

FOONONVABAD JOONED, ÜHE MOLEKULI SPEKTROSKOOPA, VALGUSE AEGLUSTAMINE JA SEISKAMINE

Karl K. Rebane

Foononvaba joon (FVJ) on tahkese ainesse (kristallidesse, klaasidesse jms.) lisanditena sisseviidud teatavat klassi molekulide, ionide, aatomite madalatemperatuursete neeldumis- ja kiirgusspektrite tähelepanuväärne ja mitmeid originaalseid rakendusi võimaldav kasulik joon. Kui kõik nähtused tahkes aines on alati oluliselt mõjustatud selle võnkumiste poolt, siis FVJ-te puhul realiseerub erakordne olukord, kus võnkumiste roll on tugevasti alla surutud. Seetõttu on FVJ sageli ülikitsad ja intensiivsed (neeldumise ristlõike tippväärtus suur:

$$\sigma \approx 10^{-10} \div 10^{-11} \text{ cm}^2.$$

FVJ põhiomadused on samad, mis Mössbaueri γ -resonantsjoonel (Nobeli füüsikapreemia 1958). Sellepärast kannab optiline FVJ populaarsemat nime – “Mössbaueri joone optiline analoog” (joonis 1, vt. [1] ja viited seal).

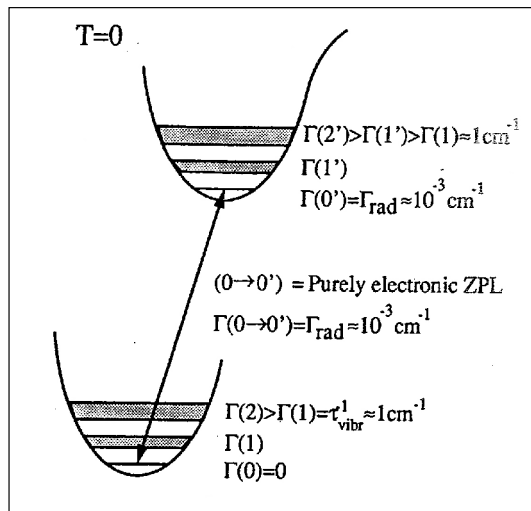
FVJ-l on kolm juba traditsiooniliseks saanud originaalset rakenduspiirkonda: 1. Ülitäpne tahke aine ja molekulide spektroskoopia; 2. Spektraalsälgamine; 3. Ühe molekuli spektroskoopia. Aastail 2004–2005 on lisandunud neljas: 4. Valguse aeglustamine ja seiskamine.

1. Ülaltoodud FVJ omadustest jäeldub nende ülihea hüvetegur

$$\alpha = \omega : \delta\omega \cong 10^{15} : 10^2 \sim 10^{13},$$

mis ülalnimetatud rekordiliste väärtuste puhul ($\alpha \approx 10^{15} : 10^2 \approx 10^{13}$) ja meie (TÜ FI) eksperimentides on ka täiesti hea ($\alpha \approx 10^{15} : 10^6 \approx 10^9$). Kõrged hüvetegurid võimaldavad ülitäpseid spektrimõõtmisi teadusuuringutes ja on leidnud rakendusi keskkonnauuringutes, sealhulgas kantserogeenide üliväikeste hulkade määramises (nt. bensiinis; hiljuti oleme FI-s ette võtnud otsingud leida viisid naftapartiide markeerimiseks).

2. Meil Tartus teoreetiliselt ennustatud, eksperimentaalselt leitud, uuritud ja edukalt rakendatud spektrite püsisälgamine kujutab endast originaalset optilist inseneerindust – võimaldab valguse abil spektraalse ülitäpsusega muuta aine spektraalomadusi – murdumisenäitajat ja sellega seotud neeldumiskoeffitsienti (ilusaim rakendus-test: aegruumiline holograafia (ARH) (joonis 2).



Joonis 1

Foononvaba joon (FVJ) molekuli potentsiaal-kõverate skeemil. FVJ tekib üleminekul nullenergiaga võnkenivoode vahel, on madalatel temperatuuridel väga kitsas ja intensiivne.



Joonis 2

Mündi aegruumilise holograafia kujutise foto. Ajaline sõltuvus, mis on hologrammis olemas, pikosekundilise valgusriba liikumisena üle objekti, on fotol arusaadavalt kaduma läinud.

3. Ühe molekuli spektroskoopias (ÜMS) on tänu FVJ-tele jõutud väikseima molekulidehulga, millel on veel säilinud aine spetsiifilised keemilised omadused, spektrite mõõtmiseni. ÜMS näiteks (joonis 3, vt. [2] ja viited seal).

