



УВОДНИК

Пре 25 година почео сам да уређујем *Хемијски њреїлед*. Први број смо заједнички уредили **професор Станимир Арсенијевић**, дотадашњи дугогодишњи главни и одговорни уредник и ја. Те 1999. године сам почео да учим и овај уређивачки занат. Током наредних 25 година трудио сам се да Српско хемијско друштво одржи свој часопис за промоцију хемије са чланцима који су на високом стручном нивоу. Важно је било да *Хемијски њреїлед* не буде саткан од тачних (али досадних) података, већ да у сваком раду буде по нека интересантна чињеница или прича због које би сваки члан СХД имао разлог да завири у нови број који је стижао двомесечно.

Ово је последњи *Уводник* на чијем дну стоји моје име. Од наредног броја *Хемијски њреїлед* ће уређивати нова екипа на челу са **професорком Драгицом Тривић**. Желим им пуно успеха и среће на овом важном послу.

* * *

Једињења која садрже директне метал–метал везе, иако позната одавно, структурно су окарактерисана тек 20-их година прошлог века. Данас су позната једињења готово свих метала која садрже директне метал–метал везе - од најлакшег литијума, па до једног од најтежих, урана. Најстабилније метал–метал везе граде прелазни метали, посебно елементи 6, 7. и 8. групе у кластерним једињењима. Детаљна карактеризација вишеструких метал–метал веза дуго је била велики теоријски изазов. Аутори **Маријана С. КОСТИЋ**, **Мирјана М. РАДАНОВИЋ** и **Вукадин М. ЛЕОВАЦ** (сви са Природно-математичког факултета, Универзитета у Новом Саду) у чланку под насловом „*Вишеструке метал–метал везе*“ описали су карактеристике ових вишеструких веза.

* * *

Велики молекули протеина неопходни су за правилну структуру и функцију свих ћелија у живим организмима. О значају протеина довољно говори и само порекло њиховог назива: реч “протеин” потиче од грчке речи “протос”, што значи први, најважнији елемент. Рад под насловом „*На морскоме њлавом жалу – чаробни свети њрошеина*“ настао је као резултат активности **Анђеле Петровић** (Универзитет у Београду - Хемијски факултет, Катедра за биохемију) на изборном предмету *Огледи у настави биохемије* који је у оквиру основних академских студија

Биохемије реализован у пролећном семестру школске 2022/2023. на Хемијском факултету Универзитета у Београду. Циљ курса је да студенти разумеју значај и сагледају место огледа у настави биохемије, да усвоје методске принципе који се користе при избору, извођењу и обради огледа за наставу (био)хемије на различитим нивоима школовања, да користе различиту литературу за припрему огледа, да изводе огледе за одређене наставне јединице и теме, те да саставе збирку огледа (протокола) погодну за рад са ученицима. У чланку је приказан избор атрактивних огледа у чијем средишту су молекули протеина, уз нуклеинске киселине.

* * *

Због трагичних мајских догађаја *Министарство њпросвете* наложило је школама да школска 2023/2024. година започне оним активностима ученика које би *дојриносиле развоју њозицивних њудских вредности код ученика и унајређивању односа заснованих на међусобном њоштовању, сарадњи и солидарности уз уважавање различитости*. Школе су имале слободу да осмисле и остваре такве активности. У рубрици Хемија из/зашколе, у раду под насловом “*Како је Колбе увредио ванџ Хофа?*” **Игор Матијашевић** (професор у Деветој београдској гимназији) описао је како су часови хемије (можда) допринели остваривању поменутог васпитног циља. Аутор је искористио једну од познатијих епизода неакадемског понашања научника – ону о увредљивом писању Колбе против вант Хофа (и његове идеје о тетраедарској конфигурацији угљениковог атома) као подлогу за разматрање међуљудских односа.

* * *

Априлски дани о настави хемије (АД2023), у организацији Српског хемијског друштва и Универзитета у Београду - Хемијског факултета, одржани су 24. и 25. априла 2023. године на Хемијском факултету у Београду. У Рубрици *Вести из СХД* наћићете „Извештај о одржаним АПРИЛСКИМ ДАНИМА О НАСТАВИ ХЕМИЈЕ - 32. стручно усавршавање наставника хемије и 4. конференција методике наставе хемије“.

Ратко М. Јанков



ЧЛАНЦИ



Маријана С. КОСТИЋ, Мирјана М.
РАДАНОВИЋ, Вукадин М. ЛЕОВАЌ

Природно-математички факултет,
Универзитет у Новом Саду

Е-пошта: marijana.kostic@dh.uns.ac.rs

ВИШЕСТРУКЕ МЕТАЛ–МЕТАЛ ВЕЗЕ

Једињења која садрже директне метал–метал везе, иако позната одавно, структурно су окарактерисана тек 20-их година прошлог века. Наиме, постојање овакве везе први пут је доказано рендгенском структурном анализом каломела, Hg_2Cl_2 , 1926. године [1]. Данас су позната једињења готово свих метала која садрже директне метал–метал везе - од најлакшег литијума (LiCH_3), па до једног од најтежих, урана, $(\text{UO}_3)_2(\text{OH})_4(\text{SO}_4)_6$ [2]. Најстабилније метал–метал везе граде прелазни метали, посебно елементи 6, 7. и 8. групе у кластерним једињењима [3], тј. у сложеним полинуклеарним једињењима у којима више међусобно повезаних централних атома чине скелет, док су лиганди за њих везани терминално, или терминално и мостовно [4].

Након открића постојања вишеструких метал–метал веза њихова детаљна карактеризација дуго је била велики теоријски изазов. Изведена су бројна спектроскопска и теоријска испитивања у циљу разумевања њихове природе, нарочито оних веза које граде d^4 прелазни метали [5].

Треба рећи да је настајање једињења која садрже директне метал–метал везе карактеристика метала са нижим оксидационим бројевима, јер високи позитивни набој, због међусобног одбијања не погодује стварању метал–метал веза [2,6]. Другим речима, метали нижег оксидационог стања показују слаб афинитет за везивање са негативно наелектрисаним лигандима, остављајући електроне на сваком атому метала који су доступни за формирање М–М веза вишег реда [7].

Прво органометално једињење, тј. једињење које садржи М–С везу, у којем је нађена директна метал–метал веза је карбонил гвожђа $\text{Fe}_2(\mu\text{-CO})_3(\text{CO})_6$, у коме је Fe–Fe растојање 252,3 pm, што је нешто дуже од растојања у чистом металу (248 pm). Како је ова веза „ојачана” помоћу три мостовна CO лиганда, ово једињење није могло бити коначан доказ поменутог типа интеракција. За разлику од карбонила гвожђа, карбонили ренијума $\text{Re}_2(\text{CO})_{10}$, мангана $\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}$ и молибдена $[\text{MoCr}(\text{CO})_3]_2$ (Cr = циклопентадиенил), који не садрже мостовне лиганде, били су први небориви докази постојања директне метал–метал везе код органометалних једињења [8].

Једно од најједноставнијих димерних једињења која садрже једноструку М–М везу без додатних мостовних лиганда је $\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}$, у коме је дужина Mn–Mn везе 289,5 pm (у металу 224 pm). Поред овог, одређене су и структуре $\text{Tc}_2(\text{CO})_{10}$, $\text{Re}_2(\text{CO})_{10}$, као и хетеродинуклеарног $\text{MnRe}(\text{CO})_{10}$, који су изоморфни са $\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}$. Измерене дужине веза у овим једињењима су 303,6 (у металу 271 pm); 304,1 (у металу 275 pm) и 290,9 pm, респективно [8]. У свим овим једињењима ред везе је 1.

Такође, познат је и велики број динуклеарних кластера који садрже М–М двоструку везу. Нека од ових једињења су: $\text{Co}_2(\text{CO})_2\text{Cp}_2$, $\text{Fe}_2(\text{NO})_2\text{Cp}_2$, $\text{Re}_2(\mu\text{-Cl})_2\text{Cl}_4(\text{dppm})_2$ (dppm = бис(дифенилфосфино)метан), $\text{Mo}_2(\text{OR})_8$ (R = ⁱPr, ^tBu). У овим једињењима је, за разлику од раније поменутих карбонила, због вишег реда везе, М–М растојање за око 15-20 pm (5-7 %) краће него у чистом металу [8].

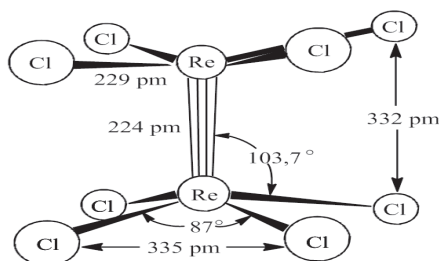
Након детаљних испитивања једињења са директним једноструким и двоструким везама, уследило је велико интересовање за испитивање могућности синтезе једињења која садрже метал–метал везе вишег реда, тако да су данас позната једињења не само са троструким и четвороструким, већ и петоструким везама. Осим тога, теоријски прорачуни су показали и како је могуће стабилизovati једињења са шестоструким везама. Већину једињења са троструком и четвороструком М–М везом граде Re, Cr, Mo и W. Као лиганди у оваквим једињењима јављају се тврде Луисове базе, као што су халиди, карбоксилне киселине и амини. Међутим, у неким случајевима присутни су и лиганди π-акцептори, тј. карбонили, фосфини и нитрили [8]. Тако је у молекулу $\text{Cr}_2(\text{CO})_4\text{Cp}_2$ заступљена трострука, а у јону $[\text{Mo}_2(\mu_2\text{-O}_2\text{CMe})_2(\text{MeCN})_6]^{2+}$ четворострука метал–метал веза. Растојања М–М у овим комплексима су за 11,2, односно 21,5 % краћа од растојања у чистом металу.

По открићу првих кластерних једињења у којима се јављају четвороструке М–М везе, као на пример у $\text{K}_2\text{Re}_2\text{Cl}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [9] и $\text{Mo}_2(\text{OSCOCH}_3)_4$ [10], пријављени су многи динуклеарни кластери са двоструком, троструком, четвороструком и петоструком везаним централним атомима [11-16]. Данас све више пажње привлачи могућност синтезе органометалних једињења са директном М–М везом шестог реда. Стога је у овом раду

дат детаљнији осврт на четвороструку и петоструку метал–метал везу, као и краћи преглед шестоструке метал–метал везе.

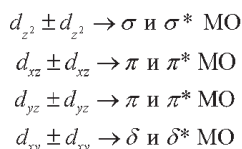
ЧЕТВОРОСТРУКА МЕТАЛ–МЕТАЛ ВЕЗА

Постојање четвороструке метал–метал везе први пут је доказано и објашњено 1965. године [9, 17] на примеру $[\text{Re}_2\text{Cl}_8]^{2-}$ јона (слика 1) нађеног у структури калијум-октахлоридодиренат(III) дихидрата, $\text{K}_2[\text{Re}_2\text{Cl}_8]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Ово једињење добијено је редукцијом калијум-перрената водоником у присуству cHCl у челичној бомби загреваној до $290\text{ }^\circ\text{C}$ (почетни притисак износио је око $4,9\text{ MPa}$) у току $1,5\text{ h}$. Производ ове реакције садржао је зелено-жуте кристале K_2ReCl_6 и плави раствор из кога су, након сушења и упаравања, добијени тамнозелени кристали $\text{K}_2\text{Re}_2\text{Cl}_8\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [18]. Аналогно овоме, добијен је и амонијум-октахлоридодиренат(III) дихидрат исте боје. На око $130\text{ }^\circ\text{C}$ ова једињења прелазе у своје анхидроване форме, које су нешто светлије.



Слика 1. Структура $[\text{Re}_2\text{Cl}_8]^{2-}$

Формирање веза у $[\text{Re}_2\text{Cl}_8]^{2-}$ јону може се објаснити на следећи начин: оба атома ренијума(III) (d^4 -систем) користе квадратно-планарни сет dsp^2 -хибридних орбитала ($d_{x^2-y^2}$, s , px , py) за преклапање са p -орбиталама хлоридо-лиганата. Преостале d -орбитале (d_{z^2} , d_{xz} , d_{yz} , d_{xy}) једног преклапају се са одговарајућим орбиталама другог атома Re , па као резултат долази до формирања једне σ , две π и једне δ везивне МО и исто толико антивезивних МО, према следећој шеми [8]:



У $[\text{Re}_2\text{Cl}_8]^{2-}$ везивне молекулске орбитале попуњава 8 електрона из два атома Re и тиме дају конфигурацију $\sigma^2\pi^4\delta^2$, при чему антивезивне молекулске орбитале остају празне, па је ред везе 4. Због овако високог реда везе њена дужина је мала (224 pm , у металу 275 pm), а због одсуства неспарених електрона једињење је дијамагнетично. Иако је δ -веза најслабија, довољно је јака да одржава заклоњену (енг. *eclipsed*) конформацију овог јона за разлику од шаховске конформације, која би се очекивала на основу одбијања атома хлора [3].

