

Бојан Шоптрајанов

Проф. Бојан Шојтирајанов е роден на 26 јануари 1937 година во Чачак. Со основно и средно образование се здобил во Скопје, Титоов Велес и Белград. Во 1955 година се запишал на групата за хемија на Поштинскиот Природно-математички оддел на Филозофскиот факултет во Скопје каде дипломирал, како најдобар студент од својата генерација, во 1960 година. Во 1964 година се запишал на постдипломски студии на Indiana University во Bloomington, Indiana, САД, а во 1965 година магистрирал одбранавајќи ја магистерската теза под наслов „Vibrational assignment of the infrared spectra of 1,2,5-thiadiazole“. Во 1973 година ја одбранил својата докторска дисертација под наслов „Спектроскопско испитување на кристалохидрати со посебен осврт на септирот на водата. Системи со мошне ниски $\delta(\text{НОН})$ фреквенции“. Во 1960 година е избран за асистент на Поштинскиот Технолошки оддел на Техничкиот факултет во Скопје, каде што останал до 1961 година. Во 1962 година е избран за асистент, во 1969 година за доцент, во 1975 година за вонреден професор, а во 1981 година за редовен професор на Природно-математичкиот факултет (во последното звање е реизбран во 1987 и во 1994 година).

Во основа, научната активност на проф. Шојтирајанов е во подрачјето на структурната хемија. Во своите испитувања предимно ги користил методите на инфрацрвената спектроскопија, но и методите на раманската спектроскопија, нуклеарната магнетна резонанца и рендгенската дифракција. Првин се занимавал со изучување на органски соединенија, како и на калиум фосфати од различен тип, а дел од последниве биле кристалохидрати кои ќе останат неговата главна преокупација. Резултатите од испитувањата на проф. Шојтирајанов главно се фундаментални по својот карактер и придонесуваат за збогатувањето на светскиот фонд на знаења од областа на структурната хемија, по еден дел од нив имаат и конкретна примена.

ВОДАТА И НЕЈЗИНИОТ ИНФРАЦРВЕН СПЕКТАР КАЈ КРИСТАЛОХИДРАТИ

Вовед

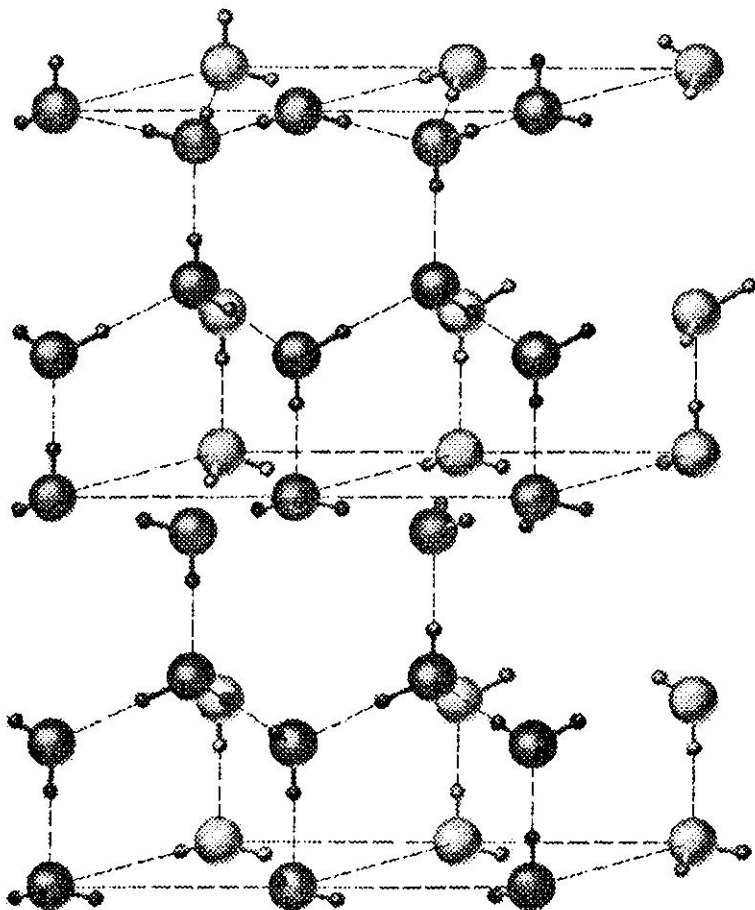
Водата е, навистина, *фасцинантна* супстанца. Речиси нема човек кој не се воодушевувал од Бистрината на планинските реки, од облаците што го разубавуваат небото или од белината на снежните планински падини. Меѓутоа, естетското уживање во различните форми на водата е само дел, оној најдостапниот и веднаш очигледниот, од сето она со што оваа супстанца може да нè зачуди или да нè воодушеви.

Ако само малку помислиме, ќе видиме дека на нашава Земја (или, макар, и на некоја друга слична планета) водата е единствената можна *таласогена* супстанца, т.е. супстанца од која можело да се создадат океани. Како што остроумно посочува Asimov [1], тоа мора да е супстанца образувана од *молекули*¹ кои, од своја страна, мора да содржат атоми од шесте најчести елементи во вселената: водород, хелиум, кислород, неон, азот и јаглерод. Натаму, тоа мора да е супстанца која, при температури и притисоци какви што владеат на Земјата, може да постои во сите три агрегатни состојби за да може (при годишните или сезонските промени на температурата) да испарува, да мрзне и пак да се појавува во течна агрегатна состојба, обновувајќи ги, така, океаните. Покрај тоа, таа треба да биде течна во што поширок температурен интервал. Освен водата, нисдна од потенцијалните таласогени супстанции (Asimov ги анализира својствата и на други можни кандидати) не ги задоволува сите барања.

Постојењето, пак, на океани е неопходно за појавување на *живоџи*, онаков каков што го познаваме. Всушност, секој од нас (и секое друго живо суштество) ги носи трагите на животот настанат во океанот. Воопшто не е случајно што организмите (и растенијата и животните) имаат толку висока содржина на вода. И не е случајно што без вода одржувањето на животот не е можно. Зашто, водата е супстанцата во која се раствораат состојките

¹ А не, да речеме, од индивидуални атоми или од јони.

неопходни за функционирањето на клетките, која создава услови за транспорт на тие состојки внатре во нив и низ клеточните ѕидови и која од клетките ги отстранува отпадните продукти од нивното работење [2].



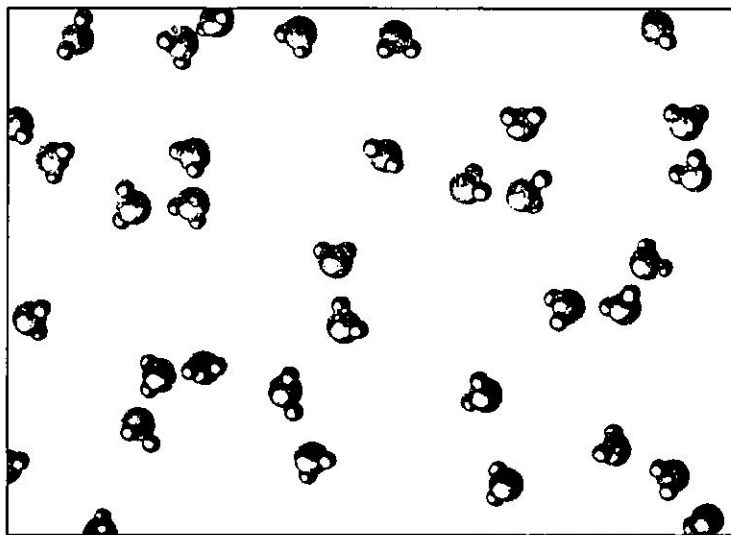
Сл. 1 – Структура на мразот

И надвор од живите организми водата е најчестиот и најважниот *растворувач*. Без водни раствори на најразлични супстанции не може да се замисли ни една активност на човекот – од земјоделството до работењето во хемиските лаборатории или индустријата. Бројот на катадневно среќавани (или поегзотични) водни раствори е премногу голем за да има смисла да се

прави обид за нивно набројување. Во секој случај, во вода се раствораат најразлични супстанции – и оние што се изградени од молекули (некои и доста големи) и оние што имаат јонски карактер. Водата е и растворувачот во кој најлесно доаѓа до *електролитна дисоцијација* на јонски градените супстанции, факт кој, повторно, е многустрано важен.

Од многубројните интересни карактеристики на водата, ќе ја спомеме уште помалата густина на цврстата фаза (мразот) во однос на онаа на течната. Последиците се многу битни. Така, езерата и морињата при ниски температури може и да замрзнат, но мразот плива по водата (или на нејзината површина образува корка, оставајќи течен дел во кој може да egzистираат водни растенија и животни), а кога температурата ќе се покачи, цврстата корка се топи.

Се разбира, сите овие карактеристики се во врска со *градбата* на молекулите на водата и агрегатите од овие молекули.



Сл. 2 – Шематски приказ на градбата на течна вода

Како што е општопознато, водата е изградена од триатомски молекули образувани од два атома водород и еден атом кислород, така што хемиската формула ѝ е H_2O . Овие молекули, најлесни од сите стабилни двоатомски или повеќеатомски молекули (со исклучок на оние од диводоро-

дот), се *поларни*. Бидејќи атомите од водородот се сврзани со електронегативен атом, каков што е оној од кислородот, водата е потенцијален протон-донор (во реакции на протолиза или процеси на водородно сврзување). Од друга страна, атомот од кислород задржал слободни електронски двојки², така што молекулата од вода е и потенцијален протон-акцептор. Во течната и цврста вода, молекулите се меѓусебно сврзани со водородни врски, при што во мразот *свије* молекули учествуваат во овој вид интеракции (сл. 1), додека во случајот на течната вода (сл. 2) во секој даден момент може да се најдат практично слободни молекули (нивниот број е мал), непостојани двојки или тројки од молекули, како и поголеми агрегати (гроздови или кластери). Слободата за движење на молекулите на вода во мразот (како и во секоја цврста супстанца) е строго ограничена, освен што постои несреде-ност во однос на положбата на атомите од водород. Во течната вода, пак, молекулите се многу послободни одошто во мразот, но сепак помалку одошто во гасовитата вода. Така, ротациите на H₂O молекулите се делумно спречени, а и трансляциите не се извршуваат сосема слободно.

Кога водата игра улога на растворувач, поларниот карактер на нејзините молекули доведува до дипол-диполни интеракции со молекулите од растворената супстанца (доколку и тие самите се поларни), со тоа олеснувајќи го растворањето. Од друга страна, во случајот на јонски градени супстанции или на супстанции образувани од многу поларни молекули, при растворањето доаѓа до *дисоцијација* (евентуално, претходена со јонизација), при што во образуваниот раствор јоните се, по правило, *хидратицирани*. Во взаеMODEЈСТВАТА меѓу позитивно наелектризираните јони (катјоните) и молекулите на H₂O учествуваат несврзувачките електрони од кислородот на водата, додека негативно наелектризираните анјони најчесто се водородно сврзани со околните молекули на вода, јавувајќи се во улогата на протон-акцептори.

Интеракциите меѓу молекулите на вода и јоните од растворената супстанца се честопати толку силни што при кристализација од водни раствори, молекули на вода се вградуваат во образуваната цврста фаза, надградувајќи ја и, најчесто, стабилизирајќи ја. Така се образуваат супстанции коишто се нарекуваат *кристалохидрати*. Многу минерали се кристалохидрати, а во истата категорија спаѓаат и голем број синтетички супстанции.

Макар што молекулите вода (или, макар, нивните хидрони) и во кристали може да бидат *несредени*, сепак може да се смета дека најголем степен на ред во однос на молекулите вода има токму кај кристалохидратите.

² Тоа се електрони што се наоѓаат во несврзувачки орбитали.

Поѝекло на лентѝиѝе во инфрацрвениѝе сѝекѝри

Инфрацрвените (и раманските) спектри се резултат на *вибрациѝиѝе* на молекулите³ или на нивните агрегати. Во случајот на цврсти супстанции (вклучувајќи ги тука и кристалохидратите), спектрите задоволително добро може да се третираат како да се резултат на вибрациите на *елементарнаѝа ќелија*⁴. За тоа кои од т.н. *нормални модови* може да се јават, а кои нема да се појават во вибрационите спектри⁵ се суди според изборните правила во чие формулирање решавачка улога има *симетријаѝа* на она што го сметаме за единка (молекула кај гасовите, елементарна ќелија кај кристалните супстанции).

При анализата на спектрите на кристали, во многу случаи е задоволителна и т.н. *аѝроксимација на локалнаѝа ѝрупа* [3, 4], но во неа се занемаруваат интеракциите меѓу идентични осцилатори кои може да бидат и мошне изразени. За ваквите интеракции повеќе податоци може да се најдат во трудот 5.

Што се однесува за вибрационите спектри, и во оние на течната вода (сл. 3) и во оние на мразот (сл. 4), се јавуваат, пред сѝ, ленти кои се резултат на *внѝѝреинѝиѝе вибрациѝи* (две валентни и една деформациона; в. сл. 5) на H₂O молекулите. Валентните вибрациѝи даваат ленти на фреквенциѝи⁶ во подрачјето 4000–3000 cm⁻¹, а деформационите околу 1600 cm⁻¹. Во спектарот на деутериум оксидот (D₂O), лентите се наоѓаат (в. сл. 3) на пониски фреквенции заради поголема маса на атомите што земаат учество во вибрационите движења. Појавата на ленти со поинаква местоположба во спектарот (во вакви случаи вообичаено е да се зборува за *ѝомесѝување* на лентите) е карактеристична за сите изотопомери со тоа што, по правило,

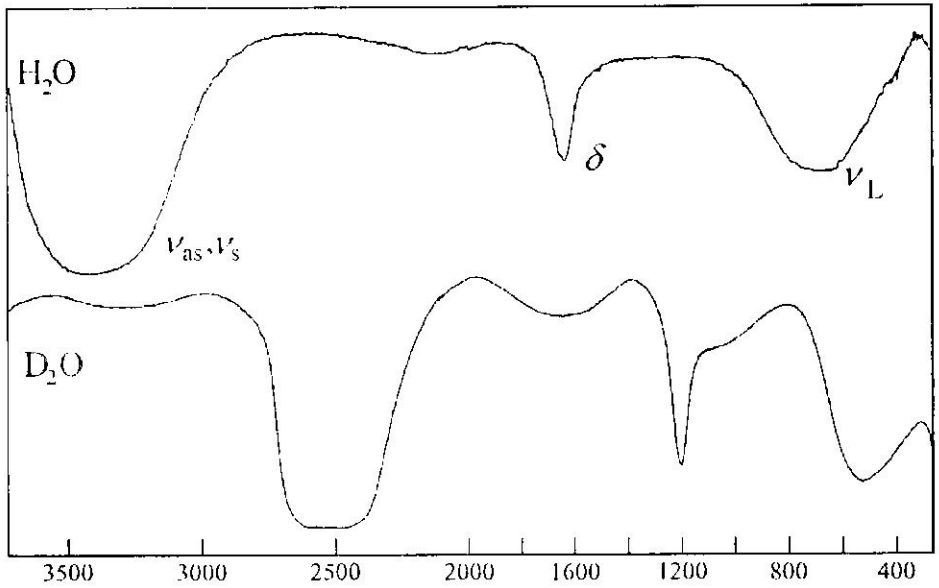
³ Во овој контекст, под *молекула* треба да се подразбира секоја полиатомска честичка, независно од тоа дали таа е електронеутрална (вистинска молекула или радикал) или, пак, има полнеж, т.е. претставува јон.

⁴ Ако елементарната ќелија е *ѝримиѝивна*. Доколку тоа не е случај, се разгледуваат вибрациите на т.н. *сѝекѝроскојска елементарна ќелија* која секогаш е примитивна.

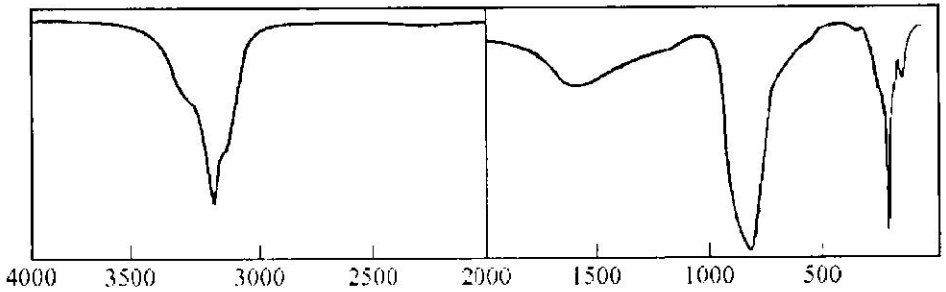
⁵ Покрај инфрацрвените и раманските, во вибрациони спектри спаѓаат и оние што се резултат на нееластичното некохерентно расејување на неутрони.

⁶ Макар што е погрешна, практиката терминот *фреквенција* да се употребува за величина чиј правилен назив е *бранов број* е толку вообичаена што ќе биде ползувана и во овој текст. Слично *ѝака*, *v* ќе биде користено како ознака за брановиот број наместо поправилното *ѝ*.

вибрациите во кои учествуваат атоми од изотопи со поголема маса се јавуваат на пониски фреквенции⁷.



Сл. 3 – Инфрацрвен спектар на течна вода

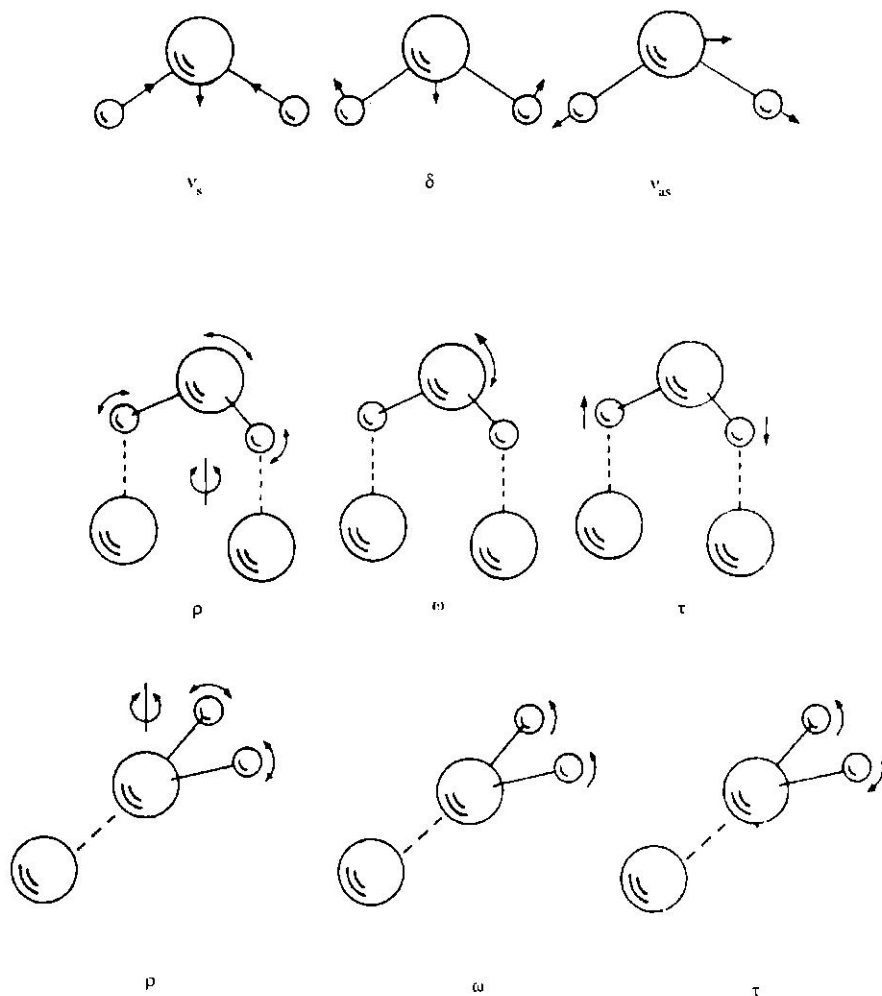


Сл. 4 – Инфрацрвен спектар на мраз

Предимно како резултат на влијанието на различната околина на одделните молекули, сите спектрални ленти кај течната вода и кај мразот се

⁷ Ова тврдење не треба да се смета за премногу строго. Постојат и попрецизни *изотопски правила* во чии подробности тука нема потреба да се завлегува.

широки. Освен тоа, лентите од валентните вибрации се и меѓусебно прекрениени.



Сл. 5 – Приближна форма на нормалните вибрации на слободна молекула на вода, молекула сврзана со водородни врски и молекула координирана за метален катјон

Симболите покрај приказот на одделните модови го имаат следново значење:
 ν_s – симетрична валентна вибрација; ν_{as} – антисиметрична валентна вибрација;

δ – деформациона вибрација; ρ – нишална (*rocking*) либрација;

ω – мавтална (*wagging*) либрација; τ – вителна (*twisting*) либрација

Како што се гледа од сл. 3 и сл. 4, покрај лентите кои се резултат на внатрешните вибрации се јавуваат и други. На прво место треба да се спомнат оние што се резултат на *спречениите ротации (либрации)* на градбените единици. Либрациите имаат фреквенции пониски од 1000 cm^{-1} . Во случај кога симетријата на единиците е блиска до онаа на слободните молекули вода (C_{2v}) либрационите модови може да се класифицираат како нишални (*rocking*), мавтални (*wagging*) и вителни (*twisting*). Приближната форма на овие модови е покажана, заедно со онаа на внатрешните вибрации, на сл. 5. Освен за водородно сврзани молекули на вода, на оваа слика е покажана и формата на либрационите модови кај вода што е координирана (на еден од можните начини) за метален катјон. Треба да се напомене дека класификацијата на либрационите модови на нишални, мавтални и вителни е оправдана само тогаш кога симетријата на молекулите на вода е блиска до C_{2v} (онаа на слободните H_2O молекули). Положбата на либрационите ленти зависи предимно од јачината на водородното сврзување.

Либрациите, инаку, земаат учество и во настанувањето на доста слабите ленти што ги има, во подрачјето $2000\text{--}1800\text{ cm}^{-1}$, во спектрите на течната вода и на мразот. Овие ленти се резултат на т.н. *премиши од вториот ред* на фундаменталните вибрации (овертонови, односно комбинациони тонови).

Појавата на ленти од спречените ротации на молекулите на вода е особено карактеристична за кристалохидратите. Како што рековме, положбата на либрационите ленти во спектрите на овие соединенија зависи, пред сè, од јачината на водородното сврзување⁸, но удел имаат и интеракциите со металните катјони на кои се координирани молекулите на вода. За дадено соединение и даден тип молекули на вода, положбата на либрационите ленти мошне силно зависи од температурата, при што температурниот коефициент $d\epsilon/dT$ е *негативен*, т.е. при снижување на температурата, либрационите ленти имаат повисока фреквенција⁹.

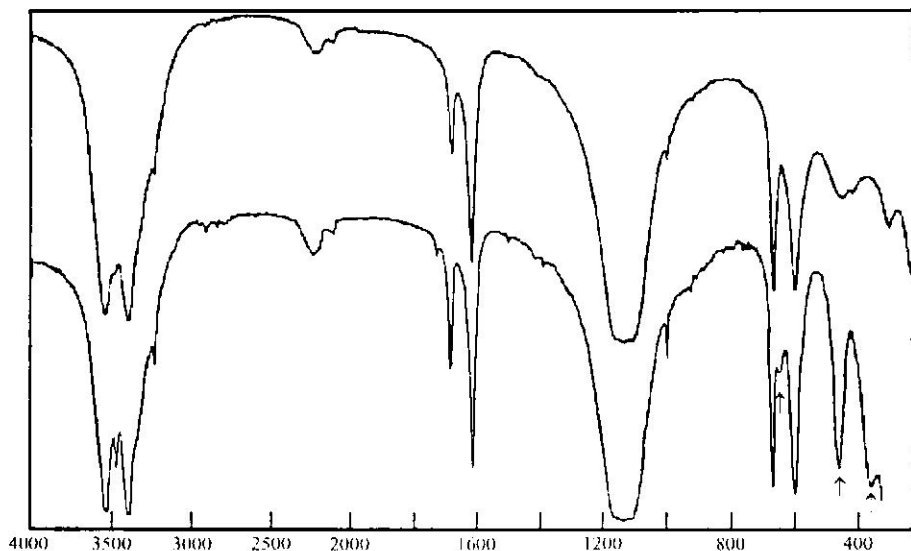
Всушност, температурната зависност е веројатно најдобриот критериум за тоа дали дадена лента треба или не треба да се припише (асигнира) на либрационен мод. Врз основа на овој критериум, во нискотемпературниот спектар на $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ се лоцирани некои од либрационите ленти и на сл. 6 (во која се покажани инфрацрвените спектри снимени на собна температура и на температурата на вриење на течен азот¹⁰) се означени со

⁸ По правило, либрационите ленти се јавуваат на толку повисока фреквенција, колку посилни се водородните врски.

⁹ Најчесто имаат, барем привидно, и поголем интензитет.

¹⁰ Вообичаени ознаки за собна температура (на англиски – **room temperature**) и на температурата на вриење на течен азот (на англиски – **liquid-nitrogen temperature**) се RT и LNT, соодветно.

стрелки. Инаку, многу веројатно е дека постојат и други ленти од овој вид модови [6], но тие се скриени под значително поинтензивните ленти кои потекнуваат од сулфатните вибрации.



