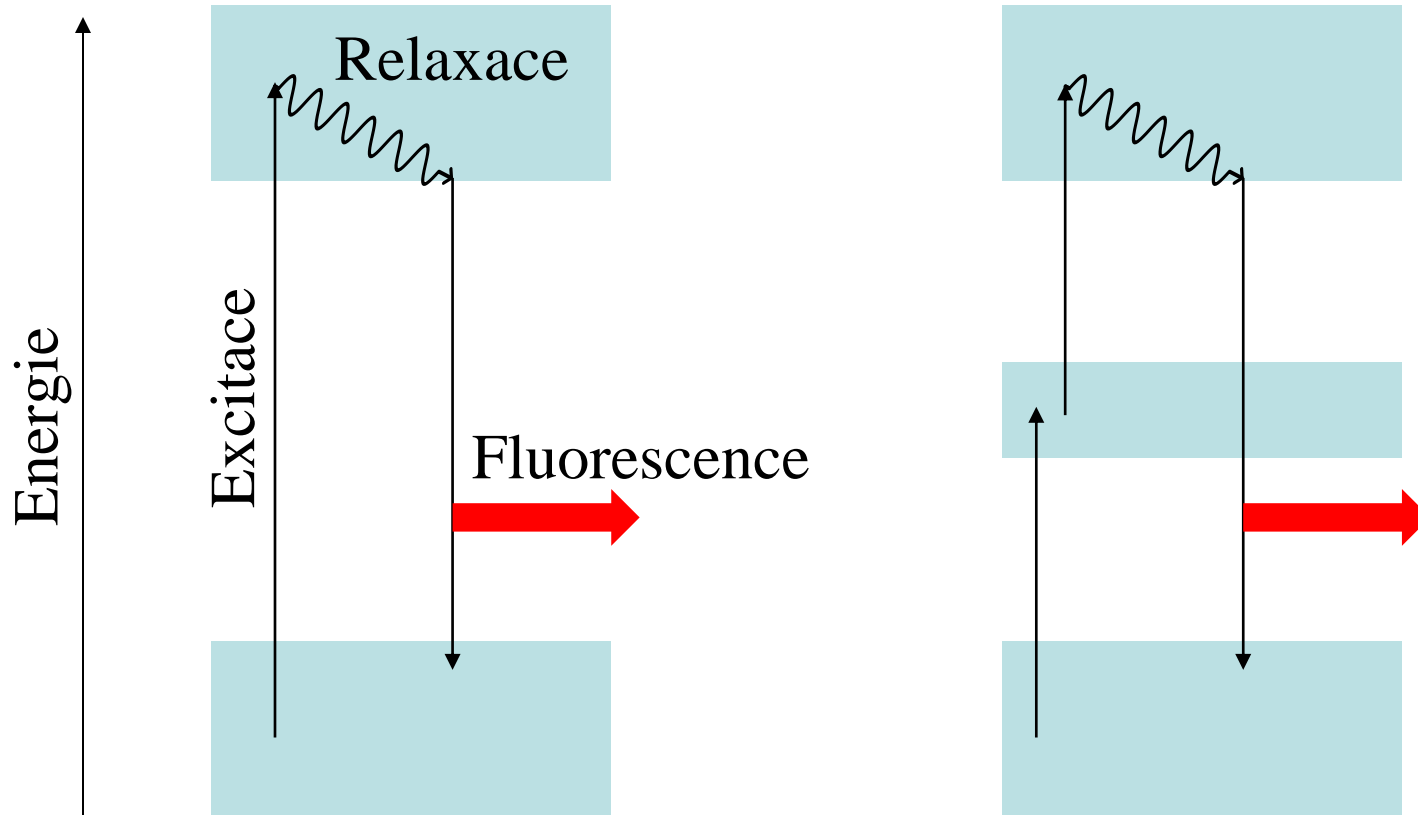


10 GHz \Leftrightarrow 0.33 cm^{-1}

Převzato z J. A. Forrest et al, Phys. Rev. E **58**, 6109 (1998)