Треба рећи и да је δ слабо везујућа, а δ^* слабо развезујућа орбитала, због чега је и њихова енергетска

разлика мала. Ова разлика у енергији одговара енергији видљиве светлости, што за последицу има то да су сва једињења са четвороструком M-M везом интензивно обојена ($[\text{Re}_2\text{Cl}_8]^{2-}$ енгл. *royal blue*, $[\text{Mo}_2\text{Cl}_8]^{4-}$ енгл. *bright red*) [19].

Четворострука веза добро је окарактерисана за кластере елемената 6. групе, посебно за кластере хрома, за које се веже откриће „супер-кратких“ четвороструких веза, тј. M-M веза краћих од 200 pm . Примери ових кластерних једињења са одговарајућим дужинама Cr-Cr веза приказани су у табели 1.

Тако је у динуклеарном дијамагнетичном тетраацетато кластеру $\text{Cr}_2(\text{O}_2\text{CCH}_3)_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (1), који представља једно од „најстаријих“ једињења Cr(II) [21], познато још од 1844. године, Cr-Cr растојање $196,6\text{ pm}$ [5]. У једињењу $\text{Cr}_2(\text{DMP})_4$ (4), где је DMP бидентатни 2,6-диметоксифенил моноанијон, то растојање је још краће ($184,7\text{ pm}$), док веза Cr-Cr нађена у једињењу $\text{Cr}_2(2\text{-CH}_3\text{O-5-CH}_3\text{C}_6\text{H}_3)_4$ (6), дужине $182,8\text{ pm}$ [22]. Жути кристали овог једињења добијени су реакцијом хладних THF -раствора ($-78\text{ }^\circ\text{C}$) 2-метокси-5-метилфениллитијума са $\text{Cr}_2(\text{OAc})_4$ у атмосфери азота.

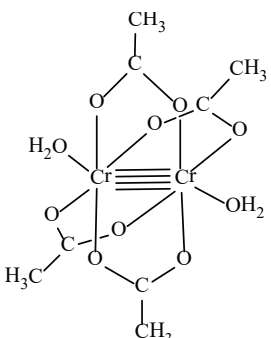
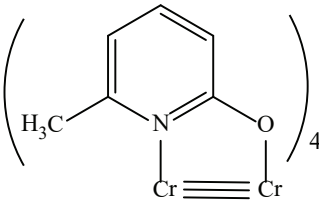
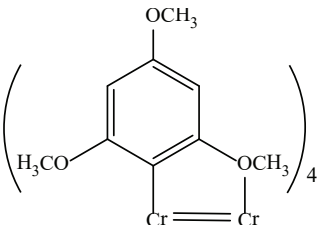
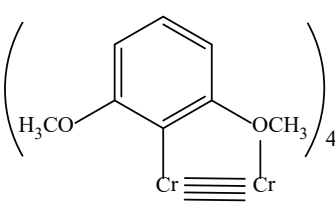
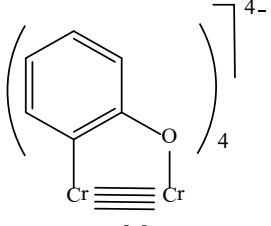
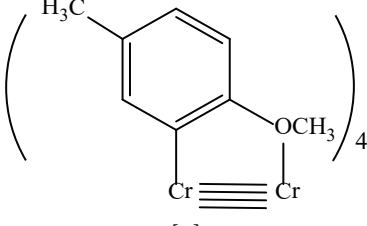
Формирање динуклеарних кластерних једињења метала шесте групе са четвороструком M-M везом ($\sigma^2\pi^4\delta^2$) најчешће је подржано монодентатним или са четири мостовна лиганда, као што су карбоксилати, амиди и пиролидинати. Динуклеарни кластери који настају комплексирањем са четири мостовна лиганда се називају енгл. *paddlewheel* (точак са лопатицама) комплекси [23], а пример оваквог комплекса је управо $\text{Cr}_2(\text{O}_2\text{CCH}_3)_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Табела 2).

Утицај реда везе на њену дужину може се илустровати на следећим примерима кластера Mo и Re . Као што се из табеле 2 види, смањење оксидационог броја молибдена за последицу има повећање броја везивних електрона, а тиме и повећање реда везе, тј. смањење њене дужине. Овим се може објаснити знатно краћа Mo-Mo веза у кластерном једињењу 2 у односу на кластер 1. У кластеру 4 просечан оксидациони број Mo је 2,5 што значи да се један атом налази у $+2$ (d^4 -систем), а други у $+3$ оксидационом стању (d^3 -систем). На тај начин у формирању везе учествује 7 валентних електрона, што даје $\sigma^2\pi^4\delta^1$ конфигурацију, па је ред везе 3,5. Јасно је да је њена дужина између вредности за троструку (3) и четвороструку везу (5). Оксидациони број молибдена у једињењу 5 је $+2$, у формирању везе учествује 8 валентних електрона и настаје веза четвртог реда ($\sigma^2\pi^4\delta^2$).

Прелаз четвороструке везе у везу нижег реда може се остварити додатком антивезивних електрона. Слично Mo(II) , Re(III) је d^4 -систем, па је веза Re-Re у кластеру 6 четворострука. Додатком једног антивезивног електрона, тј. смањењем оксидационог броја једног атома Re на $+2$ добијамо кластер 7, где је у формирању везе укључено 8 везивних, али и један антивезивни електрон, па је ред везе 3,5. Редукцијом преосталог Re(III) у Re(II) настаје кластер 8 са још једним антивезивним електроном, који смањује ред везе на 3.

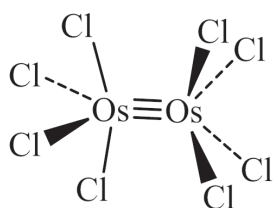
Додатни електрони који попуњавају δ^* орбиталу смањују ред везе, али утичу и на геометрију комплекса. У јону $[\text{Os}_2\text{Cl}_8]^{2-}$ (слика 2) оксидациони број Os је $+3$,

Табела 1. Кластери са „супер-кратким“ четвороструким Cr–Cr везама [5, 20]

Кластер	d(Cr–Cr)/pm	Кластер	d(Cr–Cr)/pm
	196,6		188,9
	184,9		184,7
	183,0		182,8

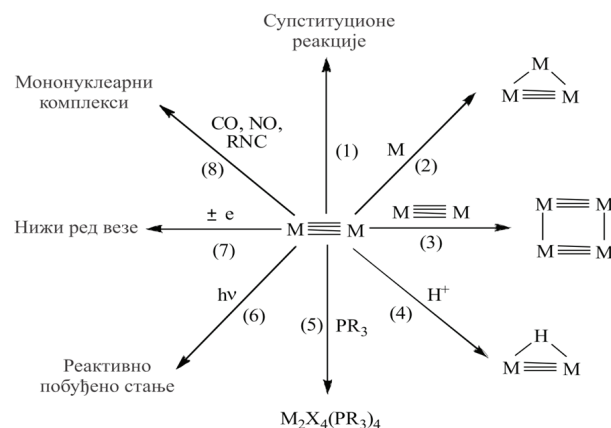
што значи да осмијум има 10 *d*-електрона, који дају $\sigma^2\pi^4\delta^2\delta^{*2}$ конфигурацију. Због присуства два електрона у антивезивној δ^* орбитали, ред Os–Os везе у овом јону је 3, а одсуство четврте (δ) везе условљава шаховску конформацију, за разлику од заклоњене каква је заступљена у јону $[\text{Re}_2\text{Cl}_8]^{2-}$.

Такође, треба поменути да су, поред раније поменутих једињења која садрже једнострукне хетеронуклеарне метал–метал везе, позната и једињења са вишеструким хетеронуклеарним метал–метал везама. Тако су у радовима [24, 25] описани мешовити кластери Мо и W, $[\text{MoW}(\text{O}_2\text{CC}(\text{CH}_3)_4)]$ и $[\text{MoWCl}_4(\mu\text{-dppm})_4]$ (dppm = бис(дифенилфосфино)метан), који садрже четвороструку Мо–W везу.



Слика 2. Структура $[\text{Os}_2\text{Cl}_8]^{2-}$

Све више пажње привлачи испитивање реактивности једињења која садрже четвороструку везу. Наиме, ова једињења могу учествовати у великом броју хемијских реакција, чији је уопштен преглед дат на слици 3 (објашњења 1–8).



Слика 3. Неки типови реакција диметалних једињења која сарже четвороструку М–М везу [8]

(1) Бројне реакције измене лиганата, са изузетком јаких π -акцептора.

Табела 2. Утицај реда везе на њену дужину

Редни број	Једињење	Веза	Дужина везе/pm	Конфигурација	Ред везе	Лит.
1	[Mo ₂ Cl ₄ (OPr ⁿ) ₆]	Mo—Mo	273	σ ²	1	3
2	[Mo ₂ (OPr ⁿ) ₈]	Mo=Mo	252	σ ² π ²	2	3
3	[Mo ₂ (NMe ₂) ₆]	Mo≡Mo	221	σ ² π ⁴	3	3
4	[Mo ₂ (SO ₄) ₄] ³⁻	Mo≡Mo	217	σ ² π ⁴ δ ¹	3,5	3
5	[Mo ₂ (SO ₄) ₄] ⁴⁻	Mo≡Mo	211	σ ² π ⁴ δ ²	4	3
6	[Re ₂ Cl ₄ (PMe ₂ Ph) ₄] ²⁺	Re≡Re	221,5	σ ² π ⁴ δ ²	4	7
7	[Re ₂ Cl ₄ (PMe ₂ Ph) ₄] ⁺	Re≡Re	221,8	σ ² π ⁴ δ ² δ ^{*1}	3,5	7
8	[Re ₂ Cl ₄ (PMe ₂ Ph) ₄]	Re≡Re	224,1	σ ² π ⁴ δ ² δ ^{*2}	3	7

(2) Адицијом мононуклеарних једињења на четвороструку М–М везу може се добити тринуклеарни кластер.

(3) Две четвороструке М–М везе могу дати металоциклобутанински прстен.

(4) Оксидативном адицијом киселина на четвороструку везу може се добити трострука М–М веза. Ове реакције су веома важне у хемији молибдена и волфрама.

(5) Фосфини се могу понашати као редукујући лиганди, при чему дају производе са троструком М–М везом (σ²π⁴δ²δ^{*2}), нпр. Re₂Cl₄(PEt₃)₄.

(6) Фотоексцитација (δ → δ^{*}) води настајању реактивних врста, потенцијално корисних за разне фотосензитивне реакције, укључујући и разградњу воде.

(7) Електрохемијска оксидација или редукција води настајању једињења са везом нижег реда, стварајући реактивне интермедијере.

(8) Са π-акцепторима, четворострука М–М веза обично се раскида дајући мононуклеарне комплексе, који се често не могу добити другим синтетским путем.

ПЕТОСТРУКА МЕТАЛ–МЕТАЛ ВЕЗА

Први структурни доказ постојања петоструке везе између два атома метала био је кластер Cr(I) (d⁵-систем), формуле Ar²CrCrAr², добијен 2005. године, где је Ar²=2,6-бис[(2,6-диизопропил)фенил]бензен [26]. Синтеза је изведена при анаеробним и анхидрованим условима, полазећи од комплекса {Cr(μ-Cl)Ar²}₂, који је добијен реакцијом CrCl₂(THF)₂ и LiAr² у тетрахидрофурану (THF). Наиме, редукцијом наведеног димерног комплекса, помоћу KC₈ добијен је поменути кластер са петоструком М–М везом (шема 1).