Сл. 6 – Инфрацрвен спектар на $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Покрај либрациите, во т.н. *надворешни модови* спаѓаат и *спречените трансляции* кои може да се опишат и како вибрации со M-O_w карактер. Спречените трансляции најчесто се јавуваат под 400 cm^{-1} , но тогаш кога водата е цврсто координирана за мал катјон со голем релативен електричен полнеж, може да имаат и повисока фреквенција.

Се разбира, и во спектрите на кристалохидратите се јавуваат ленти од валентните и деформационите вибрации на водата. Такви се оние кои во спектарот на гипсот (сл. 6) се јавуваат околу 3500 cm^{-1} и над 1600 cm^{-1} . Вибрациите на секој кристалографски различен тип молекули на вода ќе доведуваат до одделно множество ленти, со тоа што лентите може да бидат и прекриени. По правило, колку посилено е водородното сврзување, толку пониско се јавуваат лентите од валентните вибрации, а повисоко оние од деформационите вибрации на водата. Како што ќе видиме подолу, постојат и отстапувања од ваквото однесување.

Вибрациони интеракции

Ситуацијата може да биде комплицирана со постоење на *вибрациони интеракции*. Така, мошне често е заемното дејство на *идентични осцилатори* кое доведува до појава на повеќе ленти одошто се очекуваат на прв поглед¹¹. Појавата е позната под називот *корелационо расцепување* на лентите, а максималниот број ленти што се очекуваат како резултат на корелационото расцепување може да се најде со помош на методите на груповата теорија [5]. Инаку, токму како резултат на корелационо расцепување, во инфрацрвениот спектар на гипсот се јавуваат *две* ленти од деформационите Н–О–Н вибрации, макар што во структурата има само *еден* тип молекули на вода.

Интеракции се можни и меѓу *различни* осцилатори. Од овие, најчести се оние меѓу фундаменталните вибрации и премини од втор ред (тогаш кога последниве се дозволени со симетрија¹²), при што доаѓа до изменување на карактерот на вибрациите и до прераспределба на интензитетите. Доколку тоа се случи, во спектарот може да се јават и ленти кои, во поголема или помала мерка, се резултат на модови коишто, во отсуство на вибрациони интеракции, би давале слаби или сосема слаби ленти. Во вакви случаи обично зборуваме за *фермиевска резонанца*¹³. Еден специфичен случај на фермиевска резонанца е оној при кој во интеракција стапуваат модови кои имаат блиски фреквенции и еднаква симетрија, но едниот дава *широка*, а другиот – *тенка* лента. Кога доаѓа до ваква појава (таа е позната под називот Евансов ефект [7]), се забележува трансмисионен *максимум* (а не минимум) на местото каде што би требало да се појави тенката лента. За вакви ефекти ќе зборуваме подоцна.

Изотопска сујестиниуција

Изучувањето на спектарот на водата кај кристалохидратите е олеснето со примената на т.н. *изотопска сујестиниуција*, т.е. со постапката на замена на протоните со деутерони¹⁴. Особено погоден за извлекување

¹¹ Идентични осцилатори (во случајов, молекули на вода) има кај кристалохидрати во чија елементарна ќелија постојат најмалку два кристалографски еквивалентни осцилатора (на пример, молекули на вода).

¹² Во вибрациона интеракција може да стапуваат само модови со иста симетрија.

¹³ Фермиевската резонанца не е ограничена на интеракции меѓу фундаментални вибрации и премини од втор ред.

¹⁴ Можно е замената да се врши и со *тритони* (т.е. со атоми од нуклидот тритиум), а изотопски може да се заменува и кислородот (на пример, атоми од нуклидот ¹⁶O со атоми од ¹⁸O).

структурни заклучоци е методот на *изотопска изолација* [8–10] кога се изучуваат спектрите на обрасци во кои само мал дел на протоните од водата е заменет со деутерони или, обратно, супституцијата е извршена на најголемиот дел од протоните (последново е и потешко и поскапо да се направи). Во вакви случаи, имено, во образецот постојат малку HOD молекули чии блиски соседи се молекули од друг изотопомер (H_2O , односно D_2O). Кога ситуацијата е ваква, оневозможена е интеракцијата меѓу идентични осцилатори (такви во близината не постојат), а тоа доведува до поедноставување на изгледот на спектрите. Во областа на валентните вибрации спектрите дополнително се упростуваат заради тоа што кај молекулите од HOD двете валентни вибрации се, како што обично се вели, практично целосно *распрежнати* [11], со тоа што на повисоки фреквенции (приближно онаму каде што се очекува појавата на лентите од валентните вибрации на H_2O) се јавуваат ленти коишто се резултат на речиси чисти O–H, а на пониски фреквенции – ленти кои потекнуваат од практично чисти O–D валентни вибрации. Последниве јасно се гледаат во спектрите на обрасци со ниска содржина (< 5 %) на деутериум, додека лентите од O–H вибрациите на HOD молекулите се лесно забележливи во спектрите на обрасците во кои степенот на деутерирање е мошне висок.

Нормално би било да се очекува дека бројот на вакви ленти ќе соодветствува на бројот на нееквивалентни хидрони, дека интензитетите на лентите ќе бидат приближно еднакви¹⁵ и дека положбата на лентите ќе зависи предимно од јачината на образуваните водородни врски. Како што ќе видиме, очекувањата се само *делумно* исполнети.

Наша изучувања на инфрацрвениите спектри на кристалохидрати

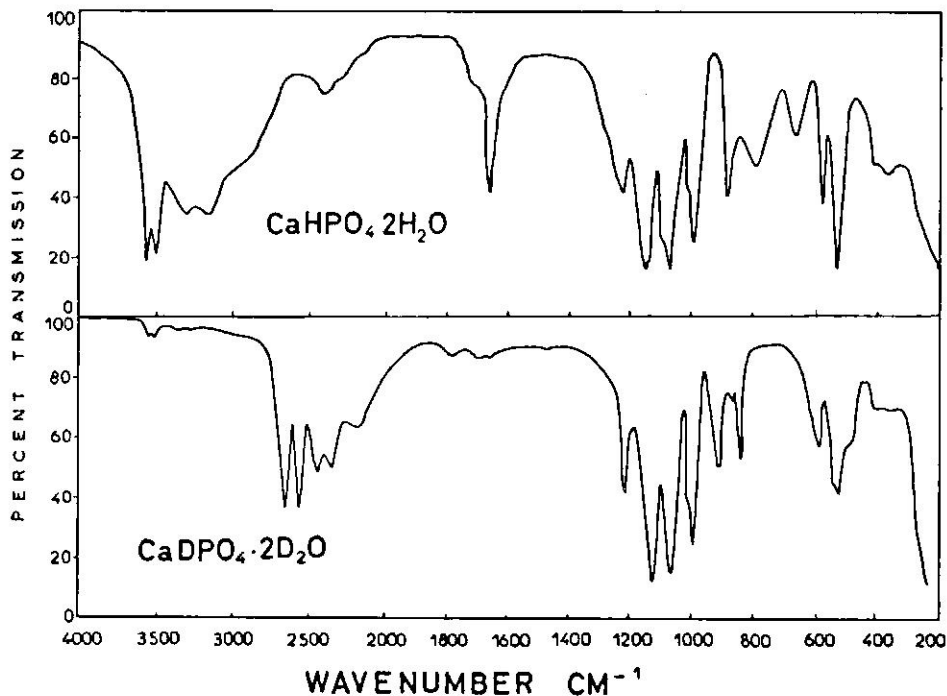
Први испитувања

Првиот кристалохидрат што спектроскопски е изучуван во Скопје [12–14] е синтетичкиот калциум хидрогенфосфат дихидрат, $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, соединение чиј минералогски назив е *брушит*. Во трудот [12] публикуирани се спектрите покажани на сл. 7.

Како што се гледа, се работи за спектри на протирано и на практично целосно деутерирано соединение, снимени на собна температура. Од друга страна, во трудот [13] е презентирани и нискотемпературен спектар на протираното соединение, а дискусијата е значително побогата. Во врска со

¹⁵ Доколку приближно еднаква е веројатноста за заменување на секој од протоните со деутерон.

лентите од вибрациите на водата, главниот проблем што е разгледуван е потеклото на четирите ленти во подрачјето над 3000 cm^{-1} кои се припишани на валентните вибрации на два типа молекули на вода, со тоа што за најверојатна е сметана претпоставката според која двете највисокофреквентни и тенки ленти (фреквенциите им се 3548 и 3490 cm^{-1}) потекнуваат од вибрации на лабаво сврзани молекули на вода, а оние на пониска фреквенција (3281 и 3163 cm^{-1}) се резултат на вибрации на посилно сврзани молекули на вода.



Сл. 7 – Инфрацрвени спектри на протиран и практично целосно деутериран брушит

Од денешна гледна точка, јасно е дека направената претпоставка *не е тточна*. Имено, сега се знае [11] дека кога молекули на вода се сврзани со водородни врски, кои многу се разликуваат по својата јачина, валентните вибрации стануваат речиси целосно распрегнати, сосем слично како и во случајот на HOD молекулите. Притоа, повисокофреквентната од двете ленти е резултат на O–H валентната вибрација на групата чиј протон е слабо водородно сврзан, а понискофреквентната – на соодветната вибрација во која учествува посилно водородно сврзаниот протон. Фактот дека во

спектарот на многу деутерираниот образец слабите ленти во областа на валентните O–H вибрации на HOD молекулите имаат практично еднаква фреквенција како соодветните ленти во спектарот на протираното соединение, недвосмислено укажува дека на секој од двата типа молекули на вода им припаѓа по една тенка (повисокофреквентна) и една широка (понискофреквентна) лента.

Подрачје на валентниите вибрации на водата

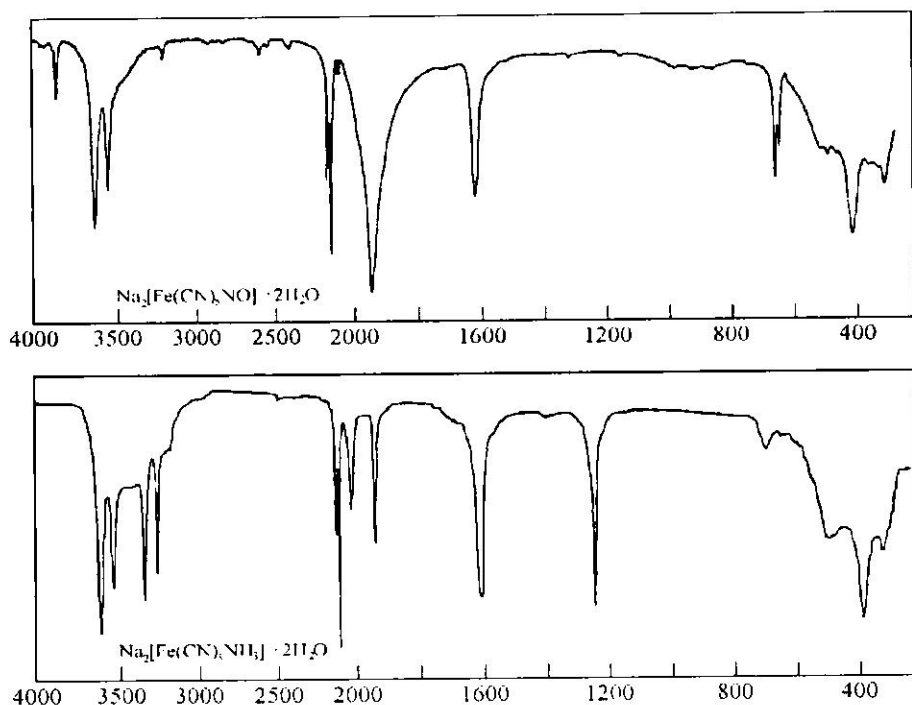
Спектри на протирани соединенија

Во подоцнежната работа врз спектрите на кристалохидрати беа најдени и ленти со уште повисоки фреквенции од оние сретнати кај брушитот и, дури, повисоки од оние кои се дадени [10] како горна граница на која може да се очекува појавата на ленти од валентните вибрации на водата. Во овој поглед, особено карактеристичен е случајот со спектарите на две сродни соединенија – $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NH}_3] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (сл. 8). Притоа, во второто од овие соединенија [15] остри и високофреквентни ленти се јавуваат како резултат не само на валентните вибрации на водата¹⁶, туку и на оние од координираниот амонијак. Две тенки ленти кои потекнуваат од вибрации на молекулите на вода се најдени и во спектарот на соединението $2\text{Pd}_3(\text{CH}_3\text{COO})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [16], а остри ленти има и во доста други спектри од оние што сме ги изучувале.

Треба да се има предвид фактот дека, по правило, колку посилен е водородните врски во кои, со своите хидрони, учествуваат молекулите на вода, толку нивните валентни вибрации имаат пониска фреквенција, а лентите што ги даваат се пошироки. Тоа, впрочем, е и најчестиот критериум според кој се проценува јачината на водородните врски во структурата на едно соединение. Според тоа, може да се заклучи дека постоењето само на тенки ленти (како во погоре споменатите примери) укажува на водородно сврзување со занемарлива јачина или, дури, на целосно отсуство на интеракции од овој вид, додека истовременото постоење и на тенки ленти (на висока фреквенција) и на пошироки ленти (на пониска фреквенција) означува постоење на водородни врски со различна јачина (таков е случајот со брушитот).

Во врска со горното, уште еднаш ќе напомене дека лентите што потекнуваат од деформационите вибрации на молекулите на вода вклучени во образувањето на посилен водородни врски се јавуваат, по правило, на повисоки фреквенции од оние кои се резултат на деформациите на H_2O молекулите кои градат послаби водородни врски.

¹⁶ На овие вибрации се должи повисокофреквентниот дублет во X–H валентната област.



Сл. 8 – Инфрацрвени спектри на $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
и $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NH}_3] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

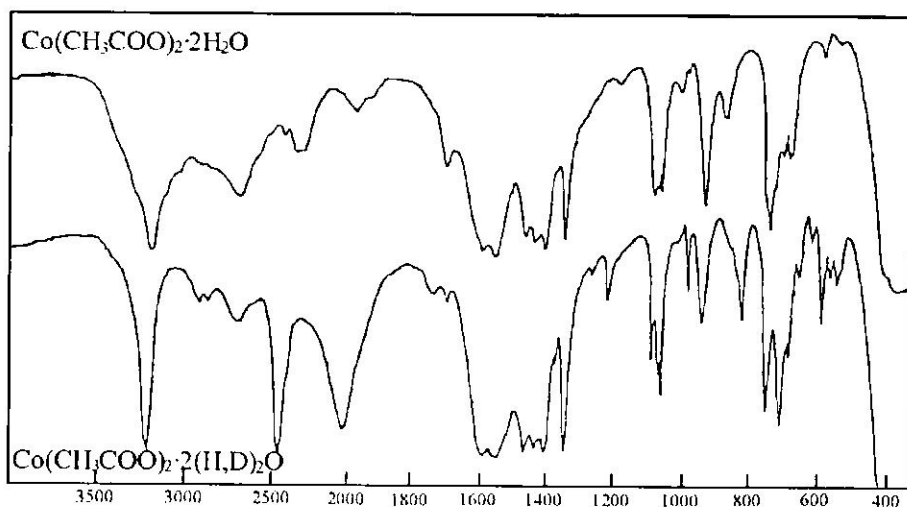
Во нашата работа, инаку, се најдени и примери на кристалохидрати кај кои молекулите на вода секако образуваат *силни* водородни врски [17–20]. Еден од екстремните примери од овој тип е соединението $\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ чиј спектар е даден на сл. 9.

Мошнеиските фреквенции на лентите кои се јавуваат под $\approx 3000 \text{ cm}^{-1}$ укажуваат на голема јачина¹⁷ на водородните врски образувани од молекулите на вода, јачина која, се чини, е најголема досега регистрирана за врски образувани од молекули на вода [20].

Аналогни ленти (вообичаениот назив за нив е *A, B, C* трио [21–23]), инаку, има и во спектарот на брушитот (сл. 7), а и во спектрите на многу други хидрогенфосфати, хидрогенарсенати и слични соединенија во чија структура постојат водородни врски со релативно голема јачина (т.е. има

¹⁷ Голема, во однос на она што вообичаено се среќава кај водородните врски образувани од молекулите на вода во кристалохидратите.

O ··· O растојанија од околу 260 pm или помалку), но тие таму потекнуваат од вибрации во рамките на анјонот. Најшироко прифатеното објаснение за потеклото на ваквите ленти е она што, врз основа на претходните сугестии на Hadži [21], го дале Claydon и Shepard [24], а подоцна го надополниле Odínokov и Iogansen [25]. Според овие автори, лентите од триото се резултат на фермиевска резонанца од Евансов тип меѓу фундаменталната O–H вибрација (таа, при ваква јачина на водородните врски, дава широка инфрацрвена лента) и овертоновите од деформационите R–O–H вибрации во и надвор од рамнината.



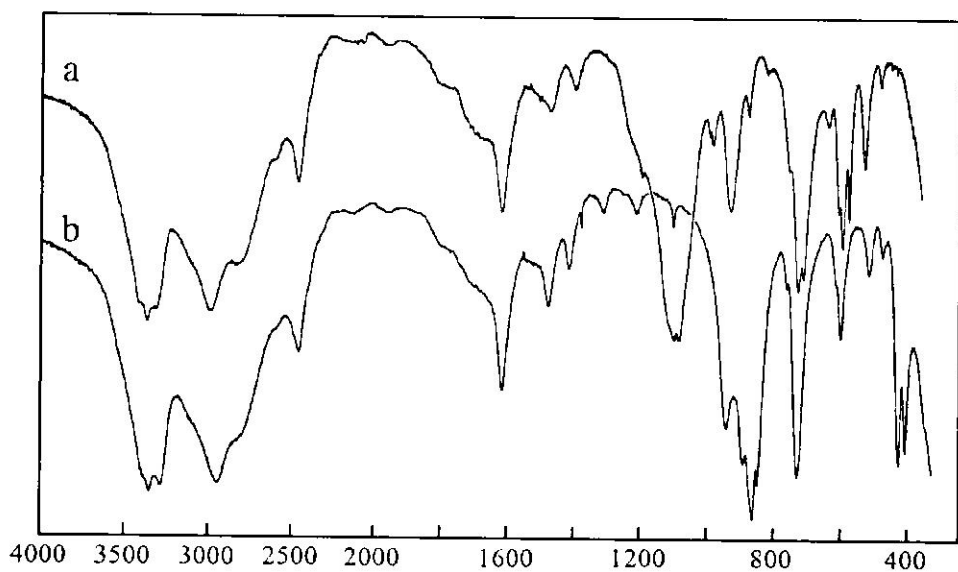
Сл. 9 – Инфрацрвени спектри на $\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и на неговиот парцијално деутериран аналог

Како што повеќепати сме укажале [17–20], ваквото објаснение (барем во неговата првобитна форма) не може да се примени на спектрите на кристалохидратите. Имено, деформационата вибрација на водата лежи премногу високо, а либрациите што се своевиден аналог на деформациите надвор од рамнината се јавуваат премногу ниско за да дадат *овертонови* во бараното спектрално подрачје. Така, објаснението мора (и може) да се модифицира на тој начин што ќе се смета дека во фермиевска резонанца може да стапат не само овертонови, туку и комбинациони тонови¹⁸. За да се

¹⁸ Кај кристалите чии елементарни ќелии се центросиметрични, вистинските овертонови на фундаменталните вибрации на елементарната ќелија се инфрацрвено неактивни.

објасни осетливоста на лентите при деутерирање (в. сл. 9), мора да се претпостави дека се работи за комбинации меѓу деформационите вибрации и либрациите на изотопомерите на водата. Во секој случај, наодот е интересен и би можело да претставува предизвик за истражувачите што се занимаваат со теоријата на водородното сврзување.

Веќе беше речено дека ленти слични на *A, B, C* триото најдовме во спектрите и на други кристалохидрати кај кои молекулите вода учествуваат во образување на силни водородни врски. Такви се, да речеме, соединенијата од класата на *сџијсџије* – соединенија со општа формула $M^I M^{III}(XY_4)_2 \cdot 12H_2O$, каде што M^I и M^{III} се, соодветно, едновалентен и тривалентен катјон, X е најчесто S (или Se), а Y е атом од кислород¹⁹ (в. сл. 10). Како што се гледа, во обата спектра (и на сулфатното и на селенатното соединение) лентите во подрачјето од околу 3000 до 1650 cm^{-1} се практично еднакви, што покажува дека тие навистина се во врска со вибрации на водата (а не на „тетраедарските“ анјони) [26]. Аналогни ленти се најдени и во спектрите на соединенија од типот $M^I MgPO_4 \cdot 6H_2O$ ($M^I = K$ или NH_4) [17].



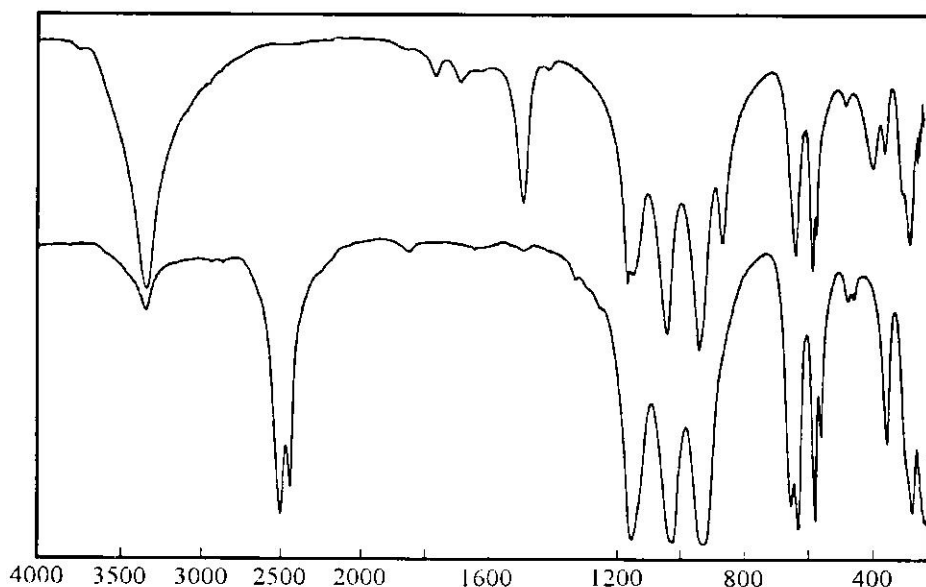
Сл. 10 – Инфрацрвени спектри на $RbAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (а) и $RbAl(SeO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (б)

Секако не треба посебно да се нагласува дека најголемиот дел од изучуваните кристалохидрати е карактеризиран со постоење на молекули

¹⁹ Постојат и поинакви стипси.

на вода што учествуваат во образување на водородни врски кои не се ниту многу слаби, ниту многу силни. Впрочем, таков е случајот и со стипсите кај кои само некои од молекулите на вода градат силни водородни врски. На валентните вибрации на оние H_2O молекули што се вклучени во образување на послаби водородни врски се должат лентите кои, во спектарот прикажан на сл. 10, се наоѓаат над 3200 cm^{-1} .

Судејќи според положбата на лентите кои се резултат на валентните вибрации на молекулите на вода (сл. 11), во случајот на $\text{KNiPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [17, 27], водородните врски не може да се оценат како слаби. Сепак, во спектарот на протираното соединение се гледа само една, доста тенка, лента која дури во спектарот на деутератот снимен на ниска температура се разделува на две (исто така релативно тенки) компоненти. Навистина, судејќи според резултатите од решавањето на структурата на соодветното магнезиумово соединение [28], во овој случај постои само еден тип молекули на вода кои, притоа, лежат на рамнина на симетрија. Сепак, останува фактот дека и покрај релативно ниската фреквенција, полуширината на лентата од двете валентни вибрации на молекулите на вода е доста мала.



Сл. 11 – Инфрацрвен спектар на $\text{KNiPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и на неговиот деутериран аналог

Во областа на валентните вибрации на водата постои, во однос на очекувањата, најмалку уште едно изненадување. Имено, како што се гледа

на сл. 10, лентите од валентните вибрации на молекулите на вода лежат пониско кај изучуваната селенатна стипса одошто кај сулфатната. Вака, всушност, е не само кај оваа двојка изоморфни соединенија, туку и во практично сите изучени од нас аналогни соединенија кои се разликуваат по тоа дали „тетраедарскиот“ анјон е сулфатен или селенатен. Објаснението што го дадовме [29] беше дека се работи за ефект кој е во врска со малку помалата електронегативност на селенот во однос на онаа кај сулфурот. Би се очекувало, заради тоа, атомот од селен послабо да ги привлекува електроните од кислородните атоми сврзани за него, а ова би довело до поголема електронска густина во близина на овие последниве и, со тоа, до подобри услови за образување на посилни водородни врски.