4. Värskeim, äsja alustatud uurimisvaldkond – tänu spektraalsälgamisele on võimalik aeglustada valguspulsi kiirust jalgratta kiiruseni ja alla selle. Valgusimpulsi (footonite paketi) rühmakiirus

$$v_R = \frac{d\omega}{d\kappa},$$

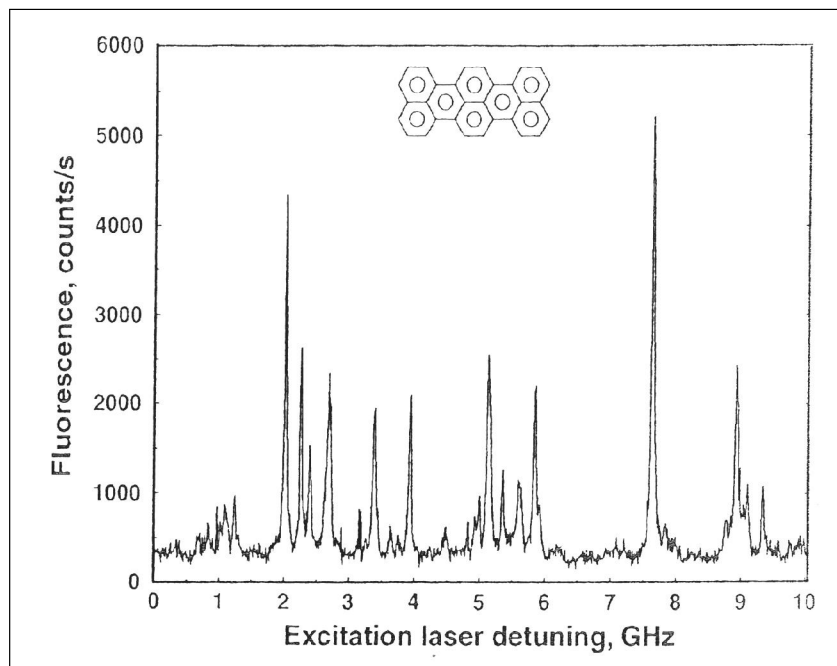
kus ω – sagedus, κ – lainearv. Neeldumisjoone ümbruses on dispersioonikõvera $\omega(\kappa)$ muutused järsud, seda järsemad, mida kitsam ja intensiivsem joon. FVJ ülikitsus avab võimalused valgusimpulsi rühmakiiruse väga tugevaks aeg-

lustamiseks. Tavalises, lineaarses vaatluses on sealsamas, kus v_R muutus suur, tugev ka neeldumine ja see raskendab eksperimenti. Mittelineaarsete nähtuste rakendamine võimaldab neeldumise kõrvaldada, nii et dispersioonijõnksud jäävad, nt. EIT = *electromagnetically induced transparency* abil: Spektraalsälg (läbi paistvuse piirkond) on nagu neeldumisjoone negatiivkujutis. Väga teravate $\omega(\kappa)$ servade vahele jääb valguse hea läbilaskvuse sagedusvahemik (mittelineaarsete arvutamine FVJ ja spektraalaugu korral).

On selgitatud, et ARH ongi parim valguse seiskamine, kui viimast mõistlikult defineerida kui valguspulsi poolt kantava KOGU info “üleskirjutamist” ja selle info hiljem suvalisel ajahetkel TÄIES ULATUSES uuesti valgusimpulsina esitamist.

Joonis 3

Ühe lisandimolekuli neeldumisspektri näidis. Mõõdetud on fluorestsentsi ergastusspekter ($T = 1,7$ K), mis antud eksperimendi tingimustes langeb väga hästi kokku neeldumisspektoriga. Objektiks on 10^{-7} mol/mol terüleen n-dekaani külmutatud lahuses. Teravad piigid on foononvabad spektrihood terüleen molekulides. Erinevad intensiivsused on tingitud molekulide erinevatest orientatsioonidest ja ergastuse erinevatest intensiivsustest molekuli asupaigas.



Kirjandus

1. K. K. Rebane, Opt. Spectrosc. (St. Petersburg) 91 (2001) 472 (in Russian)(91,(2001) 442 (in English)); Karl K. Rebane, J. Chem. Phys. 189 (1994) 139; E. F. Gross, B. S. Razbirin, S. A. Permogorov, Dokl. Akad. Nauk SSSR 147 (1962) 338.
2. K. K. Rebane, A. Rebane, in: G. Mahler, V. May, M. Schreiber (Eds.), Molecular Electronics, Properties, Dynamics and Applications, Marcel Dekker, New York, 1996, p. 257 (Chapter 13).
3. V. Palm, K. Rebane, A. Suisalu, J. Phys. Chem. 98 (9) (1994) 2219; K. K. Rebane, O. Ollikainen, V. V. Palm, Opt. Spectrosc. (St. Petersburg) 84 (1998) 431 (in Russian); K. K. Rebane, O. Ollikainen, V. V. Palm, Opt. Spectrosc. (St. Petersburg) 84 (1998) 374 (in English).