Добијени тамноцрвени кристали овог једињења осетљиви су на влагу из ваздуха, али су стабилни на температури до 200 °С. Дифракцијом X-зрака на монокристалу утврђено је да је овај кластер центросиметричан са планарно савијеним С–Cr–Cr–С низом и Cr–Cr растојањем од 183,51(4) pm. У циљу детаљне карактеризације овог кластерног једињења

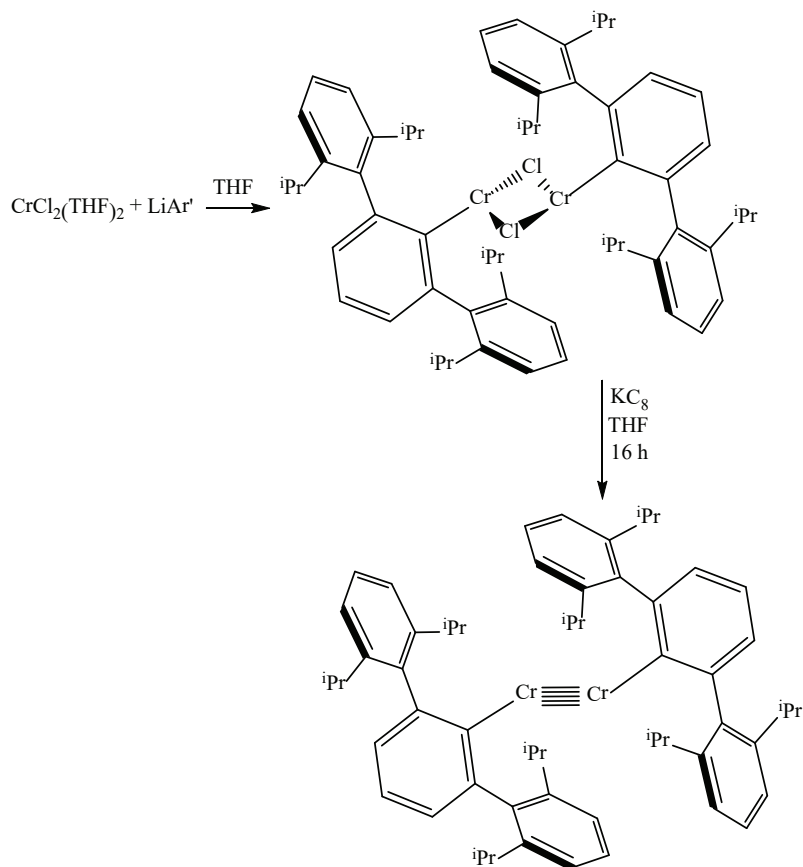
урађена су и магнетна и спектроскопска испитивања, као и теоријски прорачуни.

Најчешћи типови лиганата који фаворизују формирање везе петог реда између атома хрома су приказани на слици 4. Први кластери у којима се јавља овакво везивање синтетисани су са терфенилним лигандом (1) [26], док су нешто млађи од њих кластери краћих Cr–Cr веза формиран са диазиденима (2) [27]. У новије време добијена су слична једињења са диаамидатима (3), пиридиламидатима (4) и гванидатима (5) [26-28] у којима са петоструком везани атоми хрома на још краћим растојањима. У овим примерима је показано како волуминозни моноанјонски бидентатни лиганди могу стабилизovati поменути петоструку везу. N-донорни лиганди са једним атомом угљеника између два координирајућа азота су до сада најперспективнији кандидати за „ултракратке“ М–М везе и чини се да је кључ образовања овако кратких веза поравнање два азотова слободна електронска пара који везују два атома хрома [29].

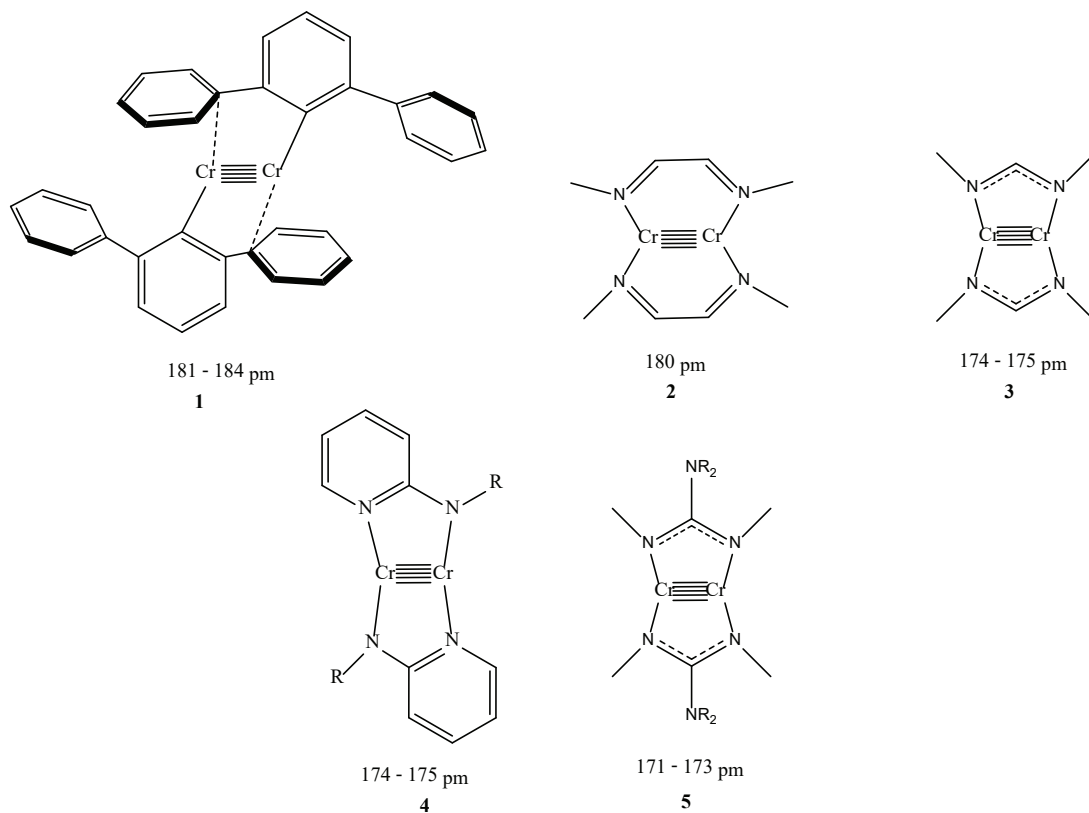
Ово је вероватно резултат јонског карактера везе који омогућава већу локализацију d типа молекулских орбитала и сходно томе, јачу метал–метал везу. Важну улогу овде играју геометријски параметри објашњени на примеру бидентатних N доворних лиганата (слика 5), Cr–Cr–N угао α, као и корелација овог угла са растојањем N–N, што се може приказати следећом једначином [30]:

$$\begin{aligned} \text{Cr–Cr} = r = d - 2l \sin(\alpha - 90^\circ) \\ i = 2l \cos(\alpha - 90^\circ) \end{aligned}$$

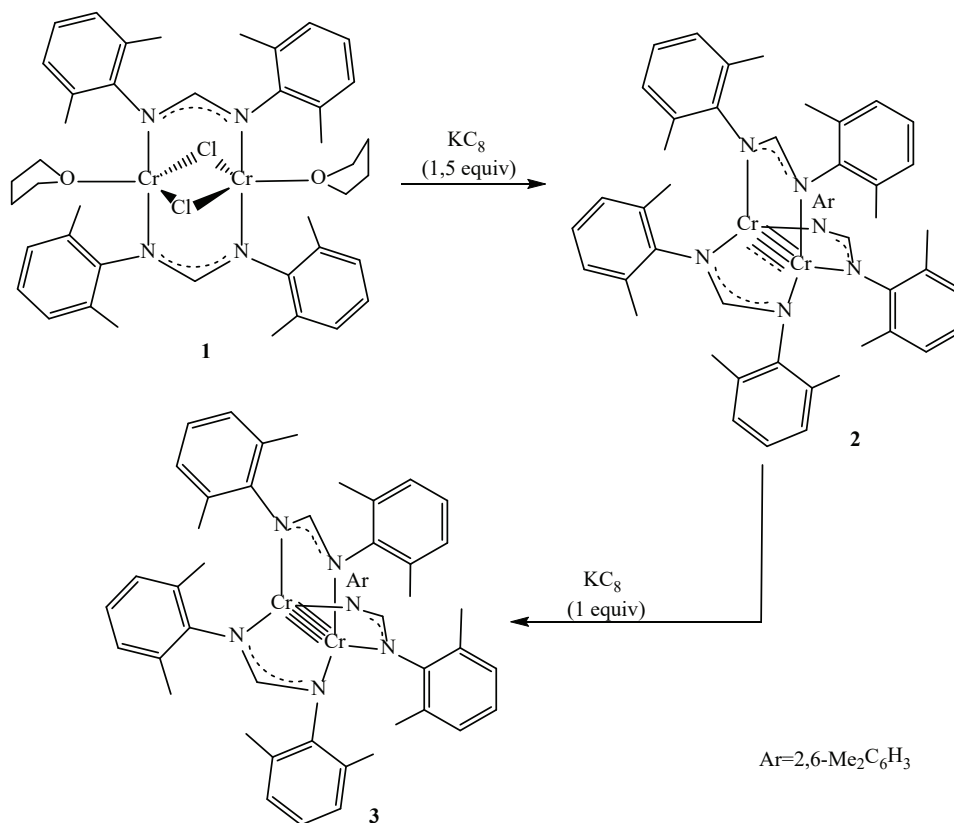
Принципијелно, атоми d-метала могу формирати до шест веза користећи ns и пет (n-1)d орбитала. Узмимо да је z-оса оријентисана од једног ка другом атому Cr и да се налази у равни основног С–Cr–Cr–С низа. Сваки атом Cr има конфигурацију 3d⁵4s¹ и користи 4s орбиталу за преклапање са sp² хибридном орбиталом терфенил-лиганда, формирајући Cr–C σ-везу. На тај начин пет d-орбитала остаје слободно за формирање петоструке Cr–Cr везе, односно једне σ (d_{z²}+d_{z²}), две π (d_{yz}+d_{yz}, d_{xz}+d_{xz}) и две δ-везе (d_{x²-y²}+d_{x²-y²}, d_{xy}+d_{xy}) [8].



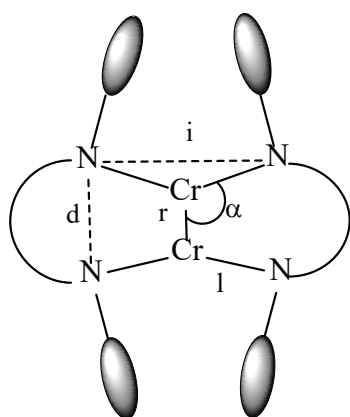
Шема 1. Синтеза комплекса $\text{Ar}'\text{CrCrAr}'$ ($\text{Ar}' = 2,6\text{-бис}[(2,6\text{-диизопропил)фенил]бензен$)



Слика 4. Типови лиганата који фаворизују „супер-кратке“ петоструке Cr-Cr везе



Шема 2. Синтеза трис(амидинат)дихром комплекса



Слика 5. Геометријски параметри за комплексе типа Cr_2L_2 са мостовним лигандима

Међутим, право објашњење настајања ове везе знатно је сложеније. Наиме, оба атома Cr могу се сматрати d_{z^2} хибридизованим. Спољно оријентисана ($s-d_{z^2}$) хибридна орбитала користи се за формирање Cr–Cr σ -везе. Овај тип преклапања резултира грађењем угла C–Cr–C од 90° и дозвољава слободну ротацију C–Cr везе око Cr–Cr осе. Стерно одбијање волуминозних Ar' лиганата за последицу има грађење тупог угла C–Cr–Cr и *trans*-увијену геометрију централног C–Cr–Cr–C низа.

Пар $s+d_{z^2}$ хибридних орбитала хрома које се простиру дуж заједничке осе преклапа се и формира M–M σ -везу, док π - и δ -везе настају на претходно описан начин.

У оба објашњења формални ред везе између атома хрома је 5.