Меѓутоа, изучувањето на спектрите на тетрафлуороберилатните аналози на некои сулфати и селенати [30, 31] не ги потврди очекувањата. Имено, берилиумот е многу помалку електронегативен од сулфурот или селенот, а флуорот има поголема електронегативност од кислородот. Така, врз основа на нашето првобитно објаснение, електронската густина околу атомите од флуорот во тетрафлуороберилатните јони би требало да биде значително поголема одошто онаа околу кислородните атоми од сулфатните или селенатните јони [32], а водородните врски да бидат посилни кај тетрафлуороберилатните одошто кај сулфатните или селенатните аналози. Бидејќи е очигледно дека едноставното објаснение не е задоволително и дека треба да се бара друго, такво што ќе доведе до подобра усогласеност меѓу предвидувањата и експерименталните факти, ние се обидовме со примена на релативно едноставни квантно-механички методи да ја пресметаме електронската густина околу атомите од флуор кај идеализиран тетрафлуороберилатен јон и да ја споредиме со онаа за густината околу атомите од кислород кај, исто така идеализиран, сулфатен јон. Како што се покажа [33], пресметаниот парцијален електричен полнеж на F атомите не само што не е значително поголем, туку е, дури, и *помал* од оној на кислородните атоми од сулфатниот јон.

Фактор кој, несомнено, влијае на положбата на лентите во подрачјето на валентните вибрации на водата е *интеракцијата со металниите јони*. Имено, кај многу серии изоморфни соединенија што содржат еднакви анјони, а се разликуваат по катјонот на кој се координирани молекулите на вода, се забележуваат разлики во фреквенцијата на лентите од валентните вибрации на водата. Спектрите на една ваква серија (се работи за хексахидратите на метални 4-метилбензенсулфонати²⁰) се покажани на сл. 12. Како што се гледа, од четирите изучувани соединенија, лентите од валентните вибрации на водата лежат највисоко кај солта на магнезиумот, а најниско кај онаа на цинкот [34].

²⁰ Вообичаен назив за овој вид соли е *пара*-толуенсулфонати, па оттука и кратенката *p* TS која се употребува за означување на 4-метилбензенсулфонатните анјони.

Без сомнение, се работи за разлики во однос на степенот до кој јон-диполните интеракции меѓу металниот катјон и молекулите на вода ги поларизираат врските во овие последниве и со тоа придонесуваат за снижување на фреквенцијата на валентните H_2O вибрации (како што е познато [35–38], овие интеракции делуваат синергистички со водородното сврзување во определувањето на положбата на лентите од валентните вибрации на молекулите на вода). Така, дури и ако јачината на водородните врски не би била значително различна, различно силните интеракции со одделни катјони би довеле до различно ослабување на $O-H$ врските и, со тоа, до различно поместување на лентите од валентните вибрации на молекулите на вода кон пониски фреквенции. Посреден доказ во полза на ваквиот заклучок е поместувањето и на лентите од *деформационните* NOH вибрации во истата насока²¹. Се разбира, не смее да се исклучи и влијанието на ефективните размери на металните јони кои може да придонесат за изменување на параметрите на елементарната ќелија и, со тоа, на растојанијата меѓу молекулите на вода и соседните протон-акцептори.

Спектри на хидрати кои содржат изојонски изолирани HOD молекули

Во воведниот дел веќе беше спомната корисноста од изучувањето на спектрите на кристалохидрати кај кои мал дел од молекулите на вода се заменети со HOD молекули. Како што беше речено, во ваков случај двете валентни вибрации на HOD молекулите се распрегнати, а едната од нив (таа е предимно $O-D$ валентна) се јавува во подрачје каде што не се очекуваат ленти од други фундментални вибрации на молекулите на вода. Освен тоа, исклучени се вибрациони интеракции меѓу идентични осцилатори. Според тоа, би се очекувало дека секоја лента во валентната $O-D$ област на спектрите на вакви кристалохидрати ќе соодветствува на една структурно различна $O-D$ група²².

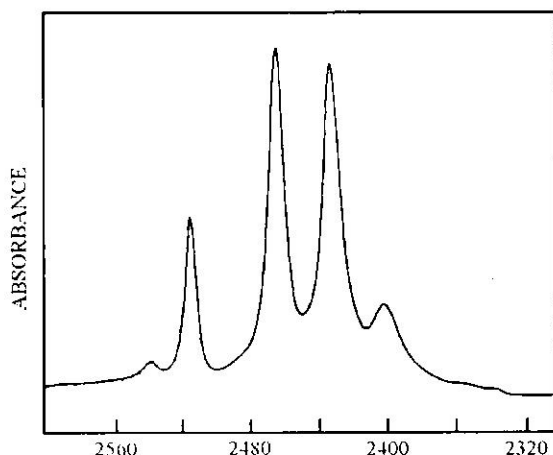
Ваквите очекувања, доколку би биле исполнети, отвораат можност за извлекување структурни заклучоци врз основа на анализата на $O-D$ валентната област на спектрите на малку деутерирани кристалохидрати. Надежите во оваа насока биле големи и биле правени различни обиди да се корелираат најдените $\nu(O-D)$ фреквенции со експериментално определените вредности на $O_w \cdots O$ или $O_w-H \cdots O$ растојанијата. Еден од најпознатите вакви обиди е оној на Berglund, Lindgren и Tegenfeldt [39] при што

²¹ Како што рековме, би се очекувало дека поместувањето на лентите од валентните и од деформационите вибрации на водата ќе се случува во *сиројонски* насоки.

²² Структурните разлики, најчесто, се сведуваат на начинот на водородно сврзување и јачината на образуваните водородни врски, а мерка за јачината на врските би требало да биде $O_w \cdots O$ растојанието.

предвид биле земани само *прецизно определени* фреквенции и растојанија. И покрај ваквата ригорозна селекција на појдовните податоци, расејувањето на точките во соодветните дијаграми е толкаво што прецизното предвидување на растојанијата врз основа на определените $\nu(\text{O-D})$ фреквенции и изведените [39] корелациони криви е однапред осудено на неуспех.

Знаејќи дека *различни фактори* може да влијаат врз положбата на $\nu(\text{O-D})$ лентите, ние се обидовме ситуацијата да ја подобриме со тоа што ќе се обидеме да вршиме слични корелации, но ограничени на структурно блиски соединенија [40–42]. Дури и во вакви случаи постои значително расејување на точките, факт кој уште еднаш покажува дека не смее да се занемаруваат интеракциите со катјоните (а можеби и некои други ефекти).



Сл. 12 – Инфрацрвен спектар на малку деутериран $\text{Cu}(\rho\text{TS})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ во подрачјето на O-D валентните вибрации

Не впуштајќи се во натамошни подробни разгледувања на квантитативните корелации и проблемите поврзани со нив, ќе посочиме само еден пример од кој појасно ќе се видат некои од важните карактеристики на спектрите во оваа област за кои постојано (не само во конкретниот пример) треба да се води сметка. Примерот за кој станува збор се однесува на спектарот на малку деутерираниот аналог на бакар(II) 4-метилбензенсулфонат хексахидрат, $\text{Cu}(\rho\text{TS})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ [43]. Според резултатите од определувањето на структурата на ова соединение [44], постојат шест различни O-H групи, вклучени во нееквивалентни водородни врски, со тоа што секоја молекула

на вода образува по една посилна и една послаба ваква врска²³. Во пет од овие шест типа водородни врски, протон-акцептори се сулфонатни кислородни атоми, додека во шестиот тип водородната врска е образувана помеѓу различни молекули на вода. Меѓутоа, во O–D валентната област од инфрацрвениот спектар²⁴ (сл. 12) се гледаат *четири* ленти со нееднаков интензитет.

Разликите во интензитетите не се којзнае колку неочекувани²⁵, но, доколку се смета дека фреквенциите секогаш зависат само од $O_w \cdots O$ растојанијата, се среќаваат тешкотии при обидот *дадена* лента да се припише на вибрација или вибрации на одделна (одделни) O–D група(и). Ние покажавме [43] дека, за да се даде целосно објаснение на спектарот на $Cu(pTS)_2 \cdot 6H_2O$, мора да се претпостави дека при споредливи $O_w \cdots O$ растојанија, водородните врски образувани со сулфонатните кислородни атоми (кои имаат определен негативен парцијален електричен полнеж) се посилни одошто оние во кои протон-акцептор е кислороден атом од молекула на вода. Слично на тоа, при споредливи $O_w \cdots O$ растојанија и вредности на парцијалните полнежи, посилни ќе бидат водородните врски во кои протон-акцепторниот атом е вклучен во образување само на една водородна врска одошто оние во кои *исти* атом ја игра улогата на протон-акцептор за *две* вакви врски.

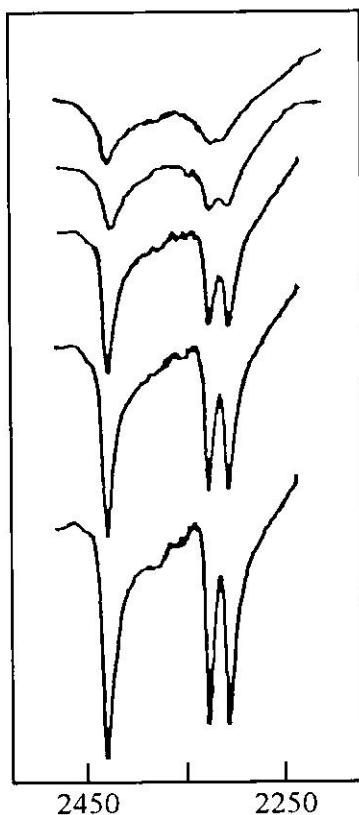
Треба, можеби, да се напомене дека нееднакви интензитети на лентите во O–D валентната област на малку деутерирани кристалохидрати беа најдени [45, 46] и во случаи кога *нема* можност за препокривање на лентите, од едноставна причина што во структурата постојат само две нееквивалентни O–D групи. Вакви примери се познати и од литературата [47, 48] и објаснети се со претпоставката дека се работи за разлики во природата на нормалните координати на несиметрично сврзаните HOD молекули кога тие се наоѓаат во една од двете можни ориентации (H–O–D \cdots Y и D–O–H \cdots Y соодветно). Тргувајќи од фактот дека, во изучуваните од нас примери, понискофреквентната лента е поинтензивна од повисокофреквентната, едно од нашите објасненија [45] е дека е можно разликите да се должат на преференцијалното заменување на протоните со деутерони кога хидроните се вклучени во образување на посилни водородни врски.

²³ За посилните врски, $O_w \cdots O$ растојанијата лежат во интервалот од 271,4 до 274,7 pm, а за послабите водородни врски соодветните растојанија се меѓу 276,7 до 278,9 pm.

²⁴ Се работи за *диференциен* спектар, т.е. спектар добиен откако од експериментално добиениот спектар на малку деутерираното соединение е одземен соодветно скалираниот спектар на протираниот аналог.

²⁵ Секогаш е можно препокривање на лентите.

Макар што, како што видовме, квантитативните корелации меѓу $\nu_{\text{O-D}}$ растојанијата и $\nu(\text{O-D})$ фреквенциите се несигурни заради влијанието на различни фактори врз фреквенцијата, изучувањето на спектрите во валентната O-D област се покажа корисно во еден друг поглед. Имено, беа најдени примери кога бројот на ленти е *поголем* од оној што се очекува за онолку типови нееквивалентни O-D групи колку што постојат според кристалографските податоци. Еден од ваквите примери е оној за соединението *trans*-Cs₂[CrCl₂(H₂O)₄]Cl₃ чиј инфрацрвен спектар во областа на O-D валентните вибрации [49] е покажан на сл. 13.



Сл. 13 – Инфрацрвени спектри на малку деутериран *trans*-Cs₂[CrCl₂(H₂O)₄]Cl₃ во областа на O-D валентните вибрации снимени на различни температури (температурата опаѓа одејќи одозгора надолу)

Според кристалографските податоци [50], во структурата на изучуваното соединение постои само еден тип молекули на вода, така што во

валентната O–D област би морало да се појават најмногу две ленти. Меѓутоа, кристалната структура била решавана во центросиметричната просторна група $C2/m$ којашто е само една од трите можни просторни групи во кои, според експерименталните резултати, би можело да кристализира ова соединение. Всушност, доколку би била избрана некоја нецентросиметрична група, бројот на нееквивалентни молекули на вода би бил удвоен, двапати поголем би бил и бројот на нееквивалентни O–D групи, а токму на ваков број укажуваат нашите инфрацрвени спектри. Алтернативно, бројот на ленти би бил зголемен и ако во структурата би постоела несреденост. Така, изгледа дека или структурата била решавана и уточнувана во погрешно одбрана просторна група или се работи за несредена структура. Во случајот на соединението $Cs_3[VC_2(H_2O)_4]Cl_4$, сличните заклучоци [51] беа и експериментално поткрепени. Имено, уточнувањето, врз основа на исто множество експериментални податоци, на структурата во центросиметричната група $Ih3h$ (во која и првобитно била решена [52] структурата на ова соединение) и во нецентросиметричната група $R22$, доведе до подобри резултати (помала вредност на факторот на несовпаѓање R) во последниот случај [53].

Области на деформационите вибрации на водата

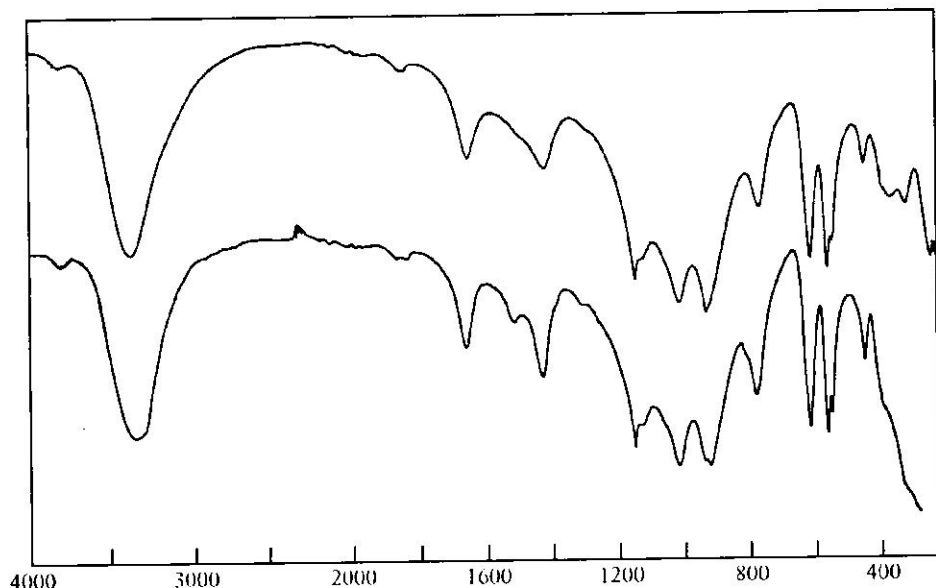
Макар што во литературата деформационите вибрации на водата се поретко разгледувани од валентните, во текот на нашите испитувања на кристалохидрати како најинтересна се покажа токму областа на овој вид вибрации. Од спектралните карактеристики што оваа област ја прават интересна треба да се истакнат две – појавата на мошне ниски деформациони H–O–H фреквенции и постоењето на повеќекратни ленти во подрачјето на појавување на овие вибрации.

Ниски деформациони фреквенции

Како што веќе беше речено, во најголемиот број случаи, колку по силни се водородните врски, толку повисоки се фреквенциите на деформационите вибрации, $\delta(H-O-H)$. Според тоа, најниската фреквенција за овој вид вибрација би требало да биде онаа кај *гасовитата* вода ($\approx 1595\text{ cm}^{-1}$ [54, 55]).

Анализирајќи ги дотогаш познатите експериментални резултати (сопствени и на други автори), Falk и Кнор [10] го наведуваат подрачјето од 1721 до 1582 cm^{-1} како она во кое може да се очекува појавата на деформационите H–O–H вибрации кај кристалохидрати, а снижувањето на $\delta(H-O-H)$ фреквенцијата *под* вредноста карактеристична за гасовитата вода го припишуваат [10, 56] на интеракции со металните јони на кои водата е координирана.

Меѓутоа, дури и бегол поглед покажува дека во укажаното подрачје, во спектарот на $\text{KNiPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (сл. 11) не постои било каква интензивна лента. Всушност, единствен кандидат за припишување на $\delta(\text{H}-\text{O}-\text{H})$ вибрацијата е лентата која се наоѓа [17, 27] на околу 1478 cm^{-1} , т.е. на речиси 120 cm^{-1} иониско одошто кај гасовитата вода. При сево ова мора да се има предвид фактот дека фреквенцијата на која се јавуваат валентните вибрации на водата (сл. 11) укажува на постоење на доста силни водородни врски, а и интеракциите со катјоните не би требало да бидат којзнае колку силни²⁶.



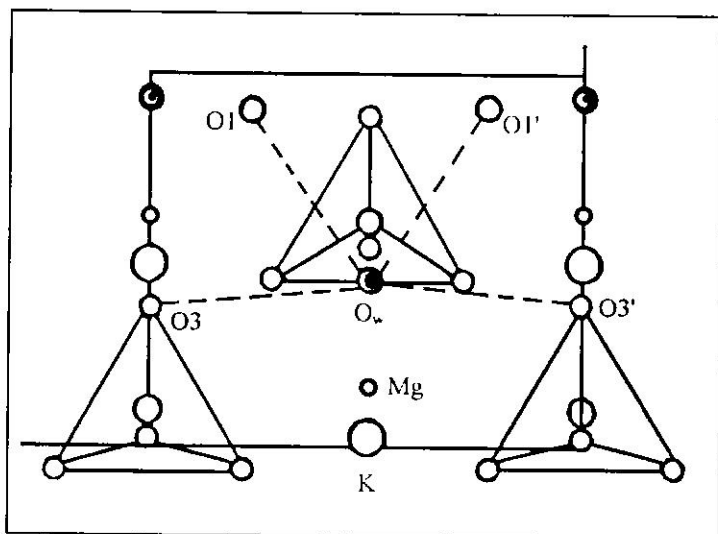
Сл. 14 – Инфрацрвен спектар на $\text{KMnPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Спектарот на изоморфниот $\text{KMgPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ е многу сличен на претходно дискутираниот, додека, пак, во спектарот на $\text{KMnPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (сл. 14) најинтензивната лента во пошироката $\delta(\text{H}-\text{O}-\text{H})$ област се наоѓа само малку над 1400 cm^{-1} , но ленти со незанемарлив интензитет има и на повисоки фреквенции. Измените во спектралната слика, одејќи од едно до друго изоморфно соединение се објаснети [17, 27, 57] со претпоставката дека доаѓа до

²⁶ Се смета дека можност за силна интеракција на молекулите на вода со катјоните постои тогаш кога последните се мали по размер и носат голем електричен полнеж. Двата метални јони во структурата на $\text{KMgPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ниту се мали, ниту се со голем полнеж.

интеракција од типот на фермијевска резонанца меѓу фундаменталната деформациона Н–О–Н вибрација и овертонот на либрацијата која дава ленти на 852 cm^{-1} кај соединението на никел, на 812 cm^{-1} кај она на магнезиум и на 773 cm^{-1} кај $\text{KMnPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Решавањето на кристалната структура [28] на магнезиумовото соединение покажа дека не само што навистина постојат услови за водородно сврзување, туку дека во околината на молекулите на вода има дури *четири* потенцијални протон-акцептори (сл. 15). Од овие, два се доста непогодно лоцирани (лежат во општата насока на двата електрон-акцептора²⁷ и со кислородниот атом од водата преклопуваат мошне голем агол од околу 165°), додека, пак, аголот со другите два потенцијални протон-акцептора е невообичаено остар (помал од 62°). За жал, положбата на протоните не можеше да биде определена, но логично е да се претпостави дека секој од нив ќе биде лоциран некаде *помеѓу* двата потенцијални протон-акцептора, при што Н–О–Н аголот би можело да биде близу до 90° .



Сл. 15 – Проекција на дел од структурата на $\text{KMgPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Опишаниот распоред на потенцијалните протон-акцептори и претпоставената геометрија на самата молекула на вода изгледаат достатни за да се објасни ниската фреквенција на $\delta(\text{H}-\text{O}-\text{H})$ вибрацијата која, така да се каже, е „олеснета“ во однос на ситуацијата кај гасовитата вода [17, 27].

²⁷ Тоа се Mg^{2+} и K^+ јоните, така што не е веројатно дека врските со водата би можело да бидат ковалентни, а не јонски.

Меѓутоа, ниски деформациони фреквенции се најдени и кај други кристало-хидрати за кои достапните кристалографски податоци не укажуваат на структурни сличности со соединенијата од типот $\text{KMPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Ниски деформациони фреквенции на молекулите на вода се најдени, да речеме, кај монохидратите на сулфатите и селенатите на Mg, Co, Ni, Fe, Zn, Mn, Cd и Cu [17, 27, 58–61], при што изгледа дека кај сите не постои голем H–O–H агол и уште поголем $\text{O}\cdots\text{O}_w\cdots\text{O}$ како оној најден [62] кај соединението на магнезиумот²⁸.

Дека големата вредност за H–O–H аголот и уште поголемата вредност за $\text{O}\cdots\text{O}_w\cdots\text{O}$ аголот *може* да придонесува за снижување на фреквенцијата на деформационата H–O–H вибрација, на определен начин покажа изучувањето на спектарот на $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ при различни температури [29]. Кај ова соединение²⁹, H–O–H аголот е доста голем (и расте со снижување на температурата), а голем е и $\text{O}\cdots\text{O}_w\cdots\text{O}$ аголот. Сосема во согласност со очекувањата, тогаш, би било опаѓањето на фреквенцијата на деформационата вибрација со температурата, при што треба да се води сметка дека при снижување на температурата опаѓа и фреквенцијата на лентите од валентните вибрации на водата.

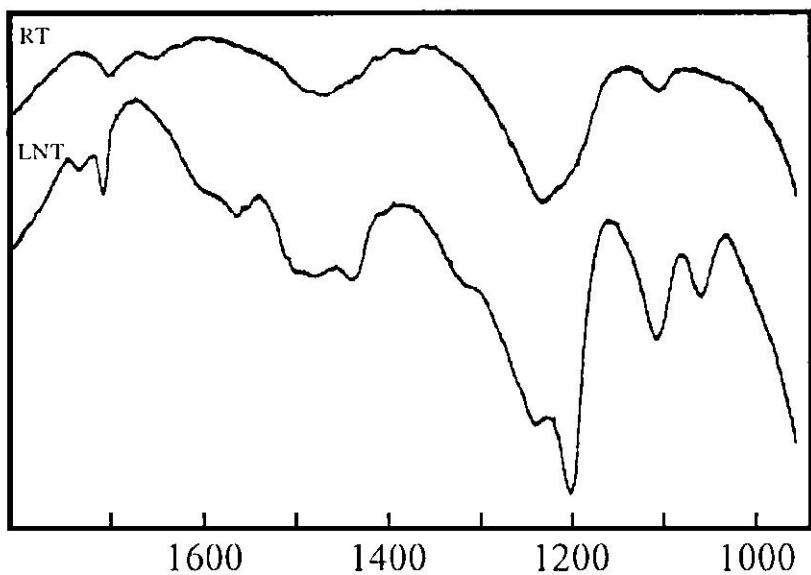
Сè на сè, тешко е да се најде некоја заедничка структурна карактеристика за сите вакви соединенија, освен ако за вакви не се сметаат условите за значителна анхармоничност на вибрациите. Всушност, едно релативно едноставно моделно квантно-механичко третирање [64] покажа дека снижување на деформационата фреквенција е можно само ако водородната врска е *нелинеарна*. Нелинеарноста на водородните врски е, веројатно, неопходен (но секако не и достатен) предуслов за појавата на ниски деформациони H–O–H фреквенции.

Повеќекрајни ленти во деформационата област

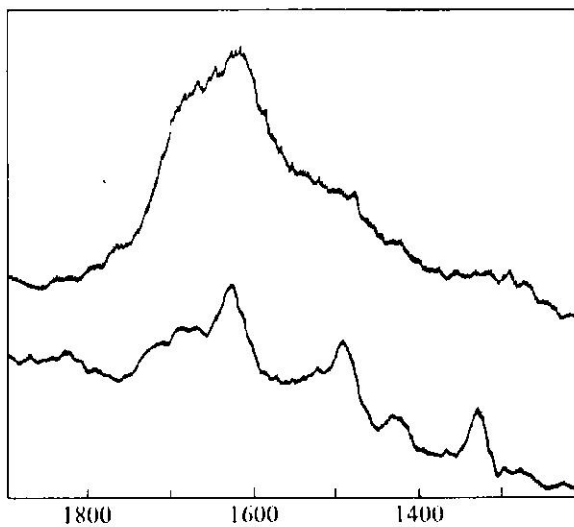
Како што се гледа од сликите 13 и 14, во деформационата H–O–H област на спектрите на соединенијата од типот $\text{KMPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ постојат *повеќекрајни* ленти, макар што кај $\text{KNiPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ само една има позначителен интензитет. Меѓутоа, ние најдовме [65, 66] многу соединенија кај кои постоењето на повеќекратни ленти во пошироката деформационата H–O–H област е многу поизразено и покарактеристично. Во овој поглед, особено интересни се веќе спомнуваните стипси. Постооењето на повеќекратни ленти во подрачјето на деформационите вибрации на водата е видливо на спек-

²⁸ Ваквите структурни карактеристики или, пак, мал H–O–H агол и уште помал $\text{O}\cdots\text{O}_w\cdots\text{O}$ агол се сметани [17] како причина за ниските деформациони H–O–H фреквенции.

²⁹ Структурата му е определена со неутронска дифракција на собна и на ниска температура [62].