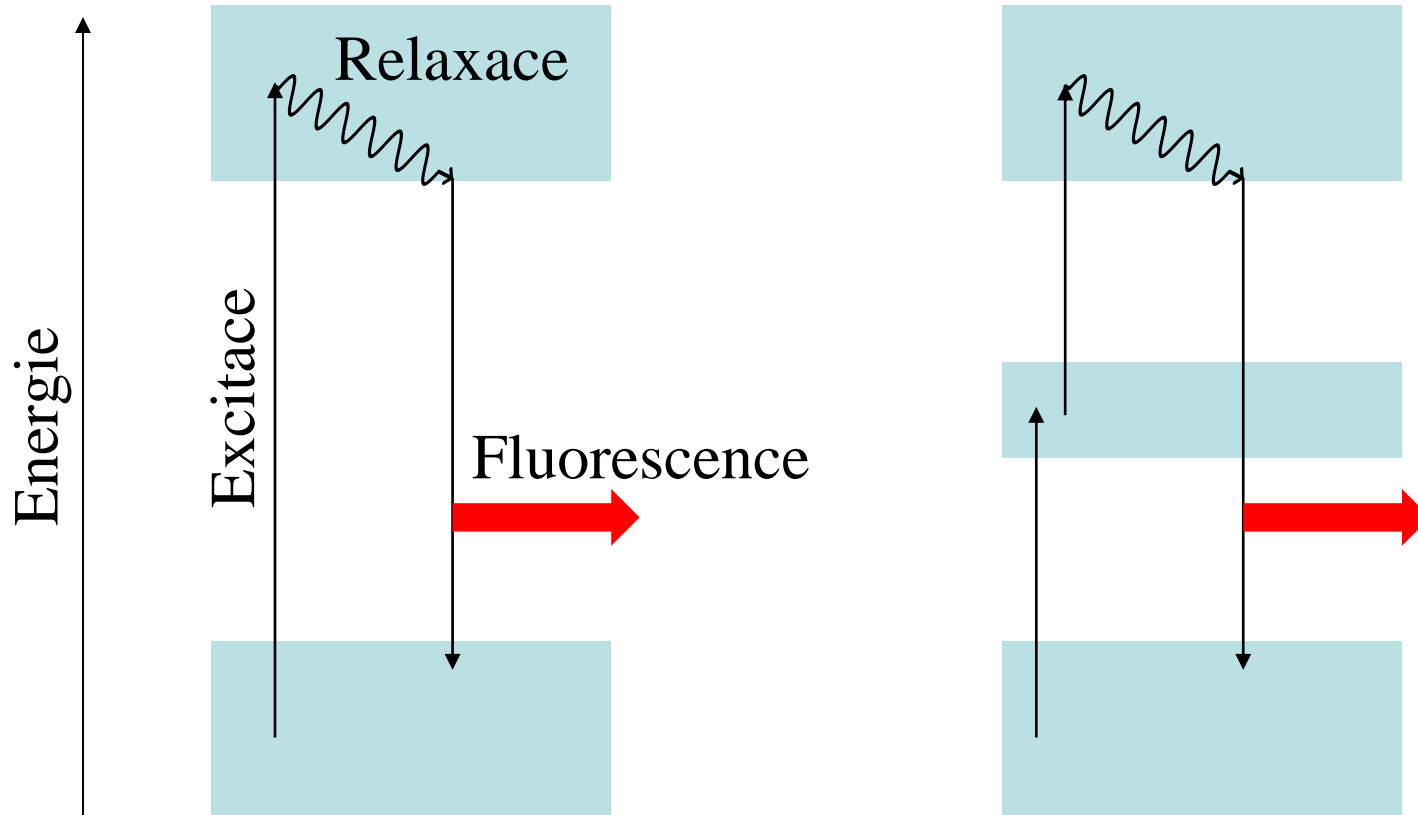
Mezihladinové přechody

... aneb co se může dít s excitovanou pevnou látkou (souvislost s elektronovou strukturou)



Mezihladinové přechody

... aneb co se může dít s excitovanou pevnou látkou (souvislost s elektronovou strukturou)



Nelineární optické jevy

$$h\nu_1 + h\nu_2 + \dots \rightarrow h\nu_{\text{new}}$$
$$\hbar\mathbf{k}_1 + \hbar\mathbf{k}_2 + \dots \rightarrow \hbar\mathbf{k}_{\text{new}}$$

Polarizace $\propto E^n$, kde n je počet vstupních fotonů

\Rightarrow K pozorování jsou nutné vysoké intenzity záření (ve školních podmínkách prakticky nedosažitelné)

Jev zpravidla souvisí s elektronovou strukturou

Očekávání aneb co lze v úloze řešit

Řešení s využitím komerčního Ramanova spektrometru

- Základy Ramanovy spektroskopie jsou notoricky známé
- Asi nejtěžší je vymezit si téma (systematickou studii), na němž budete moci demonstrovat vlastní přínos

Stavba Ramanova spektrometru (nedoporučuji)

- Tímto směrem vedou podklady IYPT
- Náročné na vybavení i na množství práce, s omezeným výsledkem
- Nebude zbývat čas na vlastní měření takovou aparaturou
- Pozor na bezpečnost práce s lasery

Upozornění: Ramanův rozptyl určitě zadání úlohy splňuje. Nemusí ale nutně být jediným možným jevem.