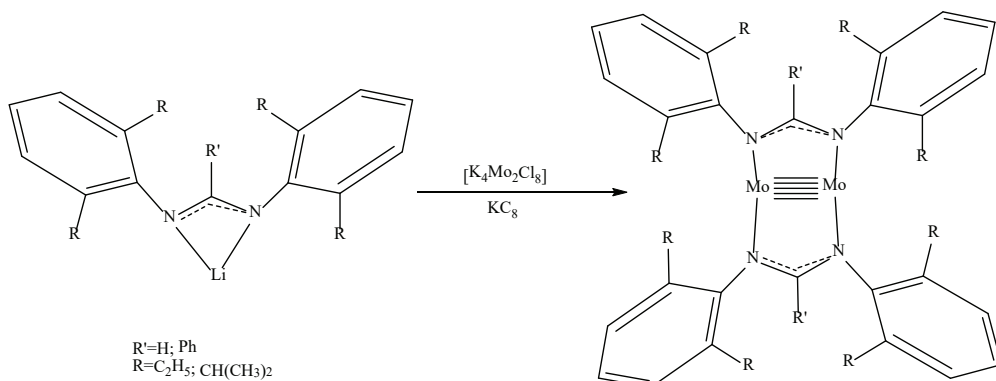
Циљ неких истраживања била је синтеза ниско-координованих динуклеарних кластера са вишеструким метал–метал везама, „ојачаним“ додатним лигандима, који могу да ослабе метал–лиганд π -везујуће интеракције и повећају M–M интеракције. С тим у вези, у раду [28] описана је синтеза и структура два динуклеарна кластера хрома са петоструком везом (шема 2). Редукцијом једињења 1 помоћу KC_8 добијен је мрки, парамагнетични трис(амидинат)дихром кластер 2, у коме хром има мешовити оксидациони број (+1 и +2).

У једињењу 3, очувана је структура „фењера“ (енг. *lantern*), али је дошло до значајног смањења дужине Cr–Cr везе (са $1,82 \text{ \AA}$ у 2 на $1,74 \text{ \AA}$ у 3).

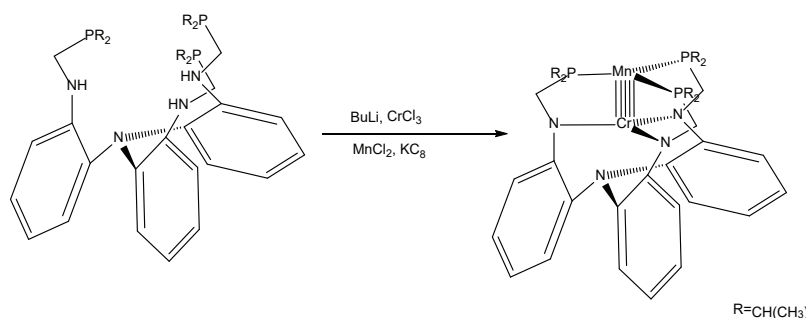
Повећање дужине Cr–N везе у једињењу 3 због једног додатног електрона узрок је слабијих M–L интеракција у поређењу са истим интеракцијама у једињењу 2. Овим долази до бољег преклапања по две $d_{x^2-y^2}$ и две d_{xy} орбитале, које формирају две δ -везе.

Синтеза једног од првих кластерних једињења у којима су петоструко везана два атома молибдена приказана је на шеми 3. За формирање овакве везе чини се да је кључно коришћење амидинато лиганата са гломазним 2,6-диалкилфенил супституентима [31].

Посебно дизајниран лиганд омогућио је формирање петоструке везе између хрома и мангана у кластерном једињењу чија је синтеза приказана на шеми 4. Наиме, коришћени лиганд има два различита координациона места у свом „цепу“ чиме је омогућено узастопно увођење Cr и Mn, након чега следи редукција са образовањем петоструке везе [32].



Шема 3. Синтеза кластерног једињења у коме постоји петострука Мо–Мо веза

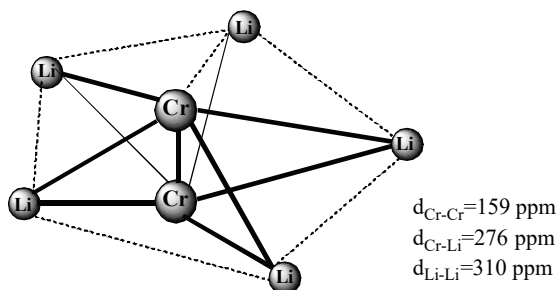


Шема 4. Реакција синтезе кластерног једињења у коме постоји петострука Мп–Сг веза

ШЕСТОСТРУКА МЕТАЛ – МЕТАЛ ВЕЗА

Максималан ред везе шест је повезан са постојањем шест валентних орбитала (пет *d* орбитала и једне *s* орбитале) [33]. Овај ред везе је нађен између атома истог елемента код W_2 и Mo_2 [34], а у најновије време вршени су теоријски прорачуни који испитују могућности постојања и стабилност овакве везе код Cr_2 , као и његових једињења.

Код Mo_2 и W_2 постоји ефекат ширења *d* орбитала и контракције *s* и *p* орбитала услед чега долази до очигледнијих *d-d* преклапања и јаче δ везе [35]. Ово пак није случај са Cr_2 , где је нестабилност, односно мала јачина шестоструке Cr-Cr везе повезана са разликом у величини *3d* и *4s* орбитала. Интеракција *4s-4s* се дешава на знатно већој удаљености од интеракције *3d-3d* [36]. Прорачуни [36] су показали да је ултракратку шестоструку Cr-Cr везу могуће стабилизovati увођењем алкалних метала у екваторијалне положаје (слика 6).



Слика 6. Геометрија теоријског кластера са ултра-кратком Cr-Cr везом у присуству пет атома Li у екваторијалним положајима

На крају, треба рећи да су најновији квантохемијски прорачуни указали на могућност постојања шестоструке везе не само између истоимених атома, већ и у хетерополарним молекулима (нпр. Rh-Sc) [37].

ЗАКЉУЧАК

И поред бројних експерименталних истраживања и теоријских прорачуна везаних за хемијске проблеме, једна од фундаменталних теорија, теорија хемијске везе остаје и даље интригантна област.

Синтеза и физичка карактеризација органометалних једињења која садрже једну или више директних метал-метал веза већ дуго су предмет проучавања. Међутим, у новије време велику пажњу привлачи испитивање њихове реактивности, што је посебно интересно због њихове потенцијалне примене у каталитичке сврхе [38]. Тако нпр. једињење $[\{\eta^5\text{-}2,3,4,5\text{-Me}_4\text{C}_4\text{N}(\text{AlClMe}_2)\text{Cr}\}_2(\mu\text{-Me}_2)]$ у којем постоји директна веза између два хрома служи као самоактивирајући катализатор тримеризације етилена [39]. Такође, ова једињења су нашла примену и као редукциона средства, нпр. „неоргански Грињарев реагенс“ (кластерно једињење са директном Mn-Mg везом) [40].

Објашњење постојања нарочито четвороструке, али и петоструке M-M везе, које су нађене у металним кластерима, једно је од највећих достигнућа модерне неорганске хемије. У историји вишеструких M-M веза, једињења хрома имају посебну улогу, јер је за њих везано откриће и карактеризација “супер-кратких” четвороструких и петоструких веза.

Синтеза оваквих једињења отвара нове могућности испитивања у области која се нијени сматрала постојећом. Главни циљ хемичара, како експериментатора, тако и теоретичара, несумњиво је сарадња у циљу што бољег

разумевања оваквих необичних веза које настају између елемената *d*-блока и сличних једињења *f*-блока, која нису ван домањаја [41].

Abstract

MULTIPLE METAL–METAL BONDS

Marijana S. KOSTIĆ, Mirjana M. RADANOVIĆ,
Vukadin M. LEOVAC

Faculty of Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad,
Serbia, e-mail: marijana.kostic@dh.uns.ac.rs

Compounds containing multiple metal–metal bonds are known for a long time, but were not structurally characterized until the 1920s. By now, the great number of examinations are made in order to understand the nature of this kind of interactions. Here we emphasize the synthesis and characterization of the compounds that contain quadruple, quintuple and sextuple M–M bonds, since the explanation of their formation is one of the most shining moments in the history of inorganic chemistry. These bonds are found only in metal clusters, and among them clusters of Cr are the most important. Nowadays, the main goal of chemists is to synthesize and examine reactivity of the metal clusters, which could enable or improve their application as catalysts. Also, the success of understanding the formation of multiple bonds in the compounds formed by *d*-elements, opens new synthetic possibilities for the similar compounds with the elements of *f*-block.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Havighurst, *J. Am. Chem. Soc.* 48 (1926) 2113. <https://doi.org/10.1021/ja01419a016>
2. Ю. Н. Кукушкин, Химия координационных соединений, Москва, Высшая школа, 1985.
3. В. М. Леовац, Хемиски преглед 1-2 (1989) 29.
4. Н. Б. Милић, Неорганска комплексна и кластерна једињења, ПМФ, Крагујевац, 1998.
5. R. E. Da Re, J. L. Eglin, C. N. Carlson, K. D. John, D. E. Morris, W. H. Woodruff, J. A. Bailey, E. Batista, R. L. Martin, F. A. Cotton, E. A. Hillard, C. A. Murillo, A. P. Sattelberger, R. J. Donohoe, *J. Am. Chem. Soc.* 132 (2010) 1839. <https://doi.org/10.1021/ja9055504>
6. J. E. Huheey, *Inorganic Chemistry*, Harder and Row, New York, 1978.
7. R. H. D. Lyngdoh, H. F. Schaefer III, R. B. King, *Chem. Rev.* 118 (2018) 11626. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00297>
8. W. –K. Li, G. –D. Zhou, T. C. W. Mak, *Advanced Structural Inorganic Chemistry*, Oxford University Press, Oxford, 2008.
9. F. A. Cotton, C. B. Harris, *Inorg. Chem.* 4 (1965) 330.
10. D. Lawton, R. Mason, *J. Am. Chem. Soc.* 87 (1965) 921.
11. F. A. Cotton, C.A. Murillo, R.A. Walton, *Multiple Bonds Between Metal Atoms*, Springer, New York, 2005.
12. M. H. Chisholm, F.A. Cotton, *Acc. Chem. Res.* 11 (1978) 356.
13. F. A. Cotton, *J. Chem. Educ.* 60 (1983) 713. <https://doi.org/10.1021/edo60p713>
14. F. A. Cotton, *Acc. Chem. Res.* 11 (1978) 225.
15. F. A. Cotton, *Acc. Chem. Res.* 2 (1969) 240.
16. F. A. Cotton, D.G. Nocera, *Acc. Chem. Res.* 33 (2000) 483. <https://doi.org/10.1021/ar9801160>
17. F. A. Cotton, N. F. Curtis, C. B. Harris, B. F. G. Johnson, S. J. Lippard, J. T. Mague, W. R. Robinson, J. S. Wood, *Science* 145 (1964) 1305. <https://doi.org/10.1126/science.145.3638.1305>
18. F. A. Cotton, N. F. Curtis, B. F. G. Johnson, W. R. Robinson, *Inorg. Chem.* 4 (1965) 326.
19. G. L. Miessler, D. A. Tarr, *Inorganic Chemistry*, Fourth Edition, Prentice Hall, USA 2011.
20. C. D. Garner, R. G. Senior, T. J. King, *J. Am. Chem. Soc.* 98 (1976) 3526.
21. F. A. Cotton, R. A. Walton, *Multiple Bonds Between Metal Atoms*, John Wiley, New York, 1982.
22. F. A. Cotton, S. Koch, M. Millar, *Inorg. Chem.* 17 (1978) 2084.
23. S. Rej, H. Tsurugi, K. Mashima, *Coord. Chem. Rev.* 355 (2018) 223. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2017.08.016>
24. R. S. Brown, R. W. Marcinko, *J. Am. Chem. Soc.* 100 (1978) 5586.
25. F. A. Cotton, C. A. James, *Inorg. Chem.* 32 (1992) 5298.
26. T. Nguyen, A. D. Sutton, M. Brynda, J. C. Fettinger, G. J. Long, P. P. Power, *Science* 310 (2005) 844.
27. K. A. Kreisel, G. P. A. Yap, O. Dmitrenko, C. R. Landis, K. H. Theopold, *J. Am. Chem. Soc.* 129 (2007), 14162. <https://doi.org/10.1021/jao76356t>
28. N. V. S. Harisomayajula, A. K. Nair, Y. C. Tsai, *Chem. Commun.* 50 (2014) 3391. <https://doi.org/10.1039/C3CC48203K>
29. F. R. Wagner, A. Noor, R. Kempe, *R. Nat. Chem.* 1 (2009) 529. <https://doi.org/10.1038/nchem.359>
30. A. Falceto, K. H. Theopold, S. Alvarez, *Inorg. Chem.* 54 (2015) 10966. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.5b02059>
31. Y.-C. Tsai, H.-Z. Chen, C.-C. Chang, J.-S.K. Yu, G.-H. Lee, Y. Wang, T.-S. Kuo, *J. Am. Chem. Soc.* 131 (2009) 12534. <https://doi.org/10.1021/ja905035f>
32. L. J. Clouston, R. B. Siedschlag, P. A. Rudd, N. Planas, S. Hu, A.D. Miller, L. Gagliardi, C. C. Lu, *J. Am. Chem. Soc.* 135 (2013) 13142. <https://doi.org/10.1021/ja406506m>
33. L. A. Wilkinson, *Organomet. Chem.* 43 (2021) 111.
34. Y.-Lei Wang, H.-Shi Hu, W.- Lu Li, F. Wei, J. Li, *J. Am. Chem. Soc.* 138 (2016) 1126. <https://doi.org/10.1021/jacs.5b11793>
35. X. Liu, M. Zhang, Y. Liu, S. Wu, Z. Su, *Dalton. Trans.* 51 (2022) 2664. <https://doi.org/10.1039/D1DT04360A>
36. G. L. Manni, A. L. Dzubak, A. Mulla, D. W. Brogden, J. F. Berry, L. Gagliardi, *Chem. Eur. J.* 18 (2012) 1737. <https://doi.org/10.1002/chem.201103096>
37. A. J. Kalita, N. Gohain, A. Bordoloi, Dr. K. K. Bania, Dr. A. K. Guha, *Chem. Phys. Chem.* 24 (2023) e202200873. <https://doi.org/10.1002/cphc.202200873>
38. D. A. Roberts, G. L. Geoffroy, y Comprehensive Organometallic Chemistry (Vol. 6), G. Wilkinson, F. Gordon, A. Stone u E. W. Abel, Eds., Elsevier Science Ltd, Oxford, 1982, p 763.
39. I. Vidyaratne, G. B. Nikiforov, S. I. Gorelsky, S. Gambarotta, R. Duchateau, I. Korobkov, *Angew. Chem. Int. Ed.* 48 (2009) 6552. <https://doi.org/10.1002/ange.200900957>
40. J. Hicks, C. E. Hoyer, B. Moubarak, G. Li Manni, E. Carter, D. M. Murphy, K. S. Murray, L. Gagliardi, C. Jones, *J. Am. Chem. Soc.* 136 (2014) 5283. <https://doi.org/10.1021/ja5021348>
41. U. Radius, F. Breher, *Angew. Chem. Int. Ed.* 45 (2006) 3006. <https://doi.org/10.1002/anie.200504322>