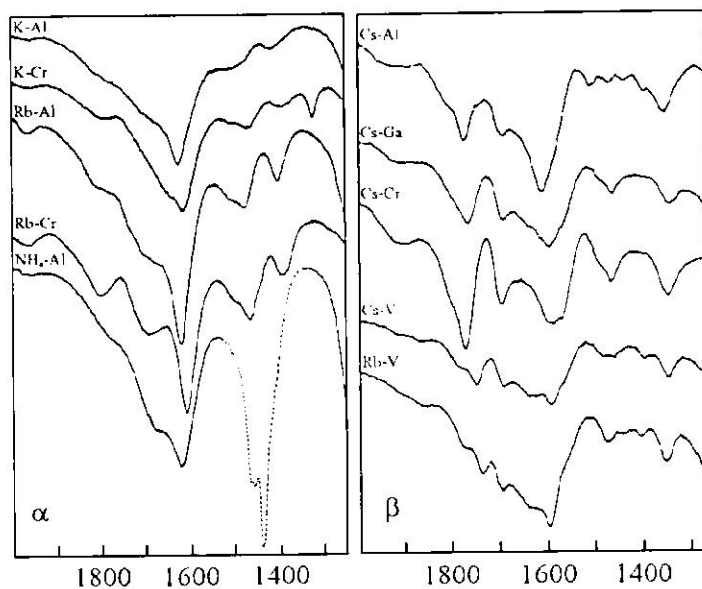


Сл. 16 – Област на деформационните вибрации на водата во инфрацрвените спектри на $\text{CsAl}(\text{SeO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ снимени на собна и на ниска температура



Сл. 17 – Рамански спектри на $\text{RbAl}(\text{SeO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ снимени на собна и на ниски температури

трите покажани на сл. 10, додека на сл. 16 јасно се гледа мошне изразената температурна зависност на овие ленти. Заслужува да се забележи мошне широкото спектрално подрачје (неколку стотици реципрочни центимтери) во кое се јавуваат овие ленти. Треба да се напомене дека многукратни ленти во истото подрачје има и во раманските спектри на стипсите (сл. 17), а слични ленти, како што беше речено, има и во други случаи.



Сл. 18 – Деформациона Н–О–Н област во инфрацрвените LNT спектри на некои α и β стипси (дадени се симболите на едновалентниот и на тривалентниот метал)

Инаку, повеќето познати стипси припаѓаат или на структурниот тип α или на оној што се означува како β . Изгледот на спектрите на по неколку стипси од секој од двата типа во деформационата Н–О–Н област е покажан на сл. 18. Кај α стипсите лентите се доста правилно подредени (разликата во фреквенциите изнесува околу 100 cm^{-1}), образувајќи прогресија слична на Franck-Condon-овските прогресии што се среќаваат во електронските спектри. Наспроти тоа, кај β стипсите ситуацијата е покомплицирана и не може да се забележи некаква особена правилност [66]. Заради ваквите разлики, тешко е да се даде сеопфатно објаснение за потеклото на многукратните ленти во деформационата Н–О–Н област. Сепак, во сите случаи кога се

најдени вакви ленти, а постојат и кристалографски податоци, може да се најдат причини за значителна анхармоничност на вибрациите. Така, и во овој случај постоењето на анхармоничност е предуслов за набљудуваната спектрална слика.

Области на либрационии модови

За либрациите (спречените ротации) кај течната вода и кај мразот веќе беше зборувано. Исто така, беше речено дека појавата на либрациони ленти е особено карактеристична за спектрите на кристалохидратите.

Инфрацрвена активност и форма на либрациите

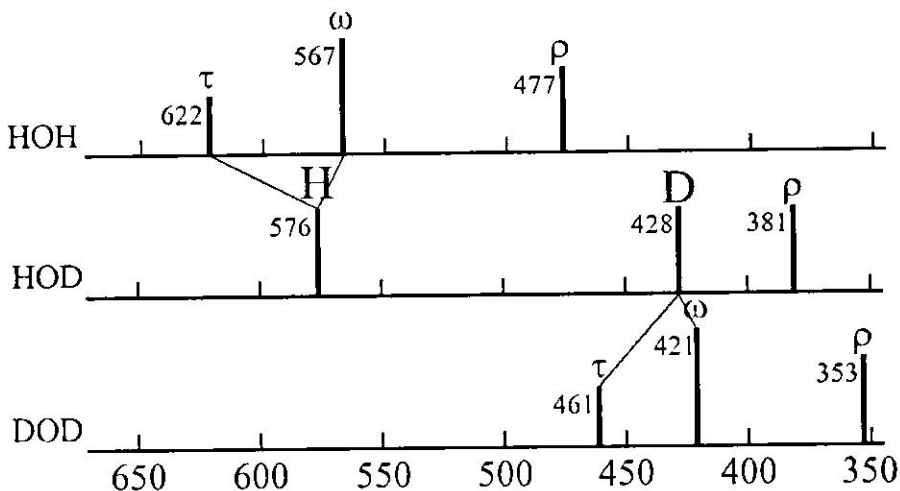
Во зависност од симетријата на молекулите на вода и на нивната околина, се очекува да се појават две до три ленти за секој структурно различен тип молекули на вода. По три ленти се очекуваат за *несиметрично* водородно сврзани молекули на вода, а по две тогаш кога се запазени или сите елементи на симетрија карактеристични за слободните молекули на вода или, најмалку, двократната оска на симетрија. Имено, за вода чии молекули имаат симетрија C_{2v} или C_2 , вителната (*twisting*) либрација е инфрацрвено неактивна, а дури и при мали отстапувања од ваквата симетрија не се очекува соодветните ленти да имаат позначителен интензитет. Ако, пак, симетријата на молекулите е C_s или C_1 , не постојат ограниченија во поглед на активноста на ниту еден од либрационите модови, но затоа проблематичен станува описот на овие модови како нишални, мавтални и вителни. Всушност, многу поверојатно е дека либрациите (или, барем, мавталниот и вителниот мод) ќе бидат *мешани*, а нивната вистинска форма може (а и тоа само делумно) да биде определена со помош на анализата на нормалните координати.

Мешањето на *wagging* и *twisting* либрациите е особено карактеристично за молекулите од HOD, при што како резултат се добива еден мод во кој предимно се движи атомот од протииум (во литературата за овој мод се употребува називот *H-motion*) и втор во кој практично се движи само атомот од деутериум (*D-motion*) [67, 68].

Постои уште една можност за асигнирање – да се анализираат фреквенциите и интензитетите на лентите во протиираните, парцијално деутерираните и практично целосно деутерираните соединенија, да се следи поместувањето на лентите и да се асигнираат либрациите на H_2O , HOD и D_2O молекулите. На таков начин ние извршивме асигнација на либрационите ленти кај неколку аквахало комплекси³⁰, а на сл. 19 е даден, како

³⁰ Анализа од ваков тип има изгледи на успех само тогаш кога во подрачјето на појавување на либрациите од водата нема ленти што се резултат на вибрации на анјоните. Токму затоа, анализирани се спектрите на посочената класа соединенија.

пример, шематскиот приказ на резултатите што се постигнати во случајот на соединението $\text{Rb}_2[\text{MnCl}_4(\text{H}_2\text{O})_2]$ [69]. На сликата се дадени и ознаките на либрациите (ρ , ω , τ), а со H и D се означени движењата што вообичаено се означуваат како *H-motion* и *D-motion*.



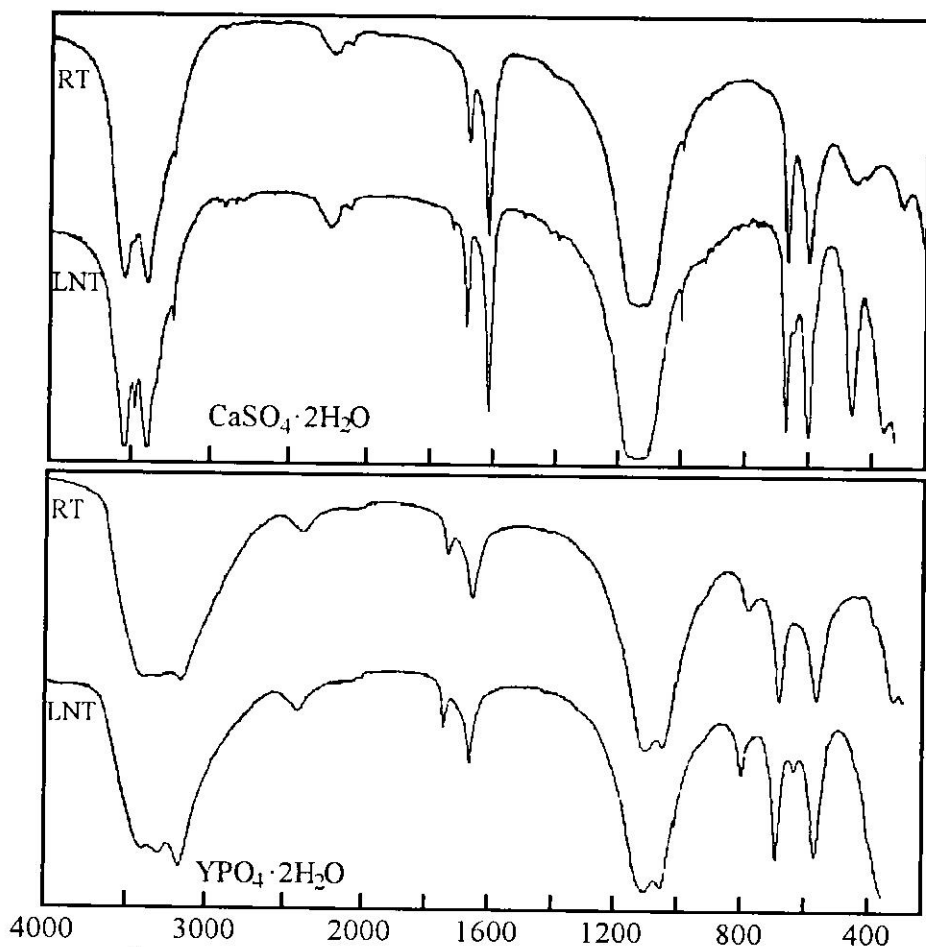
Сл. 19 – Шематски приказ на положбата и интензитетите на лентите од либрациите на молекулите на вода кај $\text{Rb}_2[\text{MnCl}_4(\text{H}_2\text{O})_2]$

Од нашите резултати во однос на либрациите ќе спомнеме уште два: изучувањето на изоморфни соединенија како помош при лоцирањето на либрационите ленти и интеракциите на либрациите со други вибрации.

Спектри на изоморфни соединенија

Макар што веќе спомнатата изразена температурна осетливост најчесто е достатна како помош при лоцирањето на лентите што се резултат на либрациите, се среќаваат и случаи кога е тешко да се определи каде точно треба да се бараат ваквите ленти, особено тогаш кога во спектарот постојат интензивни ленти кои потекнуваат од вибрации на повеќеоатомските анјони³¹. Токму во ваквите случаи корисно е паралелното изучување на изоморфни супстанции кои се разликуваат по природата на анјонот.

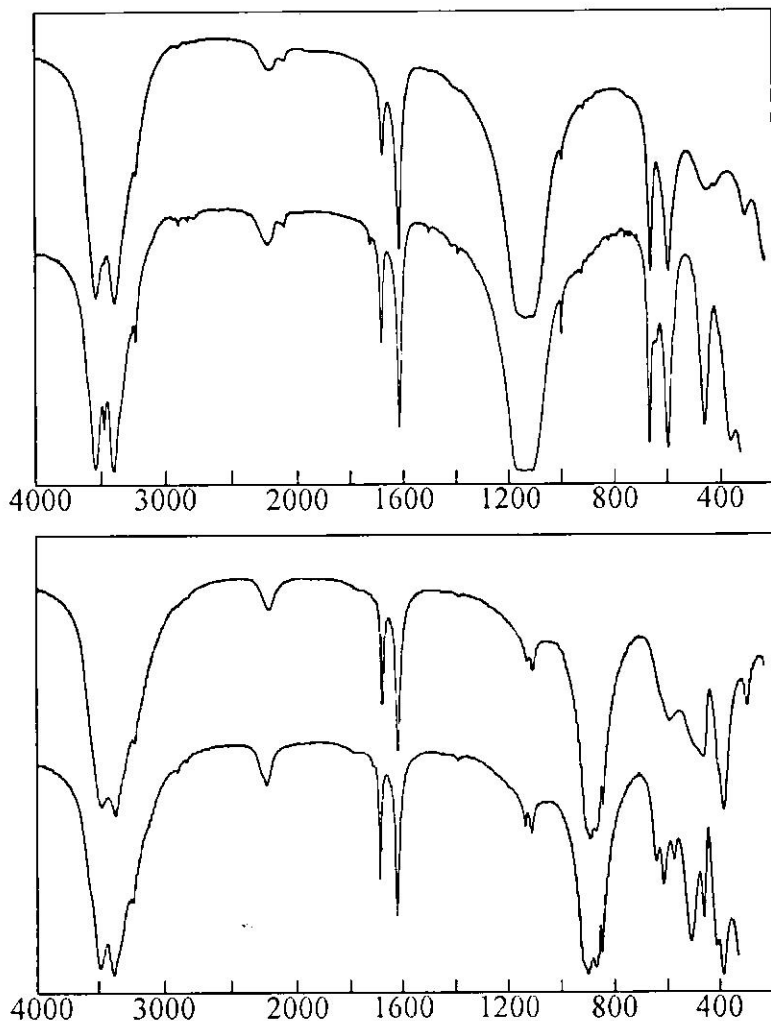
³¹ Понекогаш, не само анјони, туку и/или катјони, доколку и овие се повеќеоатомски.



Сл. 20 – Инфрацрвени спектри
на $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{YPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Таков е, да речеме, случајот (в. сл. 20) со двојката $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (минералошкиот назив на ова соединение е гипс) и $\text{YPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (соединение кое, веројатно, е изоморфно [70] со гипсот). Како што се гледа, спектрите се доста слични, со тоа што, судејќи според изгледот на спектрите во областа на валентните вибрации на водата, може да се заклучи дека водородните врски кај итриум фосфатното соединение се значително посилни

одошто оние кај гипсот³². Од друга страна, аналогот на либрационата лента која кај гипсот има фреквенција од околу 460 cm^{-1} , кај итриумовото соединение се јавува повисоко ($\approx 580\text{ cm}^{-1}$ на LNT), а нема сомнение дека



Сл. 21 –Инфрацрвени спектри на $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CaSeO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

³² Овој последен факт и не изненадува премногу ако се има предвид разликата во електричните полнежи на двата анјона, а секако не треба да се пренебрегне ни разликата во полнежите на катјоните и, поврзаната со ова, разлика во интеракциите на овие јони со молекулите вода.

и лентата на околу 760 cm^{-1} кај $\text{YPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ има либрационо потекло [71]. Тоа што во спектарот на гипсот нема слична лента е една од многуте индикации дека главниот фактор од кој зависи фреквенцијата на либрациите на молекулите на вода е токму јачината на водородното сврзување во кое се вклучени овие молекули. Инаку, аналогот на либрацијата која, кај итриум фосфат дихидратот, ја дава лентата на $\approx 760\text{ cm}^{-1}$, кај гипсот има фреквенција од околу 630 cm^{-1} .

Бидејќи, според изгледот на спектрите во областа на валентните вибрации на водата, може да се заклучи дека кај $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CaSeO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ се работи за слична јачина на водородното сврзување (малку поголема кај селенатот), либрационите ленти треба да се бараат на слични фреквенции. Така е и навистина. Врз основа на температурната зависност, имено, лесно е да се види дека на либрации треба да се припишат лентите кои, во нискотемпературните спектри (сл. 21), имаат фреквенции од околу 500 и околу 400 cm^{-1} (според очекувањата, повисоки во спектарот на селенатното, одошто на сулфатното соединение). Всушност, либрационата лента која, во спектарот на гипсот се јавува околу 650 cm^{-1} (во подрачјето каде што анјонот дава интензивни ленти) би можела лесно да биде пропуштена доколку предвид не се имаат спектарите на селенатниот и на фосфатниот аналог каде соодветните области се „чисти“ од ленти на анјоните.

Ситуацијата е значително покомплицирана кога, во сите подрачја, спектарот е богат со ленти. Таков е случајот со соединенијата од типот $[\text{M}(\text{bpy})]\text{XY}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ каде токму со паралелна анализа на спектрите на соединенијата во кои XY_4^{2-} анјонот е, соодветно, сулфатен, селенатен и тетрафлуороберилатен, беше можно да се лоцираат сите очекувани либрациони ленти [72].

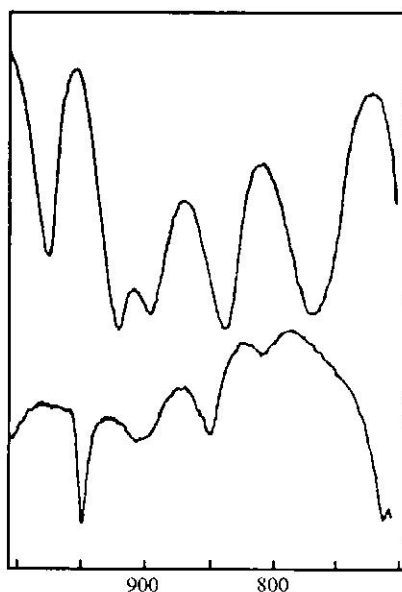
Интиеракции со други вибрации

Во спектрите на некои кристалохидрати ситуацијата во областа на либрациите на водата е усложнета со појавата на повеќе ленти од очекуваните или, пак, со фактот што лентите имаат необичен изглед.

Така, во спектарот на никел(II) ацетат тетрахидратот (сл. 22), меѓу 1000 и 900 cm^{-1} постојат најмалку две широки и доста интензивни ленти осетливи на снижување на температурата, додека во спектарот на практично целосно деутерираниот аналог во ова подрачје има само една (и тоа доста слаба и тенка) лента која лежи (на $\approx 945\text{ cm}^{-1}$) речиси точно на средината од двете интензивни ленти што постојат кај протираното соединение. Ваквиот изглед на спектрите може да се објасни [73] ако се имаат предвид раманските спектри (сл. 23). Како што се гледа, и во раманскиот спектар на деутерираното соединение има само една (но овојпат – интензивна) лента, каква што и се очекува од валентните C–C вибрации на ацетатните јони, до-

дека во спектарот на протираното соединение има две ленти, пошироки и помалку интензивни одошто кај деутеро аналогот.

Очигледно, доаѓа до вибрациона интеракција меѓу вибрациите на ацетатните јони и на молекулите на вода чиј резултат се две мешани вибрации. Кога при деутерирање лентите од либрациите ќе се „поместат“ кон пониски фреквенции, условите за мешање исчезнуваат и на првобитната позиција остануваат само лентите од $\nu(\text{C}-\text{C})$ вибрациите на ацетатните јони – слаба во инфрацрвениот и силна во раманскиот спектар.

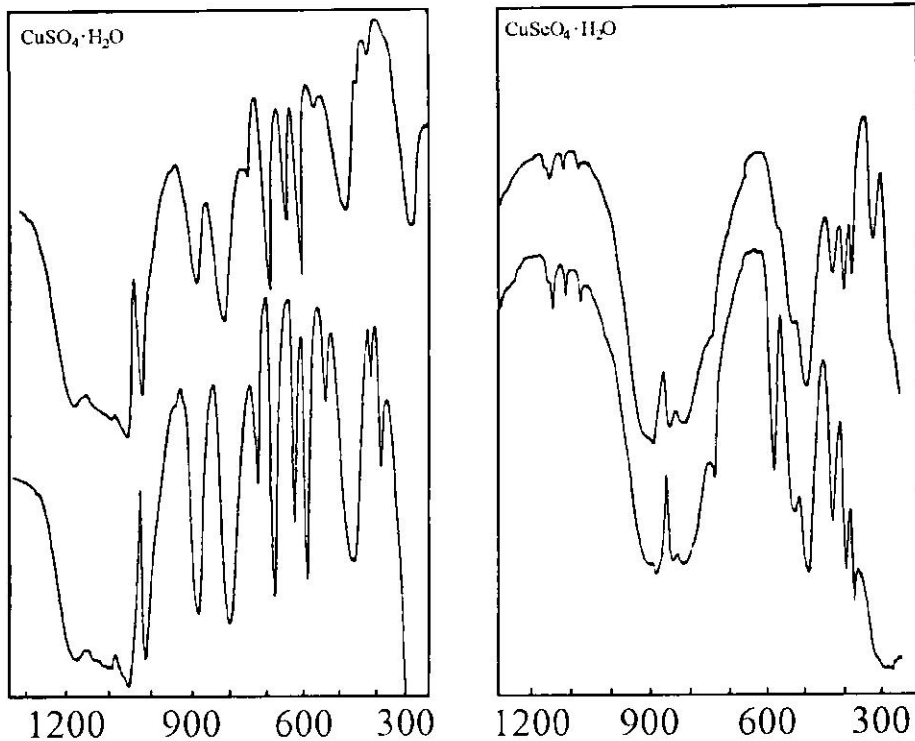


Сл. 22 – Инфрацрвени спектри на протиран $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и на неговиот деутериран аналог



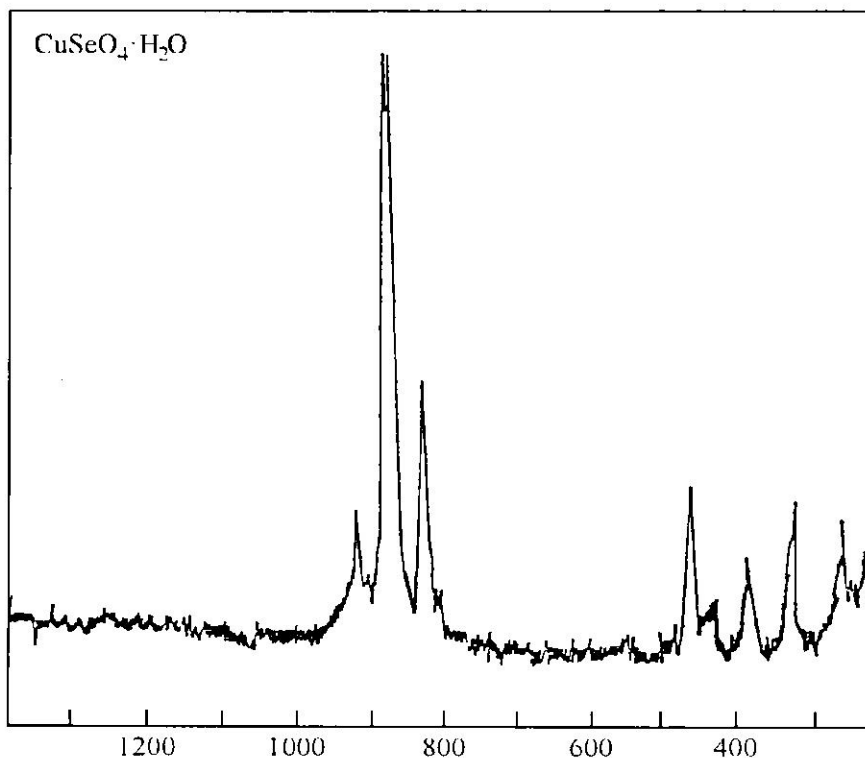
Сл. 23 – Рамански спектри на протиран $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (a) и на неговиот деутериран аналог (b)

Како што покажува анализата на спектрите на монохидратите на бакар(II) сулфат и бакар(II) селенат (сл. 24), до интеракции меѓу либрациите од водата и вибрациите на анјонот доаѓа и во случајот на селенатното соединение [73]. Во спектарот на $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, од либрации на водата секако потекнуваат двете ленти што се гледаат во подрачјето од 900 до 800 cm^{-1} , а бидејќи водородните врски кај монохидратот на бакар селенатот се слични по јачина со оние кај $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, би се очекувало дека аналогни либрациони ленти (и тоа со слична фреквенција) ќе има и кај селенатот.



Сл. 24 – Инфрацрвени спектри
 во областа на либрациите на водата
 во спектрите на $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $\text{CuSeO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Макар што во соодветното подрачје се очекува појавата и на ленти од валентните вибрации на селенатните јони, знаејќи ја положбата на лентите кај бакар(II) сулфат монохидратот, јасно е дека дел од ширината на комплексот ленти меѓу 950 и 750 cm^{-1} и кај селенатот се должи на постоењето на либрациони ленти од водата. Од друга страна, раманскиот спектар на селенатното соединение (сл. 25) покажува дека длабокиот апсорпционен минимум (односно, трансмисионен максимум) е резултат на вибрационата интеракција меѓу симетричните валентни вибрации на селенатните јони и некоја од либрациите на водата.



Сл. 25 – Рамански спектар на $\text{CuSeO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Наместо заклучок

Речиси триесетгодишните испитувања на спектрите на кристалохидрати што се изведувани кај нас довело до интересни резултати чиј мал дел е резимиран погоре. Во овие истражувања, покрај авторот учествуваа и Иван Петров (кој, на определен начин, и ги иницира), потоа (по азбучен ред) Лилјана Андреева, Орхидеја Групче, Зоран Здравковски, Глигор Јовановски, Владимир Петрушевски, Мирјана Ристова, Виктор Стефов, Киро Стојаноски, Мира Трпковска, Лидија Шоптрајанова и поголем број дипломци, магистранти и докторанти. На сите нив авторот им ја изразува својата искрена благодарност. Особена благодарност авторот сака да му изрази на академикот проф. Душан Хаџи од Љубљана (Словенија) за многубројните корисни и секогаш стимулативни дискусии, особено во почетниот период од изучувањето на кристалохидратите. Полето за истражување е и натаму отворено, а и цела една истражувачка група на Институтот за хемија сега се

занимава со изучување на спектрите на различни кристалохидрати. Така, не изгледа нескромно да се очекуваат и нови интересни резултати.