Анђела ПЕТРОВИЋ

Универзитет у Београду - Хемијски факултет, Катедра за биохемију,
Студентски трг 12-16, 11158 Београд

Е-пошта: andjelao74@gmail.com

НА МОРСКОМЕ ПЛАВОМ ЖАЛУ – ЧАРОБНИ СВЕТ ПРОТЕИНА

УВОД

Овај рад резултат је активности на изборном предмету Огледи у настави биохемије (<https://www.chem.bg.ac.rs/predmeti/435B2.html>); Инстаграм: @mnikolic1971), који је у оквиру основних академских студија Биохемије реализован у пролећном семестру школске 2022/2023. на Хемијском факултету Универзитета у Београду. Циљ курса је да студенти разумеју значај и сагледају место огледа у настави биохемије, да усвоје методске принципе који се користе при избору, извођењу и обради огледа за наставу (био)хемије на различитим нивоима школовања, да користе различиту литературу за припрему огледа (укључујући у Web изворе какав је YouTube), да изводе огледе за одређене наставне јединице и теме, те да саставе збирку огледа (протокола) погодну за рад са ученицима, коју ће наставници и професори моћи да искористе у свом раду у различитим образовним институцијама. Мој избор био је да осмислим и припремим атрактивне огледе у чијем средишту су молекули протеини (раниј назив беланчевине), уз нуклеинске киселине познати као молекули живота.

1. ТЕОРИЈСКИ ОСВРТ

Протеини су есенцијални елементи живота, велики молекули неопходни за правилну структуру и функцију свих живих ћелија у свим организмима. О значају протеина довољно говори и само порекло њиховог назива: реч “протеин” долази од грчке речи “протос”, што значи први, најважнији елемент [1].

Протеини су често и у центру препорука нутрициониста, неопходни у већим количинама у исхрани спортиста, при чему је оптимални унос (квалитетних, тј. комплетних протеина, са довољном количином свих есенцијалних аминокиселина) неопходан свакоме човеку који жели да поради на свом здрављу, телу, а посредно, духу. Наводимо овде само неке од улога протеина у телу човека [1]:

- Раст и развој – протеини су кључни за раст и развој ткива и ћелија, односно, за раст и развој читавог организма;
- Биохемијске реакције – ензими су (пре свега) протеини, савршени биолошки катализатори, задужени за правилно функционисање свих биохемијских процеса у организму, као што је варење хране;
- Понашају се као гласници – преносе информације између ћелија, ткива и органа;

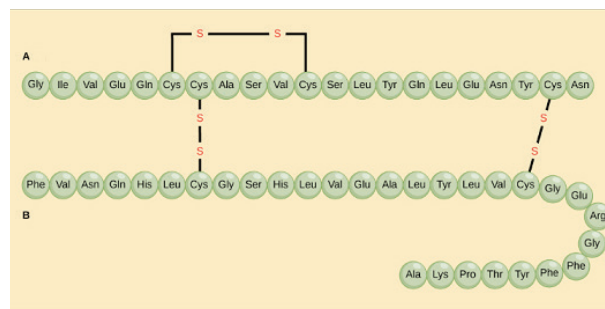
- Фибриларни (влакнасти) протеини заслужни су за одржавање структуре, снаге и еластичности многих делова нашег организма;
- Учествоју у одржању кисело-базне равнотеже;
- Важни су делови имунског (одбрамбеног) система, пре свега као антитела;
- Обезбеђују метаболичку енергију – по потреби, протеини могу бити сјајан извор молекула аденозин-трифосфата.

1.1. Структура протеина

Протеини су изграђени од аминокиселина. Иако у телу постоји много једињења која се хемијски могу дефинисати као аминокиселине, само 20 стандардних аминокиселина кодираних са ДНК учествују у изградњи протеина. И друге (непротеинске) аминокиселине, као што су орнитин, цитрулин, γ -аминобутират, β -аланин и таурин, играју квантитативно важне улоге у телу. Од аминокиселина присутних у протеинима, 9 се сматрају нутритивно неопходним (есенцијалним) код одраслих људи, јер тело није у стању да их синтетиче *de novo*: леуцин, валин, изолеуцин, хистидин, лизин, метионин, треонин, триптофан и фенилаланин. Осим тога, две аминокиселине захтевају прекурсоре за своју биосинтезу, тако да цистеин настаје од метионина, а тирозин од фенилаланина [2].

1.1.1. Примарна структура протеина

Најједноставнији ниво структуре протеина, његова примарна структура, је једноставно речено секвенца аминокиселина у полипептидном ланцу, односно редослед аминокиселина међусобно повезаних пептидном везом. [2]. На пример, хормон инсулин (Слика 1) састоји се од два полипептидна ланца (А и Б).

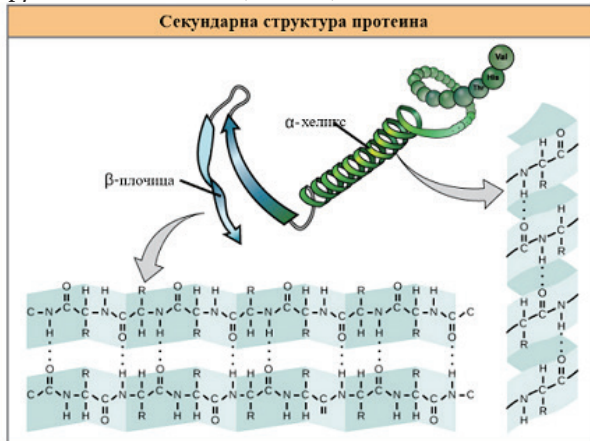


Слика 1. Модел примарне структуре протеина, приказан на аминокиселинској секвенци хормона инсулина.

Сваки ланац има свој низ аминокиселина састављених одређеним редоследом. На пример, секвенца А ланца инсулина почиње са остатком глицина на N-крају, а завршава се са остатком аспарагина на C-крају и разликује се од секвенце Б ланца. Секвенца протеина је одређена са ДНК гена који кодира дати протеин (или који кодира део протеина, за протеине са више субјединица/ланаца) [2].

1.1.2. Секундарна структура протеина

Секундарна структура протеина односи се на локалне увијене структуре које се формирају унутар полипептида услед интеракције између атома његове кичме, при чему „кичма“ подразумева полипептидни ланац без група бочних остатака аминокиселине (тзв. R остаци). Према томе, секундарна структура не укључује атоме R група остатака аминокиселина. Најчешћи типови секундарних структура у протеинима су α -хеликс и β -набрана плочица [2]. Обе структуре настају услед стварања водоничних веза, које се формирају између кисеоника из карбонилне групе једне аминокиселине и водоника из амино групе друге аминокиселине (Слика 2).



Слика 2. Општи модел секундарне структуре протеина.

У α -хеликсу, карбонилна (C=O) група једне аминокиселине (n) је водоничном везом повезана са водоником из амино групе (N-H) друге аминокиселине која се налази на четвртном месту низ ланац (n+4). Овај образац везивања повлачи полипептидни ланац у спиралну структуру која подсећа на увијену траку, при чему сваки окрет спирале (хеликса) у просеку садржи 3,6 аминокиселине. Бочни остаци аминокиселина излазе из α -хеликса, где су слободни да међусобно интерагују [2].

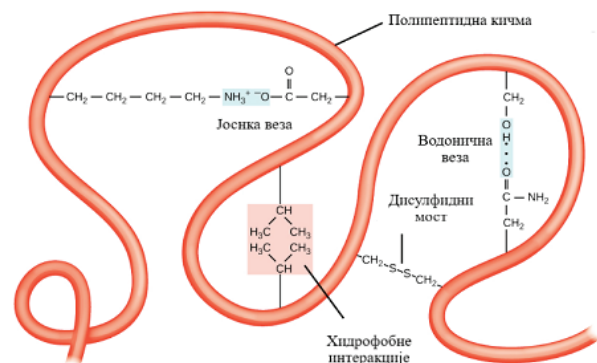
У β -набраној плочици, два или више сегмента полипептидног ланца се постављају један наспрам другог, формирајући структуру налик на плочицу која се држи заједно водоничним везама. Водоничне везе се формирају између карбонилних и амино група полипептидне кичме, док се групе из бочних остатака простиру изнад и испод равни плочице. „Праменови“ β -набране плоче могу бити паралелни, усмерени у истом правцу (што значи да се њихови N- и C крајеви поклапају) или антипаралелни, усмерени у супротним смеровима (што значи да је N-крај једног ланца позициониран поред C-краја другог) [2].

Одређене аминокиселине се мање или више налазе у структури α -хеликса или β -набране плочице. На пример, аминокиселина пролин омета структуру хеликса, пошто његов необични бочни остатак (који се везује за амино групу да би формирали прстен) ствара избочину у ланцу (закривљење) и није компатибилан са образовањем хеликса. Пролин се обично налази у тзв. кривинама, неуређеним регионима између секундарних структура [2]. Слично томе, аминокиселине као што су триптофан, тирозин и фенилаланин, које имају велике прстенасте структуре у својим бочним групама, често се налазе у структури β -набране плочице, зато што она пружа довољно простора за смештање њихових бочних остатака [2]. Већина протеина садрже и α -хеликсе и β -набране плочице у својој структури, иако неки садрже само један тип секундарне структуре, или у њиховој изградњи доминирају неуређени делови полипептидног ланца.