ЛИТЕРАТУРА

1. I. Asimov, *The Left Hand of the Electron*, Panther, Frogmore, St Albans, 1976.
2. П. Эткинс. *Молекулы*, Мир, Москва, 1991.
3. R. S. Halford, *J. Chem. Phys.*, **14** (1946) 8.
4. H. Winston, R. S. Halford, *J. Chem. Phys.*, **17** (1949) 607.
5. W. G. Fateley, F. R. Dollish, N. T. McDevitt, F. F. Bentley, *Infrared and Raman Selection Rules for Molecular and Lattice Vibrations: The Correlation Method*, Wiley-Interscience, New York, 1972.
6. H. Takahashi, I. Maehara, N. Kaneko, *Spectrochim. Acta*, **39A** (1983) 449.
7. J. C. Evans, *Spectrochim. Acta*, **16** (1960) 994.
8. H. J. Hrostowski, G. C. Pimentel, *J. Chem. Phys.*, **19** (1951) 661.
9. G. L. Hiebert, D. F. Hornig, *J. Chem. Phys.*, **20** (1952) 918.
10. M. Falk, O. Knop, in: F. Franks (Ed.), *Water: A Comprehensive Treatise*, Vol. 2, Plenum, New York, 1973.
11. D. Schiöberg, W. Luck, *Spectrosc. Lett.*, **10** (1977) 613.
12. I. Petrov, B. Šoptrajanov, N. Fuson, J. R. Lawson, *Год. Зб. Прир.-мат. фак., Унив. Скопје, Мат., Физ., Хем.*, **16** (1965) 129.
13. I. Petrov, B. Šoptrajanov, N. Fuson, J. R. Lawson, *Spectrochim. Acta*, **23A** (1967) 2637.
14. I. Petrov, B. Šoptrajanov, N. Fuson, *Z. Anorg. Allgem. Chem.*, **358** (1968) 178.
15. Л. Пројчева, Б. Шоптрајанов, *Глас. Хем. Технол. Македонија*, **1** (1974) С.57.
16. L. Šoptrajanova, B. Šoptrajanov, *Spectrosc. Lett.*, **25** (1992) 1141.
17. Б. Шоптрајанов, *Спектроскопско истражување на кристалохидрати со посебен осврт на спектрите на водаи. Системи со мошне ниски $\delta(\text{HON})$ фреквенции, во: Природно-математички факултет на Универзитетот Кирил и Методиј Скопје, Посебни изданија, кн. 16, Скопје, 1973.*
18. B. Šoptrajanov, V. Petruševski, K. Stojanoski, G. Jovanovski, *Horizons in Hydrogen Bond Research, 3rd Workshop on Dynamics of Hydrogen Bonds in Solids and Liquids, [Abstracts]*, Ankaran, 1979.
19. M. Ristova, B. Šoptrajanov, *J. Mol. Struct.*, **115** (1984) 355.
20. B. Šoptrajanov, M. Ristova, *Vestn. Sloven. Kem. Društva*, **39** (1992) 231.
21. D. Hadži, *Pure Appl. Chem.*, **11** (1965) 435.
22. D. Hadži, S. Bratos, во: P. Schuster, G. Zundel, C. Sandorfy (Eds.), *The Hydrogen Bond*, Vol. II, North-Holland, Amsterdam, 1976.

23. S. F. Fischer, G. L. Hofacker, M. A. Ratner, *J. Chem. Phys.*, **52** (1970) 1934.
24. M. F. Claydon, N. Sheppard, *Chem. Commun.*, **1969**, 1431.
25. S. E. Odinkov, A. N. Iogansen, *Spectrochim. Acta*, **28A** (1972) 2343.
26. В. Петрушевски, Б. Шоптрајанов, Г. Јовановски, *7. Jugoslovensko savetovanje „Opšta i primenjena spektroskopija“*, Zbornik, Beograd, 1980, стр. 105.
27. В. Šoptrajanov, *XXVI Colloquium Spectroscopicum Internationale*, Vol. V, Sofia, 1989.
28. G. Jovanovski, S. Pocev, B. Kaitner, *Izv. Jugoslav. Centr. Krist.*, **12** (1977) 118.
29. В. Šoptrajanov, V. Petruševski, *J. Mol. Struct.*, **142** (1986) 67.
30. М. Трпковска, В. Šoptrajanov, *Croat. Chem. Acta*, **65** (1992) 179.
31. М. Трпковска, *Докторска дисертација*, Универзитет „Кирил и Методиј“, Природно-математички факултет, Скопје, 1992.
32. Б. Шоптрајанов, М. Трпковска, *Тринаесеттото советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштенувањата*, Скопје, 1993, стр. 204.
33. В. Šoptrajanov, М. Трпковска, Z. Zdravkovski, *Spectrosc. Lett.*, **29** (1996) 867.
34. М. Ristova, В. Šoptrajanov, К. Stojanoski, *Croat. Chem. Acta*, **65** (1992) 161.
35. H. D. Lutz, H. Christian, *J. Mol. Struct.*, **96** (1982) 61.
36. O. Kristiansson, A. Eriksson, J. Lindgren, *Acta Chem. Scand.*, **A38** (1984) 613.
37. K. Hermansson, I. Olovsson, S. Lunell, *Theor. Chim. Acta*, **64** (1986) 265.
38. H. D. Lutz, J. Henning, во: H. Kleeborg, (Ed.), *Interactions of Water in Ionic and Non-ionic Hydrates*, Springer, Berlin, 1987.
39. В. Berglund, J. Lindgren, J. Tegenfeldt, *J. Mol. Struct.*, **43** (1978) 179.
40. G. Jovanovski, В. Šoptrajanov, *J. Mol. Struct.*, **143** (1986) 159.
41. В. Стефов, Б. Шоптрајанов, В. Петрушевски, *Дванаесеттото советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштенувањата*, СФ-1, Скопје, 1991.
42. Љ. Пејов, Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, О. Групче, *Прв конгрес по чиста и применета хемија на студентите од Македонија, Изводи од соопштенувањата*, Скопје, 1994, стр. 45.
43. М. Ristova, В. Šoptrajanov, К. Stojanoski, *J. Mol. Struct.*, **293** (1993) 117.
44. C. Couldwell, K. Prout, D. Robey, R. Taylor, F. J. C. Rossotti, *Acta Crystallogr.*, **B34** (1978) 1491.
45. О. Групче, G. Jovanovski, В. Šoptrajanov, *J. Mol. Struct.* **267** (1992) 197.
46. S. Tančeva, G. Jovanovski, В. Šoptrajanov, *Spectrosc. Lett.*, **25** (1992) 927.
47. G. Brink, M. Falk, *Spectrochim. Acta*, **27A** (1971) 1811.
48. H. D. Lutz, *Spectrochim. Acta*, **38A** (1982) 921.
49. В. Šoptrajanov, V. Stefov, V. M. Petruševski, *Spectrosc. Lett.*, **26** (1993) 1839.
50. P. J. McCarthy, J. C. Lauffenburger, P. M. Skonezny, D. C. Rohrer, *Inorg. Chem.*, **20** (1981) 1566.
51. V. Stefov, В. Šoptrajanov, V. Petruševski, *Vestn. Sloven. Kem. Društva*, **37** (1990) 181.

52. P. J. McCarthy, J. C. Lauffenburger, P. M. Skonezny, D. C. Rohrer, *Inorg. Chem.*, **20** (1981) 1571.
53. A. Hergold-Brundić, V. Stefov, *XII sastanak kemičara Hrvatske, Sinopsisii*, A-2, Zagreb, 1991.
54. W. S. Benedict, N. Gailar, E. K. Plyer, *J. Chem. Phys.*, **24** (1958) 1139.
55. N. M. Gailar, F. P. Dickey, *J. Mol. Spectrosc.*, **4** (1960) 1.
56. M. Falk, *Spectrochim. Acta*, **40A** (1984) 43.
57. Б. Шоптрајанов, С. Ѓорѓевиќ, Г. Јовановски, *7. Jugoslovensko savetovanje „Opšta i primenjena spektroskopija“*, Zbornik, Beograd, 1980, стр. 119.
58. I. Gamo, *Bull. Chem. Soc. Japan*, **34** (1961) 764.
59. H. R. Oswald, *Helv. Chim. Acta*, **48** (1965) 600.
60. L. Ben-Dor, R. Margalith, *Inorg. Chim. Acta*, **1** (1967) 49.
61. B. Šoptrajanov, M. Trpkovska, *J. Mol. Struct.*, **293** (1993) 109.
62. J. M. Brégeault, P. Herpin, J. Coing-Boyat, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, **1972**, 2247.
63. J.-O. Lundgren, Å. Kvik, M. Karpinen, R. Liminga, S. C. Abrahams, *J. Chem. Phys.*, **80** (1984) 423.
64. G. Ivanovski, V. Petruševski, B. Šoptrajanov, *Fizika*, **21**, Suppl. 1 (1989) 202.
65. B. Šoptrajanov, V. Petruševski, M. Ristova, M. Trpkovska, *Horizons in Hydrogen Bond Research, Poster Abstracts*, Sānga-Sāby (Sweden), 1980.
66. B. Šoptrajanov, V. Petruševski, *J. Mol. Struct.*, **293** (1993) 101.
67. A. Eriksson, J. Lindgren, *J. Mol. Struct.*, **48** (1978) 417.
68. V. Stefov, B. Šoptrajanov, V. Petruševski, *J. Mol. Struct.*, **266** (1992) 211.
69. M. Kohlmann, H. Sowa, K. Reithmayer, H. Schulz, *Acta Crystallogr.*, **C50** (1994) 1651.
70. V. Petruševski, B. Šoptrajanov, *J. Mol. Struct.*, **115** (1984) 343.
71. B. Šoptrajanov, M. Trpkovska, *J. Mol. Struct.*, **267** (1992) 185.
72. B. Šoptrajanov, M. Ristova, *J. Mol. Struct.*, **115** (1984) 355.
73. М. Трпковска, Б. Шоптрајанов, *XI советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопшенијата*, В3-9, Скопје, 1988.

Б И Б Л И О Г Р А Ф И Ј А
НА ПРОФ. БОЈАН ШОПТРАЈАНОВ

1. Монографски публикации со научен, односно сѝручен карактер

- 1.1. Б. Шоптрајанов, „Спектроскопско испитување на кристалохидрати со посебен осврт на спектарот на водата. Системи со мошне ниски $\delta(\text{НОH})$ фреквенции“, Природно-математички факултет на Универзитетот „Кирил и Методиј“, Скопје, 1973 (докторска дисертација); објавена на *Природно-математички факултет на Универзитетот „Кирил и Методиј“ - Скопје, Посебни изданија*, кн. 16, Скопје, 1973.
- 1.2. L. Colombo, T. Cvitaš, Z. Meić, M. Pavlović, H. Vančik, D. Hadži, S. Detoni, S. Ristić, D.S. Pešić, I. Petrov, B. Šoptrajanov, „English–Croatian–Serbocroatian–Macedonian dictionary of important terms in molecular spectroscopy“, Unija kemijskih društava SFR Jugoslavije, Beograd, 1978.

2. Трудови печатени во сѝрански списанија

- 2.1. B. Šoptrajanov, G. E. Ewing, „Infrared and Raman spectra of 1,2,5–thiadiazole“, *Spectrochim. Acta*, **22**, 1417 (1966).
- 2.2. I. Petrov, B. Šoptrajanov, N. Fuson, J. R. Lawson, „Infrared investigation of dicalcium phosphates“, *Spectrochim. Acta*, **23A**, 2637 (1967).
- 2.3. I. Petrov, B. Šoptrajanov, N. Fuson, „On the problem of hydrogen bonding in some calcium phosphates“, *Z. Anorg. Allgem. Chem.*, **358**, 178 (1968).
- 2.4. B. Šoptrajanov, A. Nikolovski, I. Petrov, „Infrared spectra of dioxobis(acetylacetonato)tungsten(VI) and dioxobis(acetylacetonato)molybdenum(VI)“, *Spectrochim. Acta*, **24A**, 1617 (1968).
- 2.5. B. Šoptrajanov, A. Nikolovski, I. Petrov, „Infrared evidence for the non–linearity of the WO_2 group in some tungstyl chelates“, *Spectrosc. Lett.*, **1**, 117 (1968).
- 2.6. I. Petrov, B. Šoptrajanov, K. Stojanova, „On the nature of calcium phosphates in urinary calculi“, *Experientia*, **25**, 693 (1969).
- 2.7. I. Petrov, B. Šoptrajanov, „Infrared spectrum of whewellite“, *Spectrochim. Acta*, **31A**, 309 (1975).

- 2.8. V. Petruševski, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of the dihydrates of calcium selenate and yttrium phosphate – comparison with the spectrum of gypsum“, *J. Mol. Struct.*, **115**, 343 (1984).
- 2.9. M. Ristova, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of protiated and deuterated cobalt acetate dihydrate“, *J. Mol. Struct.*, **115**, 355 (1984).
- 2.10. B. Šoptrajanov, M. Ristova, „Water–anion vibrational coupling in some crystallohydrates“, *J. Mol. Struct.*, **115**, 359 (1984).
- 2.11. L. Šoptrajanova, B. Šoptrajanov, G. Jovanovski, „Infrared spectra of *cis*-[Pd(CN)₂(NH₃)₂]“, *J. Mol. Struct.*, **142**, 63 (1986).
- 2.12. B. Šoptrajanov, V. Petruševski, „Infrared spectra of Li₂SeO₄·H₂O, Li₂SO₄·H₂O and Li₂(S,Se)O₄·H₂O“, *J. Mol. Struct.*, **142**, 67 (1986).
- 2.13. M. Ristova, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of strontium formate dihydrate and of its deuterated analogues“, *J. Mol. Struct.*, **142**, 75 (1986).
- 2.14. G. Jovanovski, B. Šoptrajanov, „Spectra–structure correlations in the isomorphous series of metal(II) saccharinates hexahydrates“, *J. Mol. Struct.*, **143**, 159 (1986).
- 2.15. B. Šoptrajanov, S. Djordjević, „Monohydrates of cobalt and manganese hydrogenarsenates – a pair of non-isomorphous compounds with similar infrared spectra“, *J. Mol. Struct.*, **143**, 163 (1986).
- 2.16. M. Penavić, L. Šoptrajanova, G. Jovanovski, B. Šoptrajanov, „*cis*-Diamminedicyanopalladium(II)“, *Acta Crystallogr.*, **C42**, 1284 (1986).
- 2.17. G. Jovanovski, B. Šoptrajanov, „Bonding of the carbonyl group in metal saccharinates : correlation with the infrared spectra“, *J. Mol. Struct.*, **174**, 467 (1988).
- 2.18. V. Petruševski, B. Šoptrajanov, „Description of molecular distortions. II. Intensities of the symmetric stretching bands of tetrahedral molecules“, *J. Mol. Struct.*, **175**, 349 (1988).
- 2.19. A. W. Al-Kassab, B. D. James, J. Liesegang, I. Petrov, V. Petrushevski, B. Soptrajanov, „Strong hydrogen bonding. Assignments in the vibrational spectra of the isomorphous salts : KHSO₄ and KHSeO₄“, *Spectrosc. Lett.*, **21**, 575 (1988).
- 2.20. G. Jovanovski, O. Grupče, B. Šoptrajanov, „The O–H and O–D stretching vibrations in the hydrates of sodium and potassium saccharinate : spectra–structure correlations“, *J. Mol. Struct.*, **219**, 61 (1990).
- 2.21. V. Petruševski, B. Šoptrajanov, „Vibrational spectra of hexaaqua complexes : I. Assignments of water librational bands in the spectra of some alums“, *J. Mol. Struct.*, **219**, 67 (1990).
- 2.22. B. Šoptrajanov, „Rigidly structured curricula : an obstacle to student mobility“, *Higher Education Policy*, **4**, 17 (1991).
- 2.23. E. Kleinpeter, D. Strhl, G. Jovanovski, B. Šoptrajanov, „Metal–to–ligand bonding in some metal saccharinates: A ¹³C NMR study“, *J. Mol. Struct.*, **246**, 185 (1991).
- 2.24. V. Stefov, B. Šoptrajanov, V. Petruševski, „Infrared spectra of rubidium and cesium diaquatetrachloromanganates. II. External vibrations of the water molecules“, *J. Mol. Struct.*, **266**, 211 (1992).

- 2.25. B. Šoptrajanov, M. Trpkovska, „Parallel study of isomorphous compounds as an aid in locating water librational bands“, *J. Mol. Struct.*, **267**, 185 (1992).
- 2.26. M. Trajkovska, B. Šoptrajanov, G. Jovanovski, T. Stafilov, „Vibrational spectra of some sulfide minerals from Alšar“, *J. Mol. Struct.*, **267**, 191 (1992).
- 2.27. O. Grupče, G. Jovanovski, B. Šoptrajanov, „Monohydrates of the thiosaccharinates of sodium and potassium : spectra–structure correlations“, *J. Mol. Struct.*, **267**, 197 (1992).
- 2.28. V. Stefov, B. Šoptrajanov, V. Petruševski, „Vibrational spectra of hexaaqua complexes. II. External motions of water molecules in the spectra of $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ “, *J. Mol. Struct.*, **267**, 203 (1992).
- 2.29. B. Šoptrajanov, M. Ristova, K. Stojanoski, „Spectroscopic studies of salts of 4-methylbenzenesulfonic acid. II. The spectrum of the ammonium ions in ammonium 4-methylbenzene sulfonate“, *J. Mol. Struct.*, **267**, 215 (1992).
- 2.30. S. Tančeva, G. Jovanovski, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of protiated and deuterated lead(II) saccharinate monohydrate : spectra–structure correlations“, *Spectrosc. Lett.*, **25**, 927 (1992).
- 2.31. L. Šoptrajanova, B. Šoptrajanov, „Vibrational studies of palladium(II) acetate compounds. I. Infrared spectra of hexa- μ -acetato-*triangulo*-tripalladium–water (2/1)“, *Spectrosc. Lett.*, **25**, 1131 (1992).
- 2.32. L. Šoptrajanova, B. Šoptrajanov, „Vibrational studies of palladium(II) acetate compounds. II. Infrared spectra of the diethylamine adduct of palladium(II) acetate“, *Spectrosc. Lett.*, **25**, 1141 (1992).
- 2.33. V. Stefov, B. Šoptrajanov, V. Petruševski, „Infrared spectra of rubidium and cesium tetrachlorodiaquamanganates. I. Internal vibrations of water molecules“, *Croat. Chem. Acta*, **65**, 151 (1992).
- 2.34. M. Ristova, B. Šoptrajanov, K. Stojanoski, „Spectroscopic studies of salts of 4-methylbenzenesulfonic acid. I. The spectrum of water in the hexahydrates of some metal 4-methylbenzenesulfonates“, *Croat. Chem. Acta*, **65**, 161 (1992).
- 2.35. M. Trpkovska, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of the dihydrates of copper(bipyridine) sulfate, selenate and tetrafluoroberyllate“, *Croat. Chem. Acta*, **65**, 179 (1992).
- 2.36. B. Šoptrajanov, M. Ristova, „Infrared study of cobalt acetate dihydrate and its partially deuterated analogues“, *Vestn. Sloven. Kem. Društva*, **39**, 231 (1992).
- 2.37. G. Jovanovski, B. Šoptrajanov, B. Kaitner, L. Prangova, „Structural studies of some *o*-substituted *S*-phenyl thiobenzoates. I. Crystal structure of *S*-phenyl *o*-chlorothiobenzoate and *S*-phenyl *o*-bromothiobenzoate“, *J. Crystallogr. Spectrosc. Research*, **23**, 49 (1993).
- 2.38. V. Stefov, V. M. Petruševski, B. Šoptrajanov, „Vibrational spectra of hexaaqua complexes. III. Internal and external motions of the water molecules in the spectra of $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$ “, *J. Mol. Struct.*, **293**, 97 (1993).
- 2.39. B. Šoptrajanov, V. M. Petruševski, „Vibrational spectra of hexaaqua complexes : IV. Multiple bands in the HOH bending region of some alums“, *J. Mol. Struct.*, **293**, 101 (1993).

- 2.40. B. Šoptrajanov, V. Stefov, M. Ivanovska, „Infrared spectra of rubidium diaquatetra-chloronickelate(II)“, *J. Mol. Struct.*, **293**, 105 (1993).
- 2.41. B. Šoptrajanov, M. Trpkovska, „Copper sulfate monohydrate : centrosymmetric or non-centrosymmetric?“, *J. Mol. Struct.*, **293**, 109 (1993).
- 2.42. O. Grupče, G. Jovanovski, B. Šoptrajanov, „The N–H, N–D and C=S stretching regions in the infrared spectrum of thiosaccharin : comparison with the spectrum of saccharin“, *J. Mol. Struct.*, **293**, 113 (1993).
- 2.43. M. Ristova, B. Šoptrajanov, K. Stojanoski, „Spectroscopic studies of salts of 4-methylbenzenesulfonic acid. III. The spectrum of water in the hexahydrate of copper(II) 4-methylbenzenesulfonate“, *J. Mol. Struct.*, **293**, 117 (1993).
- 2.44. L. Šoptrajanova, M. Popova, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of a zero-valent palladium complex with ethylenediamine“, *J. Mol. Struct.*, **293**, 121 (1993).
- 2.45. K. Stojanoski, B. Šoptrajanov, A. Eriksson, „Infrared spectra of diaquabis(glycinato-*O,N*)nickel(II) in the N–H and N–D stretching region“, *J. Mol. Struct.*, **293**, 125 (1993).
- 2.46. B. Šoptrajanov, M. Trajkovska, I. Gržetić, G. Jovanovski, T. Stafilov, „Infrared spectra of $M^I_3M^{III}S_3$ type synthetic minerals ($M^I = \text{Pb or Ag}$, $M^{III} = \text{As or Sb}$)“, *N. Jb. Miner. Abh.*, **166**, 83 (1993).
- 2.47. B. Šoptrajanov, V. Stefov, V. Petruševski, „Infrared spectra of dicesium *trans*-tetra-aquadichlorochromium(III) chloride“, *Spectrosc. Lett.*, **26**, 1839 (1993).
- 2.48. B. Šoptrajanov, M. Trajkovska, G. Jovanovski, T. Stafilov, „Infrared spectra of lorandite and some other minerals from Allechar“, *N. Jb. Miner. Abh.*, **167**, 329 (1994).

3. Трудови печатени во научни списанија издавани во йоранеина Јуџословија,
надвор од Македонија

- 3.1. B. Šoptrajanov, „Thermodynamic functions of thiadiazoles“, *Croat. Chem. Acta*, **39**, 29 (1967).
- 3.2. B. Šoptrajanov, „Thermodynamic functions of thiazole and *iso*-thiazole“, *Croat. Chem. Acta*, **39**, 229 (1967).
- 3.3. I. N. Petrov, B. T. Šoptrajanov, „Influence of solvents on the absorption spectra of hydroxyanthraquinones“, *Glasnik Hem. Društva Beograd*, **32**, 389 (1967).
- 3.4. B. Šoptrajanov, I. Petrov, „On the structure and symmetry of the phosphate ions in some calcium phosphates“, *Croat. Chem. Acta*, **39**, 37 (1967).
- 3.5. B. Šoptrajanov, I. Petrov, „The infrared spectra of some metal(II) ammonium phosphates“, *Bull. Sci. Conseil Acad. RSF Yougoslavie, Sect. A – Zagreb*, **12**, 242 (1967).
- 3.6. B. Šoptrajanov, „Thermodynamic functions of oxazole and isoxazole“, *Croat. Chem. Acta*, **40**, 79 (1968).
- 3.7. B. Šoptrajanov, „Thermodynamic functions of furan and deuterated furans“, *Croat. Chem. Acta*, **40**, 241 (1968).

- 3.8. K. Stojanova, I. Petrov, B. Šoptrajanov, „Infrared study of 120 urinary calculi taken out from patients in Macedonia (Yugoslavia)“, *Jugoslav. Physiol. Pharmacol. Acta*, **5**, 137 (1969).
- 3.9. B. Šoptrajanov, „Thermodynamic functions of 1,2,4-oxadiazole. Comparison with related molecules“, *Croat. Chem. Acta*, **41**, 223 (1969).
- 3.10. A. Nikolovski, V. Gučeva, I. Petrov, B. Šoptrajanov, „Preparation of some tris(dibenzoylmethanato) complexes by ligand-substitution reaction“, *Bull. Sci. Conseil Acad. RSF Yougoslavie, Sect. A – Zagreb*, **16**, 337 (1971).
- 3.11. M. Penavić, B. Kamenar, L. Šoptrajanova, G. Jovanovski, B. Šoptrajanov, „Preparation, crystal structure and infrared spectra of *cis*-[Pd(NH₃)₂(CN)₂]“, *God. Jugosl. Cent. Kristalogr.*, **17**, S59 (1982).
- 3.12. L. Colombo, T. Cvitaš, Z. Meić, M. Pavlović, H. Vančik, D. Hadži, S. Detoni, S. Ristić, D.S. Pešić, I. Petrov, B. Šoptrajanov, „Spektroskopski rječnik“, *Kem. Ind.*, **31**, A1 (1982).
- 3.13. B. Šoptrajanov, „Naučne informacije kao faktor tehnološkog razvoja“, *Jugoslavanski center za teoriju in praksu samoupravljanja „Edvard Kardelj“*, *Sveske*, **16**, 199 (1984).
- 3.14. M. Trpkovska, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of Ni(bipy)₃SO₄·7H₂O and Ni(bipy)₃BeF₄·7H₂O“, *Vestn. Sloven. Kem. Društva*, **33 Suppl.**, 41 (1986).
- 3.15. M. Ristova, B. Šoptrajanov, „The water bending region in the spectra of the hydrates of some metal carboxylates“, *Vestn. Sloven. Kem. Društva*, **33 Suppl.**, 43 (1986).
- 3.16. B. Šoptrajanov, L. Šoptrajanova, „Infrared spectra of the hydrate of tetraamminepalladium(II) acetate“, *Vestn. Sloven. Kem. Društva*, **33 Suppl.**, 45 (1986).
- 3.17. L. Andreeva, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of partially deuterated analogues of some ammine complexes“, *Vestn. Sloven. Kem. Društva*, **33 Suppl.**, 47 (1986).
- 3.18. B. Šoptrajanov, A. Mirčeva, „Hydroxylammonium sulfate – infrared spectra and spectra-structure correlations“, *Vestn. Sloven. Kem. Društva*, **33 Suppl.**, 49 (1986).
- 3.19. M. Cakić, B. Šoptrajanov, „Priroda kompleksa magnezijuma i cinka sa 1,4,5,8-tetrahidroksiantrahinonom“, *Univerzitet u Nišu, Tehnološki fakultet u Leskovcu, Zbornik radova*, **5–6**, 221 (1987–88).
- 3.20. G. Ivanovski, V. Petruševski, B. Šoptrajanov, „A model for the HOH bending vibrations in some crystallohydrates“, *Fizika*, **21, Suppl. 1**, 202 (1989).
- 3.21. M. Cakić, B. Šoptrajanov, „Priroda hidrata i piridinskih adukata kompleksa kobalta i nikla sa 5-hidroksinaftahinonom“, *Hem. Ind. (Beograd)*, **44**, 125 (1990).
- 3.22. V. Stefov, B. Šoptrajanov, V. Petruševski, „Infrared study of water in Cs₃VCl₆·4H₂O and Rb₃VCl₆·4H₂O“, *Vestn. Sloven. Kem. Društva*, **37**, 181 (1990).

4. Трудови печатени во научни списанија од Македонија

- 4.1. I. Petrov, B. Šoptrajanov, „Study of calcium orthophosphates. A new method for the preparation of dicalcium phosphate dihydrate“, *God. 36. Prir.-mat. fak., Univ. Skopje, Mat., Fiz., Hem.*, **16**, 123 (1965).

- 4.2. И. Петров, Б. Шоптрајанов, N. Fuson, J.R. Lawson, „Испитување на калциум ортофосфати. II. Инфрацрвени спектри на $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и CaHPO_4 и на нивните деутерирани аналози“, *Год. Зб. Прир.-маиј. фак., Унив. Скопје, Маиј., Физ., Хем.*, **16**, 129 (1965).
- 4.3. И. Петров, Б. Шоптрајанов, „Испитување на калциум ортофосфати. III. Водородни врски кај некои калциумови ортофосфати“, *Год. Зб. Прир.-маиј. фак., Унив. Скопје, Маиј., Физ., Хем.*, **17-18**, 72 (1966-1967).
- 4.4. Б. Шоптрајанов, И. Петров, „Испитување на калциум ортофосфати. IV. Прилог кон познавањето на структурата на октакалциум фосфатот“, *Год. Зб. Прир.-маиј. фак., Унив. Скопје, Маиј., Физ., Хем.*, **17-18**, 83 (1966-1967).
- 4.5. К. Стојанова, И. Петров, Б. Шоптрајанов, „Примена на инфрацрвената спектроскопија за анализа на уринарните калкулуси“, *Макед. Мед. Преглед*, **24**, 71 (1969).
- 4.6. B. Šoptrajanov, I. Petrov, „Infrared spectra of the hydrates of nickel, cobalt, iron and zinc nitroprussides“, *Глас. Хем. Технол. Македонија*, **1**, 37 (1974).
- 4.7. B. Šoptrajanov, I. Petrov, A. Nikolovski, „Infrared spectra of the aluminum, galium and indium dibenzoylmethanates“, *Глас. Хем. Технол. Македонија*, **3**, 7 (1976).
- 4.8. И. Јанев, Б. Шоптрајанов, Л. Јовевска, Ј. Јанчулев, „Инфрацрвени спектри на 1,6-дифенил-1,3,4,6-хексантетрон и на неговиот делумно деутериран аналог“, *Глас. Хем. Технол. Македонија*, **3**, 25 (1976).
- 4.9. L. Šoptrajanova, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of some tetraamminepalladium(II) compounds“, *Год. Зб. Хем. Фак., Унив. Скопје*, **28**, 77 (1978).
- 4.10. M. Trpkovska, B. Šoptrajanov, L. Andreeva, „Infrared spectra of the monohydrates of tetraamminecopper(II) tetrafluoroberyllate and tetraamminecopper(II) sulfate“, *Глас. Хем. Технол. Македонија*, **7**, 147 (1989).
- 4.11. V. Stefov, B. Šoptrajanov, V. Petruševski, „Infrared investigation of the water molecules in *trans*- $\text{Cs}_2[\text{CrCl}_2(\text{H}_2\text{O})_4]\text{Cl}_3$ “, *Глас. Хем. Технол. Македонија*, **7**, 151 (1989).
- 4.12. G. Jovanovski, B. Šoptrajanov, B. Kamenar, „Spectra-structure correlations in some metal saccharinates“, *Глас. Хем. Технол. Македонија*, **8**, 47 (1990).
- 4.13. M. Ristova, B. Šoptrajanov, „Infrared study of the spectrum of water in magnesium malonate dihydrate and its partially deuterated analogues“, *Глас. Хем. Технол. Македонија*, **8**, 253 (1990).
- 4.14. M. Trpkovska, B. Šoptrajanov, „Vibrational study of two bipyridine complexes : diaqua(2,2'-bipyridine)copper(II) sulfate and diaqua(2,2'-bipyridine)nickel(II) sulfate“, *Глас. Хем. Технол. Македонија*, **8**, 263 (1990).
- 4.15. Б. Шоптрајанов, „Ви претставуваме книга: Quantities, units and symbols in physical chemistry“, *Глас. Хем. Технол. Македонија*, **9**, 97 (1990).
- 4.16. Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, „3. Величини, единици и симболи во хемијата“, *Глас. Хем. Технол. Македонија*, **11**, 73 (1992).
- 4.17. S. Tančeva, G. Jovanovski, B. Šoptrajanov, „Infrared spectrum of silver saccharinate: structural inferences“, *Глас. Хем. Технол. Македонија*, **12**, 11 (1993).

- 4.18. Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, „4. Величини, единици и симболи во хемијата“, *Глас. Хем. Технол. Македонија*, **12**, 51 (1993).
- 4.19. М. Трајковска, В. Шоптрајанов, Т. Стафилов, Г. Јовановски, „Determination of Iordanite and realgar in mineral mixtures by infrared spectroscopy“, *Geologica Macedonica*, **7**, 55 (1993).
- 4.20. Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, 5. „Величини, единици и симболи во хемијата“, *Глас. Хем. Технол. Македонија*, **13** (1), 47 (1994).
- 4.21. В. Шоптрајанов, „Studies of hydrogen-bonded systems: using models – advantages and limitations“, *Глас. Хем. Технол. Македонија*, Скопје, **13** (2), 23 (1994).

5. Трудови печатени во зборници на трудови

- 5.1. В. Петрушевски, Б. Шоптрајанов, Г. Јовановски, „Спектарот на водата кај некои сулфатни и селенатни стипси“, во: *7. Jugoslovensko savetovanje „Opšta i primenjena spektroskopija“*, *Zbornik*, Beograd, 1980, стр. 105.
- 5.2. А. Мирчева, Б. Шоптрајанов, „Испитување, со помош на инфрацрвена спектроскопија, на смолата Amberlite XE-243 и на продуктот добиен со фиксирање на бор врз неа“, во: *7. Jugoslovensko savetovanje „Opšta i primenjena spektroskopija“*, *Zbornik*, Beograd, 1980, стр. 112.
- 5.3. Б. Шоптрајанов, С. Ѓорѓевиќ, Г. Јовановски, „Вибрациони спектри на протонирани, делумно и целосно деутерирани монохидрати на метал(II) калиумови фосфати“, во: *7. Jugoslovensko savetovanje „Opšta i primenjena spektroskopija“*, *Zbornik*, Beograd, 1980, стр. 119.
- 5.4. Б. Шоптрајанов, М. Цакиќ, „Инфрацрвени спектри, на обична и на ниска температура, на хидратите на комплекси на магнезиум, кобалт и никел со 1-хидрокси- и 1,8-дихидроксиантрахионон“, во: *7. Jugoslovensko savetovanje „Opšta i primenjena spektroskopija“*, *Zbornik*, Beograd, 1980, стр. 126.
- 5.5. Г. Јовановски, А. Николовски, Б. Шоптрајанов, „Бипиридински адукти на сахаринатите на бакар, никел и кобалт : инфрацрвени спектри, екстракција и примена при спектрофотометриското определување на сахарин“, во: *7. Jugoslovensko savetovanje „Opšta i primenjena spektroskopija“*, *Zbornik*, Beograd, 1980, стр. 133.
- 5.6. Б. Шоптрајанов, „Примање, ползување и предавање на научни информации во хемијата и сродните дисциплини – можности и проблеми“, во: *Советување за ситејеној на организацијата и користењето на научните информации во СР Македонија*, *Зборник на трудови*, Републичка заедница на научните дејности, Реферален центар – Народна и универзитетска библиотека „Климент Охридски“ – Скопје, Скопје, 1982, стр. 107.
- 5.7. В. Шоптрајанов, „Информације, ljudi, organizovanost“, во: *Tehnologija, samoupravljanje i društveni razvoj*, „Globus“, Zagreb, 1986, стр. 328.
- 5.8. Б. Шоптрајанов, [„Образованието и неговиот општествен третман“], *Деветиот конгрес на Сојузот на комунистичките на Македонија /Статеографски белешки и усвоени документи/*, Скопје, 1986, стр. 595 (насловот не е даден во публикуваниот материјал).

- 5.9. А. Јаневски, Б. Шоптрајанов, М. Трпковска, „Инфрацрвени спектри на амониум никел тетрафлуороберилат хексахидрат и на неговите деутерирани аналози“, во: *X-то совешување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Трудови, Сојуз на хемичарите и технолозите на Македонија, Скопје, 1987, стр. 97.*
- 5.10. Б. Шоптрајанов, „Примена на микросметачи во образованието по хемија. VI. Микросметачите и тестирањето на знаењата“, во: *X-то совешување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Трудови, Сојуз на хемичарите и технолозите на Македонија, Скопје, 1987, стр. LI.*
- 5.11. Б. Шоптрајанов, „Примена на микросметачи во образованието по хемија. VII. Хемиски равенки – програм за сметачот ZX Spectrum“, во: *X-то совешување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Трудови, Сојуз на хемичарите и технолозите на Македонија, Скопје, 1987, стр. 409.*
- 5.12. Б. Шоптрајанов, „Примена на микросметачи во образованието по хемија. VIII. Висшина или не? – Тест по хемија“, во: *X-то совешување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Трудови, Сојуз на хемичарите и технолозите на Македонија, Скопје, 1987, стр. 412.*
- 5.13. В. Šoptrajanov, „Very low H–O–H bending frequencies in the infrared spectra of some crystallohydrates“, во: *XXVI Colloquium Spectroscopicum Internationale, Vol. V, Sofia, 1989, стр. 71.*
- 5.14. Б. Шоптрајанов, „Може ли креативноста да се учи? Каква е, притоа, улогата на учебникот?“, во: Е. Маказлиева (уредник), *Месиното и карактеристиките на учебникот во современи услови*, Просветно дело, Скопје, 1990, стр. 33.
- 5.15. Б. Шоптрајанов, „Каков учебник за природните науки?“, во: *Симпозиум Месиното и улогата на природно-математичките настани подрачја во образовниот процес во основното и средното образование на Република Македонија, Оџешев, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Природно-математички факултет, Скопје, 1994, стр. 118.*

6. Учебни помагала

- 6.1. Б. Шоптрајанов, „Предавања по физичка хемија за студентите од Рударско-геолошкиот факултет“, Рударско-геолошки факултет, Штип, 1979 (скрипта).
- 6.2. Б. Шоптрајанов, „Предавања по физичка хемија за студентите од Рударско-геолошкиот факултет (II дел)“, Рударско-геолошки факултет, Штип, 1980 (скрипта).
- 6.3. Б. Шоптрајанов, „Општа хемија за I година“, Просветно дело, Скопје, 1989.
- 6.4. Б. Шоптрајанов, „Хемија за I година“, Просветно дело, Скопје, 1990 (второ, поправено, издание на учебникот „Општа хемија за I година“).
- 6.5. Б. Шоптрајанов, „Хемија (неорганска хемија) за I година“, Просветно дело, Скопје, 1991.
- 6.6. Б. Шоптрајанов, „Хемија за III година (неорганска хемија)“, Просветно дело, Скопје, 1991.

- 6.7. Б. Шоптрајанов, „Прашања и задачи по хемија за III година (со одговори)“, Просветно дело, Скопје, 1991.
- 6.8. Б. Шоптрајанов, „Хемија за I година на гимназиско образование“, Просветно дело, Скопје, 1992.
- 6.9. В. Shoptrajanov, „Kimia për vitin III“, Prosvetno Dello, Skopje, 1992 (превод на албански на учебникот наведен под број 6.6).
- 6.10. Б. Шоптрајанов, „Прашања и задачи по хемија за I година гимназиско образование“, Просветно дело, Скопје, 1993.
- 6.11. Б. Шоптрајанов, Б. Подолешов, К. Стојановски, И. Спиревска, Л. Шоптрајанова, „Хемија за IV година на гимназиско образование“, Просветно дело, Скопје, 1993.
- 6.12. Б. Шоптрајанов, „Хемија за I година“, прв дел, Скопје, Просветно дело, 1994.
- 6.13. Б. Шоптрајанов, „Хемија за I година“, втор дел, Скопје, Просветно дело, 1994.

*7. Трудови презентирани на интернационални научни собири
и научни собири во странство*

- 7.1. A. Nikolovski, L. Klisareva, B. Šoptrajanov, „Synergic effects in the solvent extraction of Ni and Zn with potassium di(2-hydroxypropyl)ditiocarbamate“, *2nd International Symposium on Analytical Chemistry, Abstracts*, S-5, Ljubljana, 1972.
- 7.2. I. Petrov, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of calcium oxalate monohydrate and calcium oxalate monodeuterate“, *V National Conference on Spectroscopy with Foreigner Guests Participation, Abstracts*, p. 137, Varna, 1972.
- 7.3. B. Šoptrajanov, I. Petrov, „Infrared spectra of dihydrates of some transition metal pentacyanonitrosyl complexes“, *V National Conference on Spectroscopy with Foreigner Guests Participation, Abstracts*, p. 139, Varna, 1972.
- 7.4. A. Nikolovski, B. Šoptrajanov, I. Petrov, „Infrared spectra of the dibenzoylmethanates of dioxomolybdenum(VI) and dioxotungsten(VI)“, *V National Conference on Spectroscopy with Foreigner Guests Participation, Abstracts*, p. 140, Varna, 1972.
- 7.5. B. Šoptrajanov, S. Djordjević, I. Petrov, „Infrared spectra of metal(II) potassium phosphates monohydrates“, *VII National Conference on Spectroscopy with International Participation, Abstracts*, H-4, Slantchev Bryag, 1976.
- 7.6. B. Šoptrajanov, V. Petruševski, K. Stojanoski, G. Jovanovski, „Vibrational spectra of crystallohydrates containing water which forms hydrogen bonds with $R_{O \dots O} \approx 2.6 \text{ \AA}$ “, *Horizons in Hydrogen Bond Research, 3rd Workshop on Dynamics of Hydrogen Bonds in Solids and Liquids, [Abstracts]*, Ankaran, 1979.
- 7.7. B. Šoptrajanov, V. Petruševski P. Netkov, „Vibrational spectra of the hydrates of calcium and strontium monofluorophosphates“, *International Conference on Phosphorus Chemistry, Abstracts of Papers*, 257, Halle (Saale), 1979.

- 7.8. B. Šoptrajanov, V. Petruševski, M. Ristova, M. Trpkovska, „Multiple bands in the HOH, HOD and DOD bending region in the infrared spectra of some crystallohydrates“, *Horizons in Hydrogen Bond Research, Poster Abstracts*, Sânga-Säby, Sweden, 1980.
- 7.9. B. Šoptrajanov, V. Petruševski. „Second-order transitions in the infrared spectra of some crystallohydrates“, *Horizons in Hydrogen Bond Research, Poster Abstracts*, Montpellier, France, 1981.
- 7.10. V. Petruševski, B. Šoptrajanov, M. Trpkovska, „Hydrogen bonding in the hydrates of some isomorphous pairs of sulfate-selenate salts“, *Horizons in Hydrogen Bond Research, Poster Abstracts*, Montpellier, France, 1981.
- 7.11. V. Petruševski, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of the hidyrates of calcium selenate and yttrium phosphate – comparison with the spectrum of gypsum“, *16th European Congress on Molecular Spectroscopy, Abstracts of Papers*, Th P 87, p. 294, Sofia, 1983.
- 7.12. M. Ristova, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of protiated and deuterated cobalt acetate dihydrate“, *16th European Congress on Molecular Spectroscopy, Abstracts of Papers*, Th P 91, p. 296, Sofia, 1983.
- 7.13. B. Šoptrajanov, M. Ristova, „Water-anion vibrational coupling in some crystallohydrates“, *16th European Congress on Molecular Spectroscopy, Abstracts of Papers*, Th P 96, p. 298, Sofia, 1983.
- 7.14. K. Стојаноски, Б. Шоптрајанов, С. Трневска, „Инфрацрвени спектри на бакар(II) DL-аланинат монохидрат и на некои од неговите деутероанализи“ (изнесено на македонски јазик: изводот отпечатен како К. Стојаноски, Б. Шоптрајанов, Сл. Трневска, „Инфрацрвени спектри на мед(II) DL-аланинат монохидрат и на некои од неговите деутероанализи“), *XIII национален преглед на ТНТМ, Софиски универзитет „Климент Охридски“, Хемиски факултет, Програма на научниот сесия на студентите и младите научни работници*, стр. 16, Софија, 1984.
- 7.15. V. Stefov, B. Šoptrajanov, V. Petruševski, M. Trpkovska, „The HOH bending region in the infrared spectra of $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ and $CrCl_3 \cdot 6H_2O$ “, *Tudományos Diákkörök, XVII Országos Konferenciája, Kémia-vegyszer Szekció*, p. 18, Budapest, 1985.
- 7.16. L. Šoptrajanova, B. Šoptrajanov, G. Jovanovski, „Infrared spectra of $[Pd(CN)_2(NH_3)_2]^{+}$ “, *XVII European Congress on Molecular Spectroscopy, Abstracts*, P-22, Madrid, 1985.
- 7.17. V. Petruševski, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of $Li_2SeO_4 \cdot H_2O$, $Li_2SO_4 \cdot H_2O$ and $Li_2(S,Se)O_4 \cdot H_2O$ “, *XVII European Congress on Molecular Spectroscopy, Abstracts*, P-23, Madrid, 1985.
- 7.18. M. Ristova, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of strontium formate dihydrate and of its deuterated analogues“, *XVII European Congress on Molecular Spectroscopy, Abstracts*, P-27, Madrid, 1985.
- 7.19. G. Jovanovski, B. Šoptrajanov, „Spectra-structure correlations in the isomorphous series of metal(II) saccharinates hexahydrates“, *XVII European Congress on Molecular Spectroscopy, Abstracts*, P-235, Madrid, 1985.

- 7.20. B. Šoptrajanov, S. Djordjević, „Monohydrates of cobalt and manganese hydrogenarsenates – a pair of non-isomorphous compounds with similar infrared spectra“, *XVII European Congress on Molecular Spectroscopy, Abstracts*, P-236, Madrid, 1985.
- 7.21. B. Šoptrajanov, A. Eriksson, A. Mirčeva, „Normal-coordinate analysis of hydroxylammonium sulfate“, *31st International Congress of Pure and Applied Chemistry, Posters*, 1, 5. 137, Sofia, 1987.
- 7.22. G. Jovanovski, B. Šoptrajanov, „Bonding of the carbonyl group in metal saccharinates : correlation with the infrared spectra“, *XVIIIth European Congress on Molecular Spectroscopy, Abstracts*, P-87, Amsterdam, 1987.
- 7.23. L. Šoptrajanova, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of *triangulo*-hexa- μ -acetato tripalladium(II) hemihydrate and of the diethylamine adduct of palladium(II) acetate“, *XVIIIth European Congress on Molecular Spectroscopy, Abstracts*, P-88, Amsterdam, 1987.
- 7.24. V. Petruševski, B. Šoptrajanov, „Description of molecular distortions : II. Intensities of the symmetric stretching bands of tetrahedral molecules“, *XVIIIth European Congress on Molecular Spectroscopy, Abstracts*, P-220, Amsterdam, 1987.
- 7.25. A. Kasab, I. Petrov, V. Petruševski, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of KHSeO_4 and KHSO_4 “, *VIII-th Workshop Horizons in Hydrogen Bond Research, Abstracts*, B17, p. 106, Polanica Zdroj near Wroclaw, 1987.
- 7.26. M. Ristova, K. Stojanoski, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of *p*-toluenesulfonic acid monohydrate“, *XXVI Colloquium Spectroscopicum Internationale, Abstracts*, Vol. II, P-36, Sofia, 1989.
- 7.27. B. Šoptrajanov, I. Spirevska, L. Šoptrajanova, „Infrared spectra of the crystallohydrates of nickel and zinc fumarates“, *XXVI Colloquium Spectroscopicum Internationale, Abstracts*, Vol. II, P-43, Sofia, 1989.
- 7.28. M. Trpkovska, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of the monohydrates of copper selenate and copper sulfate“, *XXVI Colloquium Spectroscopicum Internationale, Abstracts*, Vol. II, P-51, Sofia, 1989.
- 7.29. B. Šoptrajanov, „Very low H–O–H bending frequencies in the infrared spectra of some crystallohydrates“ (секциско предавање на XXVI меѓународен колоквиум по спектроскопија), во *XXVI Colloquium Spectroscopicum Internationale*, Vol. V, Sofia, 1989, стр. 71.
- 7.30. G. Jovanovski, O. Grupče, B. Šoptrajanov, „The O–H and O–D stretching vibrations in the hydrates of sodium and potassium saccharinate : spectra–structure correlations“, *XIXth European Congress on Molecular Spectroscopy, Abstracts of Lectures and Poster Contributions*, P 191, Dresden, 1989.
- 7.31. V. Petruševski, B. Šoptrajanov, „Vibrational spectra of hexaaqua complexes : assignments of water vibrational bands in the spectra of some alums“, *XIXth European Congress on Molecular Spectroscopy, Abstracts of Lectures and Poster Contributions*, P 289, Dresden, 1989.
- 7.32. B. Šoptrajanov, „Rigidly structured curricula – obstacle to student mobility“, *University Today*, Dubrovnik, 1990.