1.1.3. Терцијарна структура протеина

Финална, и за активност нужна тродимензионална структура полипептида назива се терцијарна структура протеина. Терцијарна структура је првенствено последица интеракција између бочних група аминокиселина које чине протеин [2].

Интеракције бочних група аминокиселина које доприносе стабилности терцијарне структуре укључују водоничну везу, јонску везу, дипол-дипол интеракције и Лондонове дисперзионе силе – у основи, читав спектар нековалентних веза (Слика 3). На пример, бочне групе са сличним наелектрисањем одбијају једна другу, док оне са супротним наелектрисањем могу да формирају јонску везу. Слично томе, поларне бочне групе формирају водоничне везе и друге дипол-дипол интеракције. Такође важне за терцијарну структуру протеина су и хидрофобне „интеракције“, у којима се аминокиселине са неполярним, хидрофобним групама групишу у унутрашњости протеина, остављајући хидрофилне (поларне) аминокиселине споља да интерагују са околним молекулима воде [2].



Слика 3. Везе између бочних остатака аминокиселина одговорне за формирање и одржање терцијарне структуре протеина.

Један посебан тип везе значајно може допринети терцијарној структури протеина – дисулфидна веза. Дисулфидне везе су ковалентне везе које настају повезивањем две тиолне (-SH) групе у бочним ланцима

из два остатка аминокиселине цистеин; стога су много јаче од других врста веза које стабилизују терцијарну структуру (Слика 3). Оне делују као молекулско „сигурносно уже“, држећи делове полипептида чврсто причвршћене један за други [2].

1.1.4. Кватернарна структура протеина

Многи протеини се састоје од једног полипептидног ланца и имају само три укратко описана нивоа структуре. Међутим, неки се састоје од више полипептидних ланаца, познатих и као субјединице. Када се ове субјединице споје (асосују), дају протеину његову карактеристичну кватернарну структуру [2].

Школски пример протеина са кватернарном структуром је молекул хемоглобина. Хемоглобин транспортује кисеоник из крви у све ћелије и ткива и састоји се од четири субјединице, по две од α и β типа ($\alpha_2\beta_2$). Други пример је ДНК-полимераза, ензим који синтетише нове ланце ДНК и састоји се од десет субјединица. Исте врсте веза које доприносе терцијарној структури (углавном слабе нековалентне интеракције, као што су водоничне везе и Лондонове дисперзионе интеракције) такође држе субјединице протеина заједно [2].

1.2. Протеини у храни

Садржај протеина у храни значајно варира. Уопштено говорећи, животињски извори по правилу су супериорнији и по количини и по квалитету (заступљености различитих аминокиселина) протеина у поређењу са биљном храном. Месо, јаја и млеко се сматрају одличним изворима високо-квалитетних протеина, а протеини јаја се често узимају као идеални (потпуни) протеини са којима се пореди аминокиселински профил других намирница [3].

Неке намирнице на биљној бази, пре свега махунарке као што су пасуљ, грашак и сочиво, садрже значајне количине протеина. Међутим, релативно мали број биљних намирница обезбеђује довољне количине свих неопходних (есенцијалних) аминокиселина или глицина. Тако, већина махунарки не садржи (за потребе организма човека) довољно метионина, а у кромпиру, иако садржи релативно велике количине протеина, однос неопходних аминокиселина није добар. Житарнице, на пример, имају низак садржај лизина и триптофана, али садрже довољно метионина [3].

Према томе, комбинација различите биљне хране у јелима припремљених од пиринча и пасуља, или путер од кикирикија са хлебом, резултира комплементарним ефектом у погледу уноса довољних количина свих протеинских аминокиселина, подижући квалитет унетих протеина у поређењу са било којом од ових врста хране која се конзумира сама [3].

2. ОГЛЕДИ СА ПРОТЕИНИМА

2.1. Моделовање структуре протеина

Како је објашњено у теоријском уводу, протеини се описују на нивоу примарне, секундарне, терцијарне и кватернарне структуре. Примарна подразумева редослед

и врсту аминокиселина које су међусобно повезане пептидном везом. Секундарна структура протеина представља структуру насталу услед интеракције између различитих делова полипептидне кичме и може бити у облику α -хеликса, β -набране плочице или као неуређени сегменти. Терцијарна структура представља 3D структуру функционалног протеина, за чији облик (најчешће флобуларни/лоптасти) су одговорне интеракције између бочних остатака аминокиселина. Кватернарна структура протеина је „збир“ терцијарних структура једног или различитих полипептидних ланаца, који се увијају независно и карактеристична је за протеине са више субјединица [2].

Материјал

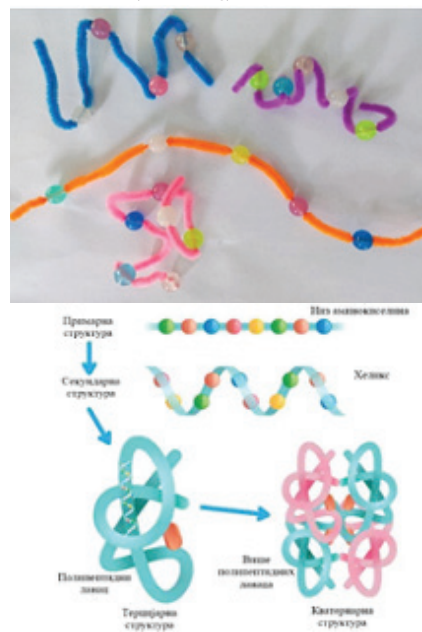
- Савитљива жица или трака
- Перлице различитих боја

Поступак

Перлице различитих боја су нанизане на савитљиву траку. Једна трака са перлицама је остављена таква каква јесте, неувијена. Друга је увијена у облику α -хеликса (спирале) око прста, а трећа у облику набране β -плочице (паралелне и антипаралелне цик-цак линије). Једна од ових трака је потом додатно увијена, тако да се просторно приближе две изабране боје перлица и овај поступак је поновљен неколико пута. За крај, четири траке (које су додатно увијене) су међусобно повезане преко својих површина [4].

Тумачење огледа

Перлице различитих боја представљају различите аминокиселине, а савитљива трака полипептидну кичму полипептида (Слика 4).



Слика 4. Направљени модели различитих нивоа структуре протеина и пратећа појашњења.

Трака са перлицама која није увијена модел је за примарну структуру протеина, односно низ аминокиселина које су повезане пептидном везом. Траке са перлицама које су увијене у облику спирале или цик-цак линија представљају моделе секундарне структуре

протеина. Када су модели секундарних структура додатно увијени, тако да се одређене перлице приближе једне другима добија се модел терцијарне структуре протеина. Више међусобно спојених оваквих структура предствља кватернарну структуру протеина.

Циљ/сврха огледа

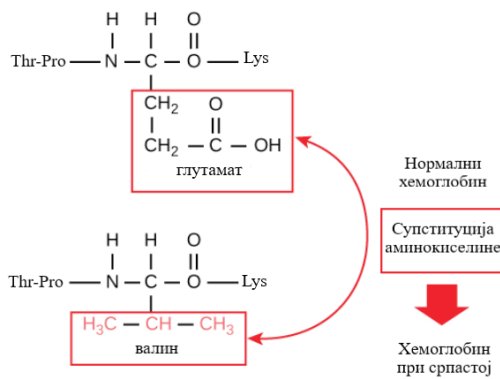
Циљ овог огледа је да се кроз визуелно занимљив начин приближи и објасни (сложена) структура протеина, као и да ученици и сагледају значај процеса увијања протеина за активност/функцију протеина.

Напомена

Уколико се за извођење огледа користе искористиле мање перлице и дуже савитљиве траке могуће је направити више различитих секундарних структура на једном/истом ланцу, дакле, направити моделе глобуларних (лоптастих) и фибриларних (влакнастих) протеина и даље објаснити разлике у њиховој структури.

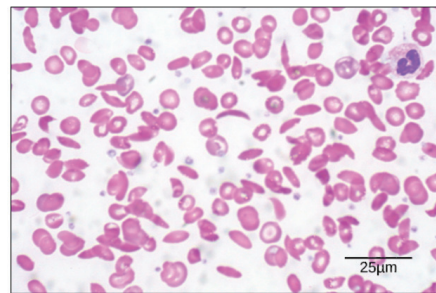
2.2. Пронађи разлику

Промена секвенце молекула ДНК (услед мутација на циљном гену) може довести до промене секвенце аминокиселина протеина [5]. Промена једне једине аминокиселине у секвенци полипептидног ланца може драматично да утиче на укупну структуру, активност и функцију протеина. На пример, промена једне аминокиселине у молекулу хемоглобина је повезана са анемијом српастих ћелија, наследном болешћу која погађа црвена крвна зрнца (еритроците) (Слика 5). Глутаминска киселина, иначе шеста аминокиселина β-ланца хемоглобина, замењена је валином [5].



Слика 5. Замена остатка глутамата валином, у структури молекула хемоглобина у анемији српастих еритроцита.

Молекул хемоглобина се састоји од два α ланца и два β ланца, сваки са приближно 150 аминокиселина, што је укупно око 600 остатака аминокиселина у целом протеину [5]. Разлика између нормалног молекула хемоглобина и молекула хемоглобина српастих ћелија је тако само у 2 аминокиселине! Особа чије тело производи само хемоглобин српастих ћелија ће патити од симптома анемије. Ово се дешава зато што промена глутамата у валин (на површини молекула) чини да се молекули хемоглобина слепљују у дуга влакна и потом таложе. Еритроцити зато мењају облик диска у облик полумесеца [5]. Промењен изглед „српастих“ ћелија најбоље се види када се помешају два размаза крви (Слика 6).



Слика 6. Размаз крви под микроскопом, на ком се запажају нормални еритроцити (облик диска) и српасте еритроцити (облик полумесеца).

Српасте ћелије се „заглављују“ док покушавају да прођу кроз крвне судове. Заглављене ћелије ометају целокупни проток крви кроз тело и могу изазвати озбиљне здравствене проблеме код људи, укључујући отежано дисање, вртоглавицу, главобоље и болове у стомаку [5].

Материјал

- Папир
- Картон
- Штампа у боји/фломастери

Поступак

Пронађене су и одштапане секвенце гена за β-ланац хемоглобина са и без тачкасте мутације одговорне за настанак анемије српастих ћелија (Слика 7). Задатак би био пронаћи разлику у секвенци (разлику у низу азотних база/нуклеотида) гена који кодира овај полипептидни ланац. Поред овог примера, може се дати и пример гена са и без инсерције/делеције (уметања/губљења нуклеотида), те дискутовати промене у структури полипептида које се очекују у датим примерима.



Слика 7. Припремљени материјали за овај (теоријски) оглед.

Тумачење огледа

На Слици 7 уочава се замена глутамата валином која је одговорна за појаву српасте анемије, услед промене наелектрисане аминокиселине за ненаелектрисану на површини протеина. Ова супституција је одговорна за таложење β -ланаца хемоглобина, изазивајући промену облика еритроцита. На Слици 7 уочава се да је у другом примеру, где је дошло до делеције једног цитозина, чиме се помера оквир читања при транслацији.

Циљ/сврха огледа

Циљ огледа је да ученици схвате како генски запис (информација) утиче на синтезу протеина, односно како триплет нуклеотида представља шифру за једну протеинску аминокиселину. У зависности од узраста, кроз ове примере могуће је упознати се са појмом генетичког кода и са врстама мутација, њеним могућим узрочницима и последицама до којих оне доводе.

2.3. Протеинска азбука

Двадесет протеинских аминокиселина скраћено се обележавају трословним и једнословним ознакама. На пример, аланин се обележава као Ala и A. Имајући у виду да називи неких аминокиселина почињу на исто слово, није правило да ће једнословна ознака бити управо почетно слово неке аминокиселине [2]. Преглед скраћеница аминокиселина дат је у Табели 1.

Табела 1. Једнословне и трословне скраћенице протеинских аминокиселина.

Аминокиселина	Једнословна скраћеница	Трословна скраћеница
Аланин	A	Ala
Цистеин	C	Cys
Аспартат	D	Asp
Глутамат	E	Glu
Фенилаланин	F	Phe
Глицин	G	Gly
Хистидин	H	His
Изолеуцин	I	Ile
Лизин	K	Lys
Леуцин	L	Leu
Метионин	M	Met
Аспарагин	N	Asn
Пролин	P	Pro
Глутамин	Q	Gln
Аргинин	R	Arg
Серин	S	Ser
Треонин	T	Thr
Валин	V	Val
Триптофан	W	Trp
Тирозин	Y	Tyr

Материјал

- Папир
- Маказе
- Штампач у боји/фломастери

Поступак

Осмишљен је дизајн 20 картица, по једне за сваку од 20 аминокиселина које изграђују протеине. На картици је представљена структура аминокиселине, њен пун назив, трословна и једнословна скраћеница (Слика 8). Задатак за ученике је (макар приближно) да напишу своје име једнословним скраћеницама аминокиселина и потом, без гледања у пун назив, рећи које аминокиселине су за то „искоришћене“.



Слика 8. Изглед припремљених картица за овај (теоријски) оглед.

Тумачење огледа

Ако бисмо покушали да напишемо име МИЛА користећи једнословне скраћенице аминокиселина, искористили бисмо картице са аминокиселинама метионин (M, Met), изолеуцин (I, Ile), леуцин (L, Leu) и аланин (A, Ala). Када окренемо картице на страну са структуром, видимо да ове аминокиселине имају исти N- и C-крај, али различите бочне остатке.

Циљ/сврха огледа

Циљ овог огледа је да се кроз игру науче називи и скраћенице свих 20 (стандардних) протеинских аминокиселина, али и да се поређењем њихових структура увиди шта је свим аминокиселинама заједничко, а шта различито.

2.4. Протеински отисак

Електрофореза је аналитичка техника за раздвајање протеина на основу разлика у њиховим молекулским масама и наелектрисању. Када се протеини крећу кроз матрикс гела ношени електричним пољем, мањи протеини мигрирају брже због мањег отпора матрикса гела. Други утицаји на брзину миграције кроз матрикс гела укључују облик (структуру) и наелектрисање протеина [6].

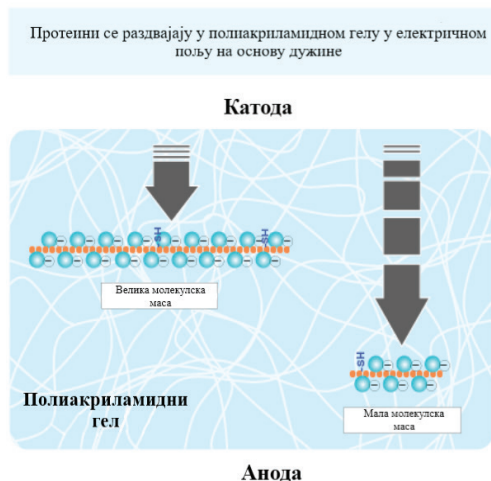
У SDS-PAGE електрофорези, употреба натријум додецил сулфата (SDS, натријум-лаурил-сулфат) и полиакриламидног гела (PA) у великој мери елиминише утицај структуре и наелектрисања протеина, а протеини се одвајају искључиво на основу дужине (месе) полипептидног ланца. SDS је детергент са јаким ефектом денатурисања протеина и везује се за полипептидну кичму молекула у константном молском односу [6]. У присуству SDS-а и редукционог агенса који раскида дисулфидне везе битне за правилно увијање (као што

је 2-меркаптоетанол), протеини се одвијају у линеарне ланце са негативним наелектрисањем (Слика 9).



Слика 9. Принцип SDS-PAGE електрофорезе за раздвајање протеина из смеше.

Полимеризовани акриламид (полиакриламид) формира матрицу налик мрежици, која је погодна за раздвајање протеина из комплексних смеша, при чему чврстина гела омогућава лако руковање. Полиакриламидна SDS-гел-електрофореза омогућава истраживачима да одвоје протеине на основу разлика у њиховој дужини (сви су негативно наелектрисани „штапићи“), која је пропорционална маси молекула (Слика 10), на лак, јефтин и релативно прецизан начин [6].



Слика 10. Принцип електрофоретског раздвајања протеина на основу разлика у дужини, тј. маси молекула.

Материјал

- Мономерни раствор акриламида и бисакриламида (30% Т, 2,7% С)
- Пуфер за раздвајајући гел (1,5 М Tris HCl, pH 8,8)
- Пуфер за концентрујући гел (0,5 М Tris HCl, pH 6,8)
- 10% раствор SDS-а (m/v)
- 10% раствор иницијатора амонијум-персулфата (АПС)
- раствор за надслојавање (2-бутанол или n-бутанол

засићен водом)

- Шток раствор Бредфордског реагенса (100 mL CBV G-250, 50 mL 95% етанол, 100 mL фосфорне киселине и дестиловане воде до 200 mL)
- Пуфер за узорке (ПУЗ; 10% глицерол, 2% SDS, 0,002% бром-фенол плаво и 5% 2-меркаптоетанол)
- Пуфер за електрофорезу (0,025 М Tris, 0,192 М глицин, 0,1% SDS, pH 8,3)
- Раствор за фиксирање, бојење и обезбојавање (50% метанол, 10% сирћетна киселина)
- Раствор за обезбојавање (5% метанол, 7% сирћетна киселина)
- Класична апаратура за SDS-PAGE
- Екстракти протеина изолованих из различите хране

Поступак

Припрему узорка је неопходно обавити сходно почетном материјалу, тако да се добију изолати протеина. Неопходно је одредити концентрацију протеина у сваком узорку (на пример Бредфордским реагентом, стандардна спектрофотометријска метода), како би пре наношења била прерачуната запремина сваког узорка која ће се наносити у бунариће (иста укупна количина протеина у сваком узорку).

Гелови се припремају према Табели 2 [7].

Табела 2. Припрема гелова за стандардну SDS-PAGE.

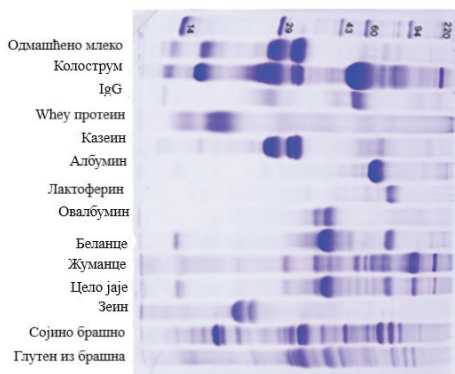
Раствори	Гел за раздвајање (10%)	Гел за концентровање (4%)
Мономерни раствор	10 mL	0,4 mL
Tris pH 8,8	7,5 mL	
Tris pH 6,8		0,75 mL
Дестилована вода	12,05 mL	1,8 mL
TEMED	10 µL	8 µL
Деаерација 5-10 минута		
SDS	0,30 mL	30 µL
APS	0,15 mL	15 µL
Финална запремина	30 mL	3,0 mL

Стакла апаратуре је неопходно очистити етанолом и потом саставити апаратуру. Деаерисани раствор гела за раздвајање се сипа између плоча. Након сипања раствора за (доњи) гел (за раздвајање) површина се надслоји раствором за надслојавање. Када је полимеризација доњег гела завршена, сипа се деаерисани раствор за концентрујући (горњи) гел и у раствор се стави чешљић. Када је полимеризација горњег гела завршена, извади се чешаљ, а у настале бунариће се наносе узорци [7].

Примењена волтажа је константна (80 V) док узорци уђу у гел за раздвајање, а затим повишава од 150 до 400 V (до краја рада), или се све време држи констант-на струја од 12 mA кроз концентрујући гел и 25 mA кроз раздвајајући гел (за димензије гелова од 8 x 8 x 0,1 cm до 14 x 16 x 0,2 cm) [7].

Тумачење огледа

Након визуелизације (фиксирања, бојења и обезбојавања гела), могуће је на гелу уочити много протеинских трака за сваки узорак. Свака трака представља различити протеин, а њен интензитет је пропорционалан концентрацији протеина у узорку. На примеру на Слици 11, приказан је електрофореграм са протеинима из различитих млечних узорака (одмашћено млеко, колострум), јаја (беланце, цело јаје, жуманце), брашна (сојино брашно, глутен), али и неких пречишћених протеина (лактоферин, овалбумин, казеин) [8].



Слика 11. Пример електрофореграма различитих протеина и меша протеина.

Док пречишћени протеини углавном имају једну јако изражену траку на електрофореграму, изолати из различитих намирница показују сијасет трака, односно представљају скуп различитих протеина, присутних у анализираном узорку у различитим концентрацијама.

Циљ/сврха огледа

Циљ ове вежбе је да се, након упознавања са појмовима масе, наелектрисања и раздвајања протеина у електричном пољу, експериментално покаже разлика у протеинском профилу различитих намирница.

2.5. Сад ме видиш, сад ме не видиш! Денатурација протеина различитим агенсима

Сваки протеин има свој јединствени 3D облик. Ако се промени температура или рН околине протеина, или ако је он изложен неким хемикалијама, интеракције које одржавају више нивое структуре могу бити поремећене, узрокујући да протеин изгуби своју карактеристичну нативну структуру и пређе у неуређени низ аминокиселина.

Када протеин изгуби своју структуру вишег реда, не и своју примарну секвенцу, каже се да је денатуриран. Денатурирани протеини су обично нефункционални [2].

За неке протеине денатурација се може поништити, тј, он се може ренатурирати. Ако је примарна структура полипептида још увек нетакнута, полипептид ће можда моћи да се поново увије у свој функционални облик по повратку у своје нормално окружење. У другим случајевима, и то много чешће, денатурација је трајна. Један пример неповратне денатурације протеина је када се јаје испржи. Протеин албумина у течном беланцу постаје непрозиран и чврст јер се денатурише топлотом шпорета и неће се вратити у првобитно стање сировог јајета ни када се охлади [9]. Истраживачи су открили да се неки мали протеини могу поново увити након денатурације, чак и ако су сами у раствору. Пошто они могу сами да пређу од структурно неуређених до увијених структура, њихове аминокиселинске секвенце морају да садрже све информације потребне за увијање до нативне (активне) структуре. Међутим, нису сви протеини у стању да се самостално увију, већ им у томе помажу шаперонски протеини [2].

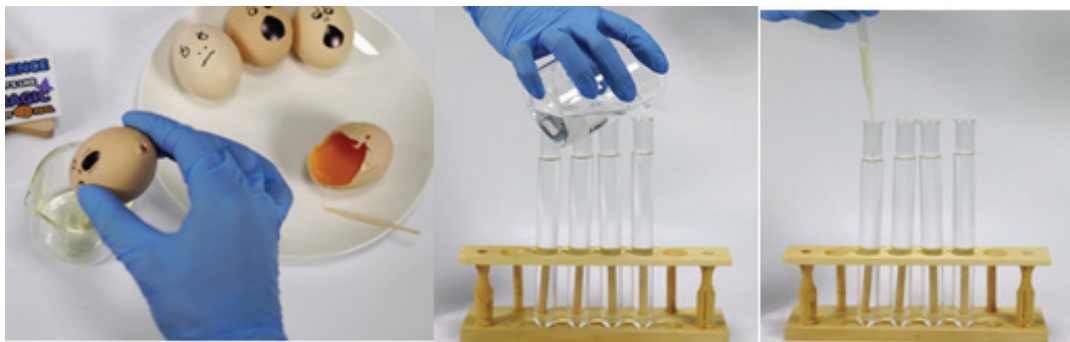
Материјал

- Беланце
- Цело јаје
- 96% етанол
- 2 М раствор натријум-хидроксида
- 2 М раствор хлороводоничне киселине
- Решо
- Тигањ

Поступак

За оглед денатурације протеина беланцета етанолом (органичним растварачем) у епрувете је потребно сипати (неколико mL) 96% етанол (тест) и воду (контрола). У епрувете се потом дода пар капи беланцета, као што је приказано на Слици 12 [9].

За денатурацију протеина беланцета киселинама и базама поступак се понавља, са разликом што се у тест епрувети налази 2 М раствор хлороводоничне киселине или натријум-хидроксида. За денатурацију протеина топлотом потребно је загрејати тигањ на решоу и потом на загрејани тигањ ставити цело јаје („јаје на око“), док је за денатурацију протеина механичком силом на крају потребно снажно умутити беланце виљушком, до формирања стабилне, снежно беле пене.



Слика 12. Ток експеримента денатурације протеина беланцета јајета.