- 7.33. M. Trajkovska, G. Jovanovski, T. Stafilov, B. Šoptrajanov, „Vibrational spectra of some minerals from Alšar“, *Thallium Neutrino Detection 1990, International Symposium on Solar Neutrino Detection, Programme and Abstract Book*, p. 48, Dubrovnik, 1990.
- 7.34. V. Stefov, V.M. Petruševski, B. Šoptrajanov, „Vibrational spectra of hexaaqua complexes. III. Internal and external motions of the water molecules in the spectra of $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$ “, *XXI. European Congress on Molecular Spectroscopy, EUCMOS XXI, Abstracts*, E 85, Vienna, 1992.
- 7.35. B. Šoptrajanov, V.M. Petruševski, „Vibrational spectra of hexaaqua complexes : IV. Multiple bands in the HOH bending region of some alums“, *XXI. European Congress on Molecular Spectroscopy, EUCMOS XXI, Abstracts*, E 86, Vienna, 1992.
- 7.36. B. Šoptrajanov, V. Stefov, M. Ivanovska, „Infrared spectra of rubidium diaquatetra-chloronickelate“, *XXI. European Congress on Molecular Spectroscopy, EUCMOS XXI, Abstracts*, E 87, Vienna, 1992.
- 7.37. M. Trpkovska, B. Šoptrajanov, „The monohydrates of copper(II) sulfate and copper(II) selenate : centrosymmetric or non-centrosymmetric?“, *XXI. European Congress on Molecular Spectroscopy, EUCMOS XXI, Abstracts*, E 88, Vienna, 1992.
- 7.38. O. Grupče, G. Jovanovski, B. Šoptrajanov, „The N–H, N–D and C=S stretching regions in the infrared spectrum of thiosaccharin : comparison with the spectrum of saccharin“, *XXI. European Congress on Molecular Spectroscopy, EUCMOS XXI, Abstracts*, E 89, Vienna, 1992.
- 7.39. M. Ristova, B. Šoptrajanov, K. Stojanoski, „Infrared spectra of hexaaqua copper(II) 4-methylbenzenesulfonate and of its partially deuterated analogues : comparison with the spectra of the corresponding cobalt compound“, *XXI. European Congress on Molecular Spectroscopy, EUCMOS XXI, Abstracts*, E 90, Vienna, 1992.
- 7.40. L. Šoptrajanova, M. Popova, B. Šoptrajanov, „The infrared spectrum of a zero-valent palladium complex with ethylenediamine“, *XXI. European Congress on Molecular Spectroscopy, EUCMOS XXI, Abstracts*, E 91, Vienna, 1992.
- 7.41. K. Stojanoski, B. Šoptrajanov, A. Eriksson, „Infrared spectrum of diaquabis(glycinato-*O,N*)nickel(II)“, *XXI. European Congress on Molecular Spectroscopy, EUCMOS XXI, Abstracts*, E 92, Vienna, 1992.
- 7.42. B. Šoptrajanov, M. Trajkovska, I. Gržetić, G. Jovanovski, T. Stafilov, „Infrared spectra of $\text{M}^{\text{I}}_3\text{M}^{\text{III}}\text{S}_3$ type synthetic minerals ($\text{M}^{\text{I}} = \text{Tl}$ or Ag , $\text{M}^{\text{III}} = \text{As}$ or Sb)“, *International Conference on Solar Neutrino Detection With Thallium Minerals, Programme and Abstract Book*, p. 20, Skopje, 1993.
- 7.43. M. Trajkovska, B. Šoptrajanov, T. Stafilov, G. Jovanovski, „Determination of lorandite and realgar in mineral mixtures by infrared spectroscopy“, *International Conference on Solar Neutrino Detection With Thallium Minerals, Programme and Abstract Book*, p. 21, Skopje, 1993.
- 7.44. L. Šoptrajanova, B. Šoptrajanov, „Using Science Citation Index – A CAL lesson for university students“, *Proceedings of 34th IUPAC Congress*, T-7001, Beijing, China, 1993.
- 7.45. B. Šoptrajanov, „Extent of reaction – A CAL lesson for high-school students“, *Proceedings of 34th IUPAC Congress*, T-7002, Beijing, China, 1993.

8. Трудови презентирани на олимпискојугословенски научни манифестации или на собири во поранешна Југославија, но надвор од Македонија

- 8.1. Б. Шоптрајанов, П. Корнети, С. Ѓорѓевиќ, И. Петров, „Инфрацрвени спектри на хексахидрати на метал(II) амониум и метал(II) калиум фосфати и арсенати“, *3. Jugoslavanski kongres za čisto in uporabno kemijo. Izvlečki referatov*, I-27, Ljubljana, 1972.
- 8.2. И. Петров, Б. Шоптрајанов, А. Митревски, „Инфрацрвен спектар на $\text{CaHAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ “, *3. Jugoslavanski kongres za čisto in uporabno kemijo. Izvlečki referatov*, I-28, Ljubljana, 1972.
- 8.3. Б. Шоптрајанов, С. Трајковска, И. Петров, „Изучување, со помош на инфрацрвена спектроскопија, на спектарот на водата кај некои соединенија од типот $\text{MSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ “, *3. Jugoslavanski kongres za čisto in uporabno kemijo. Izvlečki referatov*, I-29, Ljubljana, 1972.
- 8.4. Б. Шоптрајанов, П. Корнети, И. Петров, „Инфрацрвени спектри на монохидратите на метал(II) калиум и метал(II) амониум фосфати“, *3. Jugoslavanski kongres za čisto in uporabno kemijo. Izvlečki referatov*, I-30, Ljubljana, 1972.
- 8.5. Б. Шоптрајанов, М. Костова, Л. Пројчева, „Изучување на инфрацрвените спектри на некои соединенија што содржат комплексен катјон и комплексен анјон“, *3. Jugoslavanski kongres za čisto in uporabno kemijo. Izvlečki referatov*, I-31, Ljubljana, 1972.
- 8.6. Б. Шоптрајанов, Г. Јовановски, М. Костова, А. Мирчева, И. Речи, И. Петров, „Инфрацрвени спектри на комплекси на хинолиноот со двовалентни преодни метали“, *3. Jugoslavanski kongres za čisto in uporabno kemijo. Izvlečki referatov*, I-32, Ljubljana, 1972.
- 8.7. И. Петров, Б. Шоптрајанов, Ј. Попицев, „Инфрацрвени спектри на дихидратите на метал(II) (Mn, Fe, Co, Ni) хлориди“, *3. Jugoslavanski kongres za čisto in uporabno kemijo. Izvlečki referatov*, I-33, Ljubljana, 1972.
- 8.8. Б. Шоптрајанов, А. Николовски, М. Костова, И. Петров, „Инфрацрвени спектри на диоксобиридиин комплекси на металите од подгрупата на хромот“, *3. Jugoslavanski kongres za čisto in uporabno kemijo. Izvlečki referatov*, I-34, Ljubljana, 1972.
- 8.9. Б. Шоптрајанов, В. Калајлиева, А. Николовски, „Приготвување и инфрацрвени спектри на мешовити комплекси на двовалентни метали со ацетилацетон и хинолин“, *3. Jugoslavanski kongres za čisto in uporabno kemijo. Izvlečki referatov*, V-15, Ljubljana, 1972.
- 8.10. Б. Шоптрајанов, Л. Пројчева, М. Костова, „Приготвување на некои соединенија што содржат комплексен катјон и комплексен анјон“, *3. Jugoslavanski kongres za čisto in uporabno kemijo. Izvlečki referatov*, V-15, Ljubljana, 1972.
- 8.11. И. Јанев, Б. Шоптрајанов, Л. Јовевска, Ј. Јанчулев, „Инфрацрвени спектри на 1,6-дифенил-1,3,4,6-хексантетрон и на неговиот делумно деутериран аналог“, *Петиото југословенско советување „Применетиот синтетички просек“*, Синојсиси на рефератите, Глас. Хем. Технол. Македонија, 1, С56 (1974).

- 8.12. Л. Пројчева, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на некои пентацијаноаминоферати“, *Пејшто југословенско советување „Применета електрохемија“*, Синоисиси на рефератите, Глас. Хем. Технол. Македонија, **1**, С57 (1974).
- 8.13. Б. Шоптрајанов, „Област на цијанидните валентни вибрации кај некои комплексни цијаниди“, *Пејшто југословенско советување „Применета електрохемија“*, Синоисиси на рефератите, Глас. Хем. Технол. Македонија, **1**, С58 (1974).
- 8.14. Л. Шоптрајанова, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на паладиум(II) ацетат и на некои негови деривати“, *II југословенски конгрес за индустриска хемија*, Синоисиси, II-47, Скопје, 1976.
- 8.15. Б. Шоптрајанов, К. Стојаноски, Д. Павлеска, „Инфрацрвени спектри на уранил(VI) ацетат дихидрат“, *II југословенски конгрес за индустриска хемија*, Синоисиси, II-49, Скопје, 1976.
- 8.16. Б. Шоптрајанов, С. Ѓорѓевиќ, „Инфрацрвени и рамански спектри на некои хексаимидазолни комплекси на кобалт, никел и кадмиум“, *II југословенски конгрес за индустриска хемија*, Синоисиси, II-50, Скопје, 1976.
- 8.17. Б. Шоптрајанов, Г. Јовановски, „Рамански и инфрацрвени спектри на калај(II) ортофосфат, SnHPO_4 “, *II југословенски конгрес за индустриска хемија*, Синоисиси, II-51, Скопје, 1976.
- 8.18. Б. Шоптрајанов, Г. Јовановски, К. Стојаноски, „Инфрацрвени спектри на хидрати со кути $\text{O}-\text{H}\cdots\text{O}$ растојанија“, *6. Jugoslovansko posvetovanje iz splošne in uporabne spektroskopije, Povzetki*, IR 7, Bled, 1976.
- 8.19. Л. Шоптрајанова, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на некои тетраминпаладиум(II) соединенија“, *6. Jugoslovansko posvetovanje iz splošne in uporabne spektroskopije, Povzetki*, IR 12, Bled, 1976.
- 8.20. М. Цакиќ, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на метал(II) комплекси на некои хидроксо- и дихидроксоантрахинони“, *6. Jugoslovansko posvetovanje iz splošne in uporabne spektroskopije, Povzetki*, IR 18, Bled, 1976.
- 8.21. Б. Шукарова, С. Јаневска, Б. Шоптрајанов, И. Петров, „Вибрациони спектри на некои калциумови ортофосфати“, *6. Jugoslovansko posvetovanje iz splošne in uporabne spektroskopije, Povzetki*, IR 19, Bled, 1976.
- 8.22. Б. Миљковиќ, М. Цакиќ, Б. Шоптрајанов, „Синтеза и испитување на инфрацрвени спектри на метал(II) комплекси на 1,8-дихидроксиантрахинон“, *V jugoslovanski sastanak studenata čiste i primenjene hemije sa medjunarodnim učešćem, Izvodi radova*, 57, Novi Sad, 1976.
- 8.23. В. Петрушевски, Б. Шоптрајанов, Г. Јовановски, Б. Шукарова, „Рамански и инфрацрвени спектри на соединенија од типот $\text{MM}'(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ “, *VI jugoslovanski sastanak studenata čiste i primenjene hemije sa medjunarodnim učešćem, Izvodi radova*, 5, Novi Sad, 1977.
- 8.24. В. Петрушевски, Б. Шоптрајанов, Г. Јовановски, „Спектарот на водата кај некои сулфатни и селенатни стипси“, *7. jugoslovansko savetovanje „Opšta i primenjena spektroskopija“*, *Izvodi*, 4.14., Niš, 1978.

- 8.25. А. Мирчева, Б. Шоптрајанов, „Испитување, со помош на инфрацрвена спектроскопија, на смолата Amberlite XE-243 и на продуктот добиен со фиксирање на бор врз неа“, *7. jugoslovensko savetovanje „Opšta i primenjena spektroskopija“*, *Izvodi*, 4.15., Niš, 1978.
- 8.26. Б. Шоптрајанов, С. Ѓорѓевиќ, Г. Јовановски, „Вибрациони спектри на протонирани, делумно и целосно деутерирани монохидрати на метал(II) калиумови фосфати“, *7. jugoslovensko savetovanje „Opšta i primenjena spektroskopija“*, *Izvodi*, 4.16., Niš, 1978.
- 8.27. Б. Шоптрајанов, М. Цакиќ, „Инфрацрвени спектри на обична и на ниска температура, на хидратите на комплекси на магнезиум, кобалт и никел со 1-хидрокси- и 1.8-дихидроксиантрахинон“, *7. jugoslovensko savetovanje „Opšta i primenjena spektroskopija“*, *Izvodi*, 4.17., Niš, 1978.
- 8.28. Г. Јовановски, А. Николовски, Б. Шоптрајанов, „Бипиридински адукти на сахаринатите на бакар, никел и кобалт : инфрацрвени спектри, екстракција и спектрофотометриско определување на сахарин“, *7. jugoslovensko savetovanje „Opšta i primenjena spektroskopija“*, *Izvodi*, 4.18., Niš, 1978.
- 8.29. А. Николовски, Л. Клисарева, Б. Шоптрајанов, „Екстракција и спектрофотометриско определување на ниобиум со калиум *N,N*-бис(2-хидроксипропил)дитиокарбамат и инфрацрвени спектри на изолираните од екстрактот соединенија“, *7. jugoslovensko savetovanje „Opšta i primenjena spektroskopija“*, *Izvodi*, 4.19., Niš, 1978.
- 8.30. Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на кристалохидрати“ (пленарно предавање на Седмото југословенско советување „Општа и применена спектроскопија“). *7. jugoslovensko savetovanje „Opšta i primenjena spektroskopija“*, *Izvodi*, 4.20-P., Niš, 1978.
- 8.31. В. Петрушевски, П. Нетков, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени и рамански спектри на некои флуорофосфати“, *VII jugoslovenski sastanak studenata čiste i primenjene hemije sa medjunarodnim učešćem*, *Izvodi radova*, V-1, Novi Sad, 1978.
- 8.32. М. Ристова, Б. Шоптрајанов, И. Петров, „Рамански и инфрацрвени спектри на некои метални ацетати“, *Jugoslovenski kongres za hemiju i hemijsku tehnologiju*, *Sinopsisi*, 1-17, Sarajevo, 1979.
- 8.33. К. Стојаноски, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на $\text{Na}_2(\text{NH}_4)_2\text{UO}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ “, *Jugoslovenski kongres za hemiju i hemijsku tehnologiju*, *Sinopsisi*, 1-18, Sarajevo, 1979.
- 8.34. Б. Шоптрајанов, В. Петрушевски, К. Стојаноски, Г. Јовановски, „ОН валентна и НОН деформационна област во спектрите на кристалохидрати со силни водородни врски“, *Jugoslovenski kongres za hemiju i hemijsku tehnologiju*, *Sinopsisi*, 1-20, Sarajevo, 1979.
- 8.35. М. Трпковска, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени и рамански спектри на соединенија од типот $\text{M}(\text{pySO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ “, *Jugoslovenski kongres za hemiju i hemijsku tehnologiju*, *Sinopsisi*, 1-21, Sarajevo, 1979.
- 8.36. Љ. Ивановска, Л. Лешоска, Б. Шоптрајанов, В. Петрушевски, „Област на деформационите НОН вибрации во спектрите на некои сулфати и селенати“, *LX jugoslovenski sastanak studenata čiste i primenjene hemije sa medjunarodnim učešćem*, *Izvodi radova sa programom*, str. 12, Novi Sad, 1980.

- 8.37. Л. Лешоска, В. Петрушевски, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени и рамански спектри на некои сулфатни и селенатни Тутонови соли“, *IX jugoslovenski sastanak studenata čiste i primenjene hemije sa međunarodnim učešćem, Izvodi radova sa programom*, str. 20, Novi Sad, 1980.
- 8.38. Б. Шоптрајанов, „Добивање структурни информации за кристалохидрати со методите на вибрационата спектроскопија“ (пленарно предавање на XVI конференција на Југословенскиот центар за кристалографија, Скопје-Кавадарци, 1981); проширен извод објавен, под наслов „Derivation of structural information about crystallohydrates by the methods of vibrational spectroscopy“, во: *God. Jugosl. Cent. Kristalogr.*, **16**, 52 (1981).
- 8.39. И. Н. Јанев, М. Јанчевска-Николовска, Б. Шоптрајанов, „Синтеза и инфрацрвени спектри на 1.6-ди(*n*-пропил)-1,3,4,6-хексантетрон“, *VII sastanak kemičara Hrvatske i II jugoslovenski simpozij o organskoj kemiji, Sinopsisi radova*, str. 331, Zagreb, 1981.
- 8.40. К. Стојаноски, Б. Шоптрајанов, „Вибрациони модови на координирана вода – моделни пресметувања“, *III jugoslovenski simpozijum analitičke hemije, Izvodi radova s programom*, III-29, Novi Sad, 1982.
- 8.41. В. Петрушевски, Б. Шоптрајанов, „Вибрациони спектри на алуминиум хлорид хексахидрат“, *III jugoslovenski simpozijum analitičke hemije, Izvodi radova s programom*, III-30, Novi Sad, 1982.
- 8.42. С. Ѓорѓевиќ, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на кобалт хидрогенарсенат монохидрат и на неговиот манганов аналог“, *III jugoslovenski simpozijum analitičke hemije, Izvodi radova s programom*, III-31, Novi Sad, 1982.
- 8.43. Л. Андреева, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри и термичка анализа на некои хексаамминокобалт пентацијанонитрозилметалати“, *III jugoslovenski simpozijum analitičke hemije, Izvodi radova s programom*, III-32, Novi Sad, 1982.
- 8.44. М. Ристова, Б. Шоптрајанов, К. Стојаноски, „Област на симетричните СОО вибрации во вибрационите спектри на некои формати и деутероформати“, *III jugoslovenski simpozijum analitičke hemije, Izvodi radova s programom*, III-33, Novi Sad, 1982.
- 8.45. М. Трпковска, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на дихидратите на метални селенатни комплекси на бипиридин“, *III jugoslovenski simpozijum analitičke hemije, Izvodi radova s programom*, III-34, Novi Sad, 1982.
- 8.46. Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, „Изучување, со методите на инфрацрвената спектроскопија и рендгенската дифракција, на изоморфизмот кај хидратите на сахаринатите на некои двовалентни метали“, *III jugoslovenski simpozijum analitičke hemije, Izvodi radova s programom*, III-35, Novi Sad, 1982.
- 8.47. В. Šoptrajanov, V. Petruševski, „Libracii na voda nad 1100 cm^{-1} “, *VIII jugoslovensko savjetovanje o općoj i primijenjenoj spektroskopiji, Sinopsisi radova*, str. 74, Zagreb, 1983.
- 8.48. L. Andreeva, B. Šoptrajanov, K. Stojanoski, „Oblast na valentnite ND vibracii vo spektrite na parcijalno deuterirani $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6][\text{Cr}(\text{CN})_5\text{NO}]$ i $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6][\text{Mn}(\text{CN})_5\text{NO}]$ “, *VIII jugoslovensko savjetovanje o općoj i primijenjenoj spektroskopiji, Sinopsisi radova*, str. 75, Zagreb, 1983.

- 8.49. G. Jovanovski, B. Šoptrajanov, „Podračje na valentnite C=O vibracii i načinit na svrzuvanje kaj neкои saharinati“, *VIII jugoslavensko savjetovanje o općoj i primijenjenoj spektroskopiji, Sinopsisi radova*, str. 76, Zagreb, 1983.
- 8.50. A. Mirčeva, B. Šoptrajanov, „Infracrveni spektri na kalium borodimalat monohidrat“, *VIII jugoslavensko savjetovanje o općoj i primijenjenoj spektroskopiji, Sinopsisi radova*, str. 77, Zagreb, 1983.
- 8.51. M. Trpkovska, B. Šoptrajanov, „Спектар–структурни корелации кај $[\text{Ni}(\text{biq})\text{Cl}_2]_2$ и $\text{Ni}(\text{biq})\text{Br}_2$ “, *VII jugoslavenski kongres za hemiju i hemijsku tehnologiju, Izvodi radova*, I-10, Novi Sad, 1983.
- 8.52. O. Групче, B. Шоптрајанов, Г. Јовановски, „Испитување, со помош на инфрацрвена спектроскопија, на хидратите на калиум сахаринат и калиум тиосахаринат“, *VII jugoslavenski kongres za hemiju i hemijsku tehnologiju, Izvodi radova*, I-12, Novi Sad, 1983.
- 8.53. Г. Јовановски, Б. Каменар, Д. Грдениќ, Б. Шоптрајанов, „Влијание на начинот на сврзување кај металните сахаринати врз геометријата на петочлениот прстен од сахаринатните лиганди“, *VII jugoslavenski kongres za hemiju i hemijsku tehnologiju, Izvodi radova*, I-13, Novi Sad, 1983.
- 8.54. М. Сакіќ, В. Шоптрајанов, „Preparacija i infracrveni spektri piridinskih adukta kompleksa nikla i kobalta sa 1-hidroksi- i 1,8-dihidroksiantrahinonom“, *VII jugoslavenski kongres za hemiju i hemijsku tehnologiju, Izvodi radova*, I-28, Novi Sad, 1983.
- 8.55. М. Сакіќ В. Шоптрајанов, „Infracrveni spektri, na običnoj i niskoj temperaturi, hidrata kompleksa kobalta i nikla sa 5-hidroksinaftahinonom“, *VII jugoslavenski kongres za hemiju i hemijsku tehnologiju, Izvodi radova*, I-29, Novi Sad, 1983.
- 8.56. Л. Андреева, Б. Шоптрајанов, „Спектроскопски и термички испитувања на комплекси од типот $[\text{M}(\text{en})_3][\text{M}'(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot x\text{H}_2\text{O}$ “, *VII jugoslavenski kongres za hemiju i hemijsku tehnologiju, Izvodi radova*, III-27, Novi Sad, 1983.
- 8.57. В. Петрушевски, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на тетрааквадихлорохром(III) хлорид дихидрат“, *VII jugoslavenski kongres za hemiju i hemijsku tehnologiju, Izvodi radova*, III-29, Novi Sad, 1983.
- 8.58. М. Ристова, Б. Шоптрајанов, „Либрациони модови на водата кај манган формат дихидрат“, *VII jugoslavenski kongres za hemiju i hemijsku tehnologiju, Izvodi radova*, III-31, Novi Sad, 1983.
- 8.59. С. Тренивска, К. Стојаноски, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на монохидратот на бакар(II) DL-аланинат и на некои и од неговите деутероанализи“, *Дванаесеттии југословенски конгрес на студентии по химии и применетија хемија со меѓународно учество, Изводи од соопшенијата*, стр. 28, Скопје, 1983.
- 8.60. В. Стојанов, Б. Шоптрајанов, В. Петрушевски, „Инфрацрвени спектри на соединенија од групата на струвитот“, *Дванаесеттии југословенски конгрес на студентии по химии и применетија хемија со меѓународно учество, Изводи од соопшенијата*, P-5, стр. 64, Скопје, 1983.

- 8.61. В. Стефов, Б. Шоптрајанов, В. Петрушевски, „Инфрацрвени спектри на хексахидратите на Cl_3 , LaCl_3 , AlCl_3 и VCl_3 “, *Дванаесеттии југословенски конгрес на студентите по чиста и применета хемија со меѓународно учество, Изводи од соопштенувањата*, Р-6, стр. 66, Скопје, 1983.
- 8.62. В. Стефов, Б. Шоптрајанов, В. Петрушевски, М. Трпковска, „Област на деформационите НОН вибрации во инфрацрвените спектри на $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ “, *XII jugoslovenski kongres studenata čiste i primenjene hemije sa međunarodnim učešćem, Izvodi radova sa programom*, стр. 20, Tuzla, 1984.
- 8.63. Л. Šoptrajanova, Л. Andreevska, В. Šoptrajanov, „Infracrveni spektri na neкои bi-kompleksi na paladium“, *IV jugoslavenski simpozij o analitičkoj kemiji, Sinopsisi radova*, стр. 129, Split, 1985.
- 8.64. В. Šoptrajanov, Л. Šoptrajanova, „Primena na mikrosmetačite vo obrazovaniето po hemija. V. Protolitometrija – primer za upotrebata na mikrosmetači vo programirano obrazovanie“, *IV jugoslavenski simpozij o analitičkoj kemiji, Sinopsisi radova*, стр. 191, Split, 1985.
- 8.65. М. Трпковска, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на $\text{Ni}(\text{bipy})_3\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ “, *IX Jugoslovansko posvetovanje iz splošne in uporabne spektroskopije, Zbornik povzetkov*, PA1, Bled, 1986.
- 8.66. М. Ристова, Б. Шоптрајанов, „Област на деформационите вибрации на водата во спектрите на некои метални карбоксилати“, *IX Jugoslovansko posvetovanje iz splošne in uporabne spektroskopije, Zbornik povzetkov*, PA2, Bled, 1986.
- 8.67. Б. Шоптрајанов, Л. Шоптрајанова, „Инфрацрвени спектри на хидратот на тетраамминпаладиум ацетат“, *IX Jugoslovansko posvetovanje iz splošne in uporabne spektroskopije, Zbornik povzetkov*, PA3, Bled, 1986.
- 8.68. Л. Андреева, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на парцијално деутерирани аналози на некои аммински комплекси“, *IX Jugoslovansko posvetovanje iz splošne in uporabne spektroskopije, Zbornik povzetkov*, PA4, Bled, 1986.
- 8.69. А. Мирчева, Б. Шоптрајанов, „Хидроксиламониум сулфат – инфрацрвени спектри и спектар–структурни корелации“, *IX Jugoslovansko posvetovanje iz splošne in uporabne spektroskopije, Zbornik povzetkov*, PA5, Bled, 1986.
- 8.70. Л. Андреева, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{SCN})_2$ и на неговите парцијално деутерирани аналози“, *4. Simpozij „Spektroskopija v teoriji in praksi“*, Р-28, Kranjska Gora, 1987.
- 8.71. О. Групче, Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, „Спектар–структурни корелации кај натриум тиосахаринат монохидрат“, *2. Jugoslavanski simpozij o molekularnih vedah*, Р-32, Kranjska Gora, 1987.
- 8.72. Б. Шоптрајанов, Л. Шоптрајанова, „Анализа на нормалните координати на *cis*-дицијаноdiamинпаладиум(II)“, *2. Jugoslavanski simpozij o molekularnih vedah*, Р-33, Kranjska Gora, 1987.
- 8.73. М. Трпковска, Л. Андреева, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на монохидратите на тетраамминбакар(II) тетрафлуороберилат и на тетраамминбакар(II) сулфат“, *Петтии југословенски симпозиум по аналитичка хемија, Изводи од соопштенувањата*, SM 37, Охрид, 1988.

- 8.74. В. Стефов, Б. Шоптрајанов, В. Петрушевски, „Испитување на водата во $\text{Cs}_2\text{[CrCl}_2(\text{H}_2\text{O})_4\text{]Cl}_3$, со помош на инфрацрвена спектроскопија“, *Петтии југословенски симпозиум по аналитичка хемија, Изводи од соопштениејата*, SM 38, Охрид, 1988.
- 8.75. Г. Ивановски, В. Петрушевски, Б. Шоптрајанов, „Модел на деформациони вибрации на вода вклучена во образување на водородни врски“, *XI jugoslovenski simpozijum o fizici kondenzovane materije, Apstrakti*, 98, Доњи Milanovac, 1988.
- 8.76. М. Ристова, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на магнезиум малонат дихидрат и на неговите парцијално деутерирани аналози“, *Десеттио југословенско советување по оптиката и применетата спектроскопија и Трети југословенски симпозиум за молекуларни науки, Изводи од соопштениејата*, MS 18, Охрид, 1989.
- 8.77. М. Трпковска, Б. Шоптрајанов, „Вибрациони спектри на диаква(2,2'-бипиридин)бакар(II) сулфат : споредба со соодветното соединение на никел(II)“, *Десеттио југословенско советување по оптиката и применетата спектроскопија и Трети југословенски симпозиум за молекуларни науки, Изводи од соопштениејата*, MS 21, Охрид, 1989.
- 8.78. В. Стефов, Б. Шоптрајанов, В. Петрушевски, „Испитување, со помош на инфрацрвена спектроскопија, на водата во $\text{Cs}_3\text{VCl}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Rb}_3\text{VCl}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ “, *6. simpozij "Spektroskopija v teoriji in praksi"*, *Zbornik povzetkov*, P-36, Bled, 1990.
- 8.79. М. Ristova, K. Stojanoski, B. Šoptrajanov, „Infrared spectra of the hexahydrates of some metal 4-methylbenzenesulfonates“, *Četrti jugoslavanski simpozij o molekularnih vedah „Molekularne interakcije – narava medmolekularnih sil in njihove spektroskopske zaznave“*, *7. simpozij Spektroskopija v teoriji in praksi“*, *Zbornik povzetkov*, P-14, str. 61, Bled, 1991.
- 8.80. V. Stefov, B. Šoptrajanov, V. Petruševski, „Internal vibrations of the water molecules in the dihydrates of caesium and rubidium tetrachloromanganates“, *Četrti jugoslavanski simpozij o molekularnih vedah „Molekularne interakcije – narava medmolekularnih sil in njihove spektroskopske zaznave“*, *7. simpozij „Spektroskopija v teoriji in praksi“*, *Zbornik povzetkov*, P-15, str. 62, Bled, 1991.
- 8.81. М. Трпковска, В. Šoptrajanov, „Water librations in the infrared spectra of the dihydrates of copper(bipyridine) sulfate, selenate and tetrafluoroberyllate“, *Četrti jugoslavanski simpozij o molekularnih vedah „Molekularne interakcije – narava medmolekularnih sil in njihove spektroskopske zaznave“*, *7. simpozij „Spektroskopija v teoriji in praksi“*, *Zbornik povzetkov*, P-17, str. 64, Bled, 1991.

9. Трудови презентирани на републички научни собири во Македонија

- 9.1. Б. Шоптрајанов, К. Георгиевска, „Инфрацрвени спектри на $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ “, *III советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, [Синојсиси]*, стр. 5, Скопје, 1973.
- 9.2. Б. Шоптрајанов, Ц. Стојанова, „Инфрацрвени спектри на диоксомолибден(VI) и диоксоволфрам(VI) хинолинолати“, *III советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, [Синојсиси]*, стр. 6, Скопје, 1973.

- 9.3. Б. Шоптрајанов, Д. Коцев, И. Петров, „Инфрацрвен спектар на њубериитот, $MgHPO_4 \cdot 3H_2O$ “, *III советување на хемичариите и технолозиите на Македонија*, [Синојсиси], стр. 6, Скопје, 1973.
- 9.4. Л. Пројчева, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на $[Co(NH_3)_6][Mn(CN)_5NO]$, $[Co(en)_3][Mn(CN)_5NO]$ и на нивните хидрати и деутерати“, *III советување на хемичариите и технолозиите на Македонија*, [Синојсиси], стр. 7, Скопје, 1973.
- 9.5. И. Петров, И. Јанев, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на сахарин“, *III советување на хемичариите и технолозиите на Македонија*, [Синојсиси], стр. 13, Скопје, 1973.
- 9.6. А. Николовски, Ј. Клисарева, В. Спасова-Глишиќ, Б. Шоптрајанов, „Синергетски ефекти при екстракцијата на никел и цинк со калиум *N,N*-ди(2-хидроксиетил)дитиокарбамат“, *IV советување на хемичариите и технолозиите на Македонија*, III собир „Наука-сјојансјиво“, секција хемија и технологија, [Синојсиси], стр. 11, Скопје, 1974.
- 9.7. Б. Шоптрајанов, С. Апостолов, А. Николовски, В. Спасова-Глишиќ, „За структурата на пиридинските адукти на диалкилдитиокарбаматите на цинк што содржат хидроксилни групи во алкилните низи“, *IV советување на хемичариите и технолозиите на Македонија*, III собир „Наука-сјојансјиво“, секција хемија и технологија, [Синојсиси], стр. 12, Скопје, 1974.
- 9.8. И. Петров, О. Јошевска, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на метални диалкилдитиокарбаматни комплекси со хидроксилни групи во алкилните низи“, *IV советување на хемичариите и технолозиите на Македонија*, III собир „Наука-сјојансјиво“, секција хемија и технологија, [Синојсиси], стр. 13, Скопје, 1974.
- 9.9. Л. Пројчева, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на $Na_2[Fe(CN)_5NH_3] \cdot 2H_2O$ и $Na_3[Fe(CN)_5NH_3]$ “, *IV советување на хемичариите и технолозиите на Македонија*, III собир „Наука-сјојансјиво“, секција хемија и технологија, [Синојсиси], стр. 16, Скопје, 1974.
- 9.10. Б. Шоптрајанов, Т. Кошевалиска-Димировска, „Октацијаномолибдати и октацијановолфрамати на комплексни катјони и нивните инфрацрвени спектри“, *IV советување на хемичариите и технолозиите на Македонија*, III собир „Наука-сјојансјиво“, секција хемија и технологија, [Синојсиси], стр. 17, Скопје, 1974.
- 9.11. К. Стојановски, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на уранил оксалат и амониум уранил триоксалат“, *IV советување на хемичариите и технолозиите на Македонија*, III собир „Наука-сјојансјиво“, секција хемија и технологија, [Синојсиси], стр. 18, Скопје, 1974.
- 9.12. М. Ивановиќ, Б. Шоптрајанов, И. Петров, „Приготвување и инфрацрвени спектри на хелати на дипиридоилметан со некои тровалентни метали“, *IV советување на хемичариите и технолозиите на Македонија*, III собир „Наука-сјојансјиво“, секција хемија и технологија, [Синојсиси], стр. 19, Скопје, 1974.

- 9.13. М. Ивановиќ, Б. Шоптрајанов, И. Петров, „Инфрацрвени спектри на дифуроил- и дитеноилметанати на бакар(II)“, *V советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 55, Скопје, 1975.
- 9.14. Л. Пројчева, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на тетраметиламониум пентацијанонитрозилманганат и пентацијанонитрозилхромат“, *V советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 56, Скопје, 1975.
- 9.15. Б. Шоптрајанов, В. Божиновска, К. Стојановски, „Инфрацрвени спектри на трисоксалатометалати на комплексни катјони“, *V советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 57, Скопје, 1975.
- 9.16. Б. Шоптрајанов, М. Трпковска, Р. Цветковиќ, „Инфрацрвени спектри на диакво-2,2'-бипиридин кобалт(II) сулфат“, *V советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 58, Скопје, 1975.
- 9.17. М. Ќука, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на хексацијанометалати(III) на комплексни катјони“, *V советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 59, Скопје, 1975.
- 9.18. Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, „Спектар-структурни корелации кај некои трис(хинолин-8-ол) хелати“, *V советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 60, Скопје, 1975.
- 9.19. Б. Шоптрајанов, М. Цакиќ, „Вибрациона анализа на инфрацрвените спектри на 1,5-дихидрокси- 1-хидроксиантрахинон-9,10 и инфрацрвени спектри на метал(II) комплекси на 1-хидроксиантрахинон-9,10“, *V советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 61, Скопје, 1975.
- 9.20. А. Николовски, Љ. Клисарова, Б. Шоптрајанов, „Екстракција и спектрофотометриско определување на бизмут со калиум *N,N*-ди(2-хидроксипропил)дитиокарбамат“, *V советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 62, Скопје, 1975.
- 9.21. Л. Шоптрајанова, Б. Шоптрајанов, „Вибрациони спектри на $[Pd(NH_3)_4][Ni(CN)_4]$ “, *Шестто советување на хемичариите и технолозиите на Македонија [Синојсиси]*, стр. 85, Скопје, 1977.
- 9.22. Б. Шоптрајанов, Б. Шукарова, И. Петров, „Ласерски рамански спектри на аденин“, *Шестто советување на хемичариите и технолозиите на Македонија [Синојсиси]*, стр. 88, Скопје, 1977.
- 9.23. М. Цакиќ, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на хидратите на метални комплекси на 1-хидрокси и 1, 8-дихидроксиантрахинон и на нивните деутерирани аналози“, *Шестто советување на хемичариите и технолозиите на Македонија [Синојсиси]*, стр. 93, Скопје, 1977.
- 9.24. Б. Шоптрајанов, С. Ѓорѓевиќ, Г. Јовановски, С. Поцев, „Кристална структура на спектри на протонирани деутерирани соединенија и проблемот на ниските $\delta(NOH)$ фреквенции кај соединенијата од типот $MKPO_4 \cdot nH_2O$ “, *Шестто советување на хемичариите и технолозиите на Македонија [Синојсиси]*, стр. 96, Скопје, 1977.

- 9.25. М. Трпковска, Б. Шоптрајанов, „Вибрациони спектри на бихинолин и на некои негови метални комплекси“, *Шестто советување на хемичариите и технолозиите на Македонија [Синојсиси]*, стр. 97, Скопје, 1977.
- 9.26. Л. Андреева, Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, С. Поцев, „Кристалографско и спектроскопско испитување на $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{enH}]\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ “, *Шестто советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, [Синојсиси]*, стр. 98, Скопје, 1977.
- 9.27. Б. Шоптрајанов, Г. Јовановски, „Спектар на водата кај некои стипси“, *Шестто советување на хемичариите и технолозиите на Македонија [Синојсиси]*, стр. 99, Скопје, 1977.
- 9.28. Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени и рамански спектри на $\text{BeSO}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ “, *Шестто советување на хемичариите и технолозиите на Македонија [Синојсиси]*, стр. 100, Скопје, 1977.
- 9.29. Б. Шоптрајанов, „Фиксни насоки или флексибилно насочување“, *Советување за искусивања и проблемите во реформирањето на Универзитетот, Скопје*, 1978.
- 9.30. К. Стојаноски, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на $\text{Na}_2(\text{NH}_4)_2[\text{UO}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_2]\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ “, *Седмо советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 28, Скопје, 1978.
- 9.31. М. Трпковска, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на $\text{CrO}_2(\text{biq})\text{Cl}_2$ и $\text{CrO}_2(\text{biq})\text{Cl}_2$ “, *Седмо советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 29, Скопје, 1978.
- 9.32. Б. Шоптрајанов, Г. Јовановски, „Инфрацрвени и рамански спектри на $\text{MgHPO}_4\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ “, *Седмо советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 32, Скопје, 1978.
- 9.33. Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, „Вибрациони спектри на бакар(II) сулфат“, *Седмо советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 33, Скопје, 1978.
- 9.34. Г. Јовановски, С. Поцев, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на базичен фенилжива(II) нитрат“, *Седмо советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 36, Скопје, 1978.
- 9.35. Б. Шоптрајанов, „Интернационалниот систем на единици во хемиската практика“, *Седмо советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 74, Скопје, 1978.
- 9.36. Б. Шоптрајанов, „Структурните формули и нивната употреба“, *Седмо советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 75, Скопје, 1978.
- 9.37. Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, „Парцијално деутерирање како метод за добивање структурни информации – предности и недостатоци“, *Осмо советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 67, Скопје, 1980.
- 9.38. Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, „Хидрати на натриум сахаринат – спектар-структурни корелации“, *Осмо советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 68, Скопје, 1980.

- 9.39. М. Трпковска, Б. Шоптрајанов, В. Петрушевски, „Инфрацрвен спектар на водата кај $\text{Ni}(\text{bipy})\text{SeO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и неговиот сулфатен аналог“, *Осмо советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 71, Скопје, 1980.
- 9.40. М. Ристова, Б. Шоптрајанов, И. Петров, „Спектар на водата кај дихидратот на стронциум формат“, *Осмо советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 72, Скопје, 1980.
- 9.41. А. Мирчева, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на амониум бородисалицилат“, *Осмо советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 73, Скопје, 1980.
- 9.42. М. Ристова, Б. Шоптрајанов, И. Петров, „Област на валентните и деформационите вибрации на водата во инфрацрвените спектри на никел ацетат тетра-хидрат и неговите деутерирани аналози“, *Осмо советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 79, Скопје, 1980.
- 9.43. В. Петрушевски, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на изоникотинска киселина – систем со мошне силни водородни врски“, *Осмо советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 80, Скопје, 1980.
- 9.44. А. Касаб, В. Петрушевски, И. Петров, Б. Шоптрајанов, „Вибрациони спектри на $\text{K}_3\text{H}(\text{SO}_4)_2$ и $\text{Na}_3\text{H}(\text{SO}_4)_2$ “, *Осмо советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 81, Скопје, 1980.
- 9.45. Б. Шоптрајанов, „Дали сите свистанци се состојат од молекули?“, *Осмо советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Синојсиси*, стр. 82, Скопје, 1980.
- 9.46. Б. Шоптрајанов, „Примена на микросметачи во образованието по хемија. I. Општ приказ“, *Деветтото советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштиненијата, Глас. Хем. Технол. Македонија*, 5, С-24 (1985) (секциско предавање на Деветтото советување на хемичарите и технолозите на Македонија одржано на 6 и 7 јуни 1985 година во Скопје).
- 9.47. Ј. Цветковиќ, В. Петрушевски, Б. Шоптрајанов, „Водородни врски кај некои изоморфни $\text{AsO}_4\text{-PO}_4$ и $\text{SeO}_4\text{-SO}_4$ соединенија“, *Деветтото советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштиненијата, Глас. Хем. Технол. Македонија*, 5, С-140 (1985).
- 9.48. С. Трневска, Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на дихидратот на стронциум(II) сахаринатот и на некои од неговите деутерирани аналози“, *Деветтото советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштиненијата, Глас. Хем. Технол. Македонија*, 5, С-141 (1985).
- 9.49. С. Трневска, Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на хидратот на литиум(I) сахаринатот и на некои од неговите деутероаналози“, *Деветтото советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштиненијата, Глас. Хем. Технол. Македонија*, 5, С-142 (1985).

- 9.50. Л. Андреева, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на деутерирани и парцијално деутерирани аналози на некои хексаамински комплекси“, *Девејшто советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштеноста, Глас. Хем. Технол. Македонија*, **5**, С-143 (1985).
- 9.51. М. Трпковска, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на некои цијанамидо-монофосфати“, *Девејшто советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштеноста, Глас. Хем. Технол. Македонија*, **5**, С-144 (1985).
- 9.52. М. Цакиќ, Б. Шоптрајанов, „Препарација и инфрацрвени спектри неких металних комплекса 1,4,5,8-тетрахидроксиантрахинона“, *Девејшто советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштеноста, Глас. Хем. Технол. Македонија*, **5**, С-145 (1985).
- 9.53. Б. Шоптрајанов, В. Петрушевски, Л. Шоптрајанова, „Примена на микросметачи во образованието по хемија. II. Симулација на протолитометриска титрација“, *Девејшто советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштеноста, Глас. Хем. Технол. Македонија*, **5**, С-151 (1985).
- 9.54. Б. Шоптрајанов, „Примена на микросметачи во образованието по хемија. III. Досеј на реакцијата – пример за употребата на микросметачи во програмираното образование“, *Девејшто советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштеноста, Глас. Хем. Технол. Македонија*, **5**, С-152 (1985).
- 9.55. В. Петрушевски, Б. Шоптрајанов, „Примена на микросметачи во образованието по хемија IV. Персис – база на податоци за елементите од периодниот систем“, *Девејшто советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштеноста, Глас. Хем. Технол. Македонија*, **5**, С-153 (1985).
- 9.56. Б. Шоптрајанов, „Примена на микросметачи во образованието по хемија. VI. Микросметачите и тестирањето на знаењата“ (секциско предавање на Десеттото советување на хемичарите и технолозите на Македонија); текстот на предавањето е објавен во: *Х-што советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Трудови, Сојуз на хемичарите и технолозите на Македонија, Скопје*, 1987, стр. Ц, в. во списокот на печатени трудови, под број 5.10.
- 9.57. А. Јаневски, Б. Шоптрајанов, М. Трпковска, „Инфрацрвени спектри на амониниум никел тетрафлуороберилат хексахидрат и на неговите деутерирани аналози“, текстот на соопштението е отпечатен во: *Х-што советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Трудови, Сојуз на хемичарите и технолозите на Македонија, Скопје*, 1987, стр. 97, в. во списокот на печатени трудови, под број 5.9.
- 9.58. Б. Шоптрајанов, „Примена на микросметачи во образованието по хемија. VII. Хемиски равенки – програм за сметачот ZX Spectrum“, текстот на соопштението е отпечатен во: *Х-што советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Трудови, Сојуз на хемичарите и технолозите на Македонија, Скопје*, 1987, стр. 409, в. во списокот на печатени трудови, под број 5.11.

- 9.59 Б. Шоптрајанов, „Примена на микросметачи во образованието по хемија. VIII. *Вистинина или не? – Тест по хемија*“, текстот на соопштението е отпечатен во: *X-то советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Трудови, Сојуз на хемичарите и технолозите на Македонија, Скопје, 1987, стр. 412, в. во списокот на печатени трудови, под број 5.12.*
- 9.60. Б. Шоптрајанов, „Прашањата за самопроверка : форма или потреба?“, *XI советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, П-6, Скопје, 1989 (пленарно предавање на Единаесеттото советување на хемичарите и технолозите на Македонија одржано во Скопје од 5 до 7 октомври 1989 година во Скопје).
- 9.61. М. Трпковска, Б. Шоптрајанов, „Вибрациони интеракции кај монохидратите на бакар сулфат и бакар селенат“, *XI советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, ВЗ-9, Скопје, 1989.
- 9.62. Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, „Структурни испитувања на хидратот на LiBF_4 “, *XI советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, ВЗ-10, Скопје, 1989.
- 9.63. М. Ристова, Б. Шоптрајанов, К. Стојаноски, „Инфрацрвени спектри на соли на *p*-толуенсулфонска киселина“, *XI советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, ВЗ-11, Скопје, 1989.
- 9.64. Б. Димовска, В. Ѓукановиќ, Л. Шоптрајанова, Б. Шоптрајанов, И. Спиревска, „Приготвување и инфрацрвени спектри на хидратот на кобалт(II) фумарат : споредба со соодветното соединение на никел(II)“, *XI советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, ВЗ-14, Скопје, 1989.
- 9.65. Б. Шоптрајанов, „Вибрационата спектроскопија како метода за добивање на структурни податоци“, *Дванаесеттото советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, П-4, Скопје, 1991 (воведно пленарно предавање на Дванаесеттото советување на хемичарите и технолозите на Македонија одржано во Скопје од 19 до 21 септември 1991 година).
- 9.66. В. Стефов, Б. Шоптрајанов, В. Петрушевски, „Корелации меѓу фреквенциите на валентните O–D вибрации во H₂O молекули и O₂–Cl растојанијата кај некои кристалохидрати“, *Дванаесеттото советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, СФ-1, Скопје, 1991.
- 9.67. К. Стојаноски, М. Ристова, Б. Шоптрајанов, „Вибрации на анјонот кај некои соли на 4-метилбензенсулфонската киселина“, *Дванаесеттото советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, СФ-2, Скопје, 1991.
- 9.68. М. Трајковска, Б. Шоптрајанов, И. Гржетик, Г. Јовановски, Т. Стафилов, „Инфрацрвени спектри на некои сулфосоли на талиум и сребро“, *Дванаесеттото советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, СФ-3, Скопје, 1991.

- 9.69. С. Танчева, Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на Рb(II) сахаринат монохидрат – спектар–структурни корелации“, *Дванаесеттио советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, СФ-4, Скопје, 1991.
- 9.70. Б. Шоптрајанов, Г. Јовановски, Л. Правгова, „Инфрацрвени спектри на S-фенил o-хлоротиобензоат и S-фенил o-бромотиобензоат“, *Дванаесеттио советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, СФ-6, Скопје, 1991.
- 9.71. Б. Шоптрајанов, В. Петрушевски, „Примена на инфрацрвената спектроскопија при детекцијата на бојни отрови“, *Состојби, можности, проблеми и напатошни развој на РХБ заштитата во Република Македонија (советување – резиме)*, Скопје, 1993.
- 9.72. Б. Шоптрајанов, „Модели и аналогии во наставата по хемија“, *Тринаесеттио советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, С-5, Скопје, 1993 (секциско предавање на Тринаесеттото советување на хемичарите и технолозите на Македонија одржано од 10 до 12 јуни 1993 година во Скопје).
- 9.73. Б. Шоптрајанов, „Учебникот по хемија како извор и канал за пренос на информации“, *Тринаесеттио советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, Н-1, Скопје, 1993.
- 9.74. Б. Шоптрајанов, „Примена на микросметачи во образованието по хемија. IX. Номенклатури на киселини – програмирана (CAL) секвенца за персонален сметач“, *Тринаесеттио советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, Н-2, Скопје, 1993.
- 9.75. Б. Шоптрајанов, „Примена на микросметачи во образованието по хемија. X. Номенклатура на соли – програмирана (CAL) секвенца за персонален сметач“, *Тринаесеттио советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, Н-2, Скопје, 1993.
- 9.76. С. Танчева, Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, „Сознанија за типот на врската метал–лиганд кај сребро сахаринат“, *Тринаесеттио советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, СС-2, Скопје, 1993.
- 9.77. Б. Шоптрајанов, В. Стефов, М. Ивановска, „Инфрацрвени спектри на рубидиум моноаквапентахлороферат(III)“, *Тринаесеттио советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, СС-4, Скопје, 1993.
- 9.78. М. Трпковска, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на тетраамминбакар(II) селенат и на некои негови деутерирани аналози“, *Тринаесеттио советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, СС-5, Скопје, 1993.
- 9.79. Б. Шоптрајанов, М. Трпковска, „Парцијален полнеж на атомите во тетрафлуороберилатните јони : споредба со структурно блиски тетраоксоанјони“, *Тринаесеттио советување на хемичариите и технолозиите на Македонија, Изводи од соопштениејата*, СС-6, Скопје, 1993.

- 9.80. П. Малков, М. Трпковска, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на мешани кристали од $[\text{Ni}(\text{bpy})]\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $[\text{Cu}(\text{bpy})]\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ “, *Прв конгрес во чиста и применета хемија на студентите од Македонија, Изводи од соопштениејата*, Скопје, 1994, стр. 41-42.
- 9.81. И. Кузмановски, В. Стефов, Б. Шоптрајанов, „Инфрацрвени спектри на магнезиум хидрогенфосфат трихидрат“, *Прв конгрес во чиста и применета хемија на студентите од Македонија, Изводи од соопштениејата*, Скопје, 1994, стр. 43.
- 9.82. Љ. Пејов, Г. Јовановски, Б. Шоптрајанов, О. Групче, „Валентни вибрации на молекулите вода кај изоморфните метал(II) сахаринати хексахидрати“, *Прв конгрес во чиста и применета хемија на студентите од Македонија, Изводи од соопштениејата*, Скопје, 1994, стр. 45.

10. Магистерски труд и докторска дисертација

- 10.1. В. Šoptrajanov, „Vibrational Assignment of the Infrared Spectra of 1,2,5-Thiadiazole“, Indiana University, Bloomington, Ind., 1965.
- 10.2. Б. Шоптрајанов, „Спектроскопско испитување на кристалохидрати со посебен осврт на спектарот на водата. Системи со мошне ниски $\delta(\text{HOH})$ фреквенции“, Докторска дисертација, Природно-математички факултет на Универзитетот „Кирил и Методиј“, Скопје, 1973 (в. во списокот на печатени трудови под бр. 1.1).

11. Печатени публикации со програмска содржина

- 11.1. Š. Adamič, M. Baručija, V. Levovnik, I. Mamuzić, I. Mihel, S. Pantelić, J. Stipanov, T. Šercar, B. Šoptrajanov, T. Toth, „Sistem naučnih i tehnoloških informacija Jugoslavije. Studija izvodljivosti“, Savez inženjera i tehničara Jugoslavije, Beograd, 1988.
- 11.2. Љ. Арнаудовски, Б. Старковски, Б. Шоптрајанов, Г. Димировски, Т. Трајков, Ј. Шокаровски, Н. Узунов, В. Ивановски, А. Петровски, Д. Додевски, С. Михајловски (редактори), „Стратегија на долгорочниот развој на научноистражувачката дејност во СР Македонија до 2000-та година“, Републичка заедница за научноистражувачка дејност – Скопје, Скопје, 1988.