Тумачење огледа

Денатурација протеина органским растварачем се запажа када беланце мења боју и форму када се укапа у органски растварач, а слично се запажа и при укапавању беланцета у растворе киселине и базе. Иреверзибилна (неповратна) денатурација топлотом се запажа када је јаје усудо на врео тигањ, као и када се од вискозног, провидног беланцета интензивним мешањем добије снежно бела пена.

Циљ/сврха огледа

Денатурација протеина се може запазити у свакодневном животу, кроз поступке као што је пржење или кување јајета за доручак. Кроз ове експерименте могуће је показати још неке начине денатурације протеина и уз сваки оглед упознати се шта се дешава са протеином, на молекулском нивоу, у тим специфичним ситуацијама.

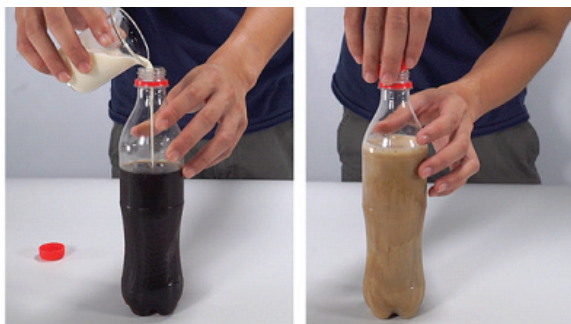
2.6. Зашто кока-кола и млеко нису добар пар?

Материјал

- Једна или више врсти кока-коле
- Друга газирана пића (Фанта)
- 500 mL млека са 2,8% млечне масти

Поступак

Флашице кока-коле (обична и кока-кола са мањим садржајем шећера - „zero“) и фанте су отворене и одливано је по 150 mL течности. У флашице је потом усудо по 150 mL млека, флашице су промућкане и остављене да стоје преко ноћи како би се слојеви раздвојили (Слика 13) [10].



Слика 13. Ток експеримента са кока-колом и млеком.

Тумачење огледа

Након 24 сата уочено је издвајање талога тамније боје, као и обезбојавање газираног пића (Слика 14). Талог потиче од казеина, главног протеина млека, који се денатурирао, пошто је рН ових напитака кисела (услед присуства фосфорне киселине), или близу његове изоелектричне тачке, на којој се он таложи. При денатурацији молекули протеина се умрежавају јонима калцијума и за себе адсорбују боју која се додаје како би ови напаци били атрактивних (карактеристичних) боја.



Слика 14. Крајњи резултат огледа са кока-колом и млеком.

Циљ/сврха огледа

Циљ огледа је да се изазове денатурација протеина, мешањем пића која се свакодневно користе, и потом, кроз разматрање њихових својстава (рН вредност, концентрација протеина, присуство боја, минерала), разумеју молекулске основе овог процеса.

2.7. У потрази за протеинима

Материјал

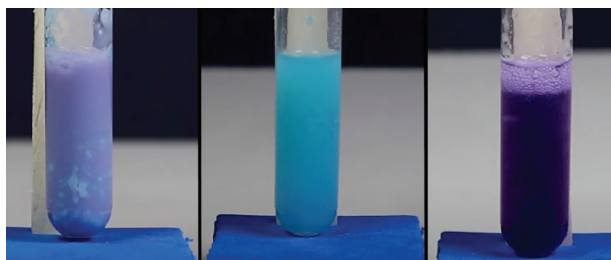
- 10% раствор бакар-сулфата
- 6% расвор натријум-хидроксида
- Млеко по избору
- Беланце
- Раствор куповног брашна
- Вода
- Капалица
- Епрувете

Поступак

У епрувете су сипани (по неколико mL) различити извори протеина (беланце, раствор брашна, раствор желатина, млеко), а у једну епрувету вода као контрола за поређење промена. У сваку епрувету је потом сипано пар капи 10% раствора бакар-сулфата и пар капи 6% раствора натријум-хидроксида и епрувете су снажно промућкане. Посматрана је промена у боји садржаја епрувета [11].

Тумачење огледа

Бакар-сулфат реагује са пептидним везама у алкалним условима, при чему се развија љубичаста боја, чији је интензитет пропорционалан концентрацији протеина. Плава боја, која се запажа након мешања воде и реагенса, означава да у том узорку нема протеина, док се нијансе љубичасте тумаче као боје настале услед реакције између бакра и пептидних веза у протеину (Слика 15).



Слика 15. Приказ позитивне (лево), негативне (средина) и изразито позитивне реакције (десно) у овом огледу.

Циљ/сврха огледа

Циљ овог огледа је да се уочи у којим узорцима/храни има више протеина, на основу боје формиране између (Биуретског) реагенса и протеина, која је пропорционална (укупној) концентрацији протеина у анализираном узорку.

2.8. „Каталаза пена парти“

Реакције у ћелији одигравају се великом брзином, што је омогућено присуством природних (биолошких) катализатора – ензима [1]. Одлика катализатора је да убрзава хемијску реакцију и усмерава њен ток, али се током реакције коју убрзава не троши (Слика 16). Ензими убрзавају хемијске реакције тако што снижавају енергију активације која је потребна да би она отпочела. Ензими су специфични у свом деловању, што значи да сваки ензим делује само на једно једињење (супстрат) или групу сличних једињења (нпр. уреазе разлаже уреу, а протеазе протеине). Ензими обично добијају назив према супстрату на који делују, тако што се на његов назив дода наставак –аза. На активност ензима утиче температура, рН, количина супстрата и количина самог ензима. Када су ови услови оптимални (најповољнији), активност ензима је највећа [1].

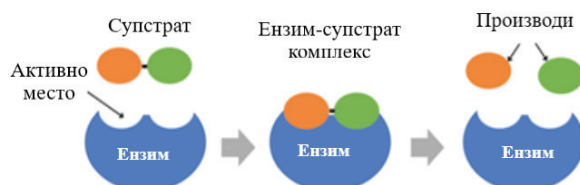
Каталаза је ензим који се налази у скоро свим живим организмима изложеним кисеонику (бактерије, биљке и животиње) и катализује разградњу водоник-пероксида на воду и кисеоник. То је веома важан ензим у заштити ћелије од оксидативног оштећења реактивним кисеоничним врстама [2].

Материјал

- Суви квасац
- Детергент за суђе
- 30% водоник-пероксид
- Прехрамбене боје
- Провидне пластичне чаше



Слика 17. Праћење тока реакције при којој се издваја кисеоник заробљен у пени детергента; љубичасто - двоструко више супстрата у каталазној реакцији.



Слика 16. Поједностављени приказ везивања супстрата за активно (каталитичко) место на ензиму и производа ензимом-катализоване хемијске реакције.

Поступак

У провидне пластичне чаше усуте су по две велике кашике детергента за суђе и по кап прехранбене боје. У прву чашу је усута једна велика кашика 30% раствора водоник-пероксида, а у другу чашу две кашике (различита количина супстрата). Потом је у сваку чашу додато по две кашике раствора квасца (припремљеног према упутству са полеђине кесице) као извора ензима (каталазе), и посматране су промене до којих у чашама долази [12].

Тумачење огледа

Каталаза из квасца катализује превођење водоник-пероксида у воду и кисеоник, а настали кисеоник бива заробљен у пени детергента, чија је запремина пропорционална активности ензима. У првој чаши висина настале пене је мања него у другој, јер је додата мања запремина 30% раствора водоник-пероксида, односно, додато је мање супстрата за каталазу (Слика 17).

Циљ/сврха огледа

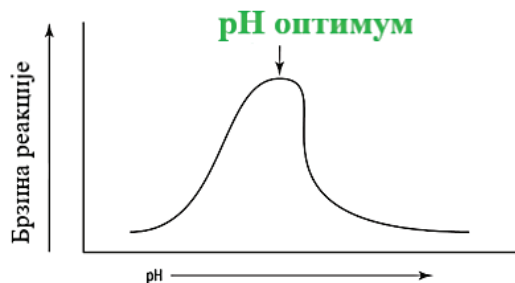
Кроз овај једноставни експеримент могуће је упознати ученике се са појмом ензима и ензимске реакције. Кроз праћење настајања производа реакције катализоване каталазом из квасца (кисеоника заробљеног у пени детергента), у односу на количину присутног супстрата, могуће је продискутовати деловање фактора који утичу на брзину ензимом катализоване хемијске реакције.

Напомена

У овом експерименту је коришћен 30% раствор водоник-пероксида који је опасан за рад, те је неопходно носити сву заштитну опрему: мантил, рукавице и заштитне наочаре. Уместо 30% раствора могуће је искористити 3% водоник-пероксид (доступан у апотекама), али ће реакција бити (знатно) спорија.

2.9. Ензимска рН дуга

На ензимску активност значајно утичу промене рН вредности раствора. Најповољнија рН вредност, у којој је ензим најактивнији, позната је као оптимална рН ензима. Ово је графички илустровано на Слици 18 [2].



Слика 18. Графички приказ рН оптимума.

Екстремно високе или ниске рН вредности генерално доводе до потпуног губитка активности већине ензима. рН је такође фактор стабилности (структуре) ензима; као и код активности, за сваки ензим постоји регион рН оптималне стабилности [2]. Оптимална рН вредност значајно варира од једног ензима до другог (Табела 3).

Табела 3. Примери ензима и њихових рН оптимума.

Ензим	рН оптимум
Пепсин	1,5-1,6
Трипсин	6,8-8,7
Уреаза	7,0
Инвертаза	4,5
Каталаза	7,0

Материјал

- Суви квасац
- Детергент за суђе
- 30% водоник-пероксид
- 2 М раствор хлороводоничне киселине
- 2 М раствор натријум-хидроксида
- Прехрамбене боје
- Епрувете

Поступак

У три епрувете је сипана иста запремина детергента за суђе (на дно), и по кап црвене прехрамбене боје у прву, зелене у другу и плаве у трећу епрувету. У прву („црвену“) епрувету додато је пар капи 2 М раствора хлороводоничне киселине, а у трећу пар капи 2 М раствора натријум-хидроксида. У све три епрувете потом је усута иста запремина 30% раствора водоник-пероксида и иста запремина раствора пекарског квасца (извор каталазе). Посматрано је издвајање кисеоника, односно стварање пене (Слика 19) [13].



Слика 19. Потребан материјал и поставка огледа.

Тумачење огледа

Посматрањем висине пене настале у три епрувете (Слика 20) запажа се да је најмања активност каталазе у „црвеној“, тј. у киселој средини, да је нешто виша у базној, и да је активност највећа у „зеленој“ епрувети. У „црвеној“ епрувети рН је око 3, док је у „плавој“ око 9. Имајући у виду да је рН оптимум каталазе око 7, и за очекивати је да ће њена активност бити највећа у неутралној средини („зелена“ епрувета), а потом у базној („плава“).



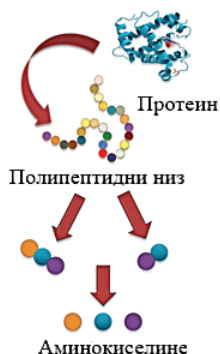
Слика 20. Резултат испитивања активности каталазе на различитим рН вредностима (лево, „плава“ епрувета; средина, „зелена“ епрувета; десно, „црвена“ епрувета).

Циљ/сврха огледа

Каталазин рН оптимум је око 7, што је могуће уочити (показати) оваквим огледом, у ком се њена активност прати у различитим рН условима. На овај једноставан начин могуће је повезати појмове рН и ензимске активности и стабилности и ова запажања применити и на друге ензимске системе.

2.10. Сунђер Бобова кућица на дну мора

Протеазе (назване и пептидазе, протеиназе или протеолитички ензими) су ензими који катализују протеолизу, тј. разграђују протеине на мање полипептиде или појединачне аминокиселине (Слика 21). Они то раде раскидањем пептидних веза унутар протеина хидролизом, реакцијом у којој се молекула воде активира за разградњу пептидне везе. Протеазе су укључене у многе биолошке функције, укључујући варење поједених протеина, катаболизам протеина (разградњу старих/оштећених протеина), као и ћелијску сигнализацију [2].



Слика 21. Принцип деловања ензима протеаза.

Бромелаин је екстракт ензима који се најчешће добија из стабљика ананаса, иако постоји у свим деловима свежег ананаса. Овај екстракт има дугу историју употребе у народној медицини и индустрији хране: користи се у козметички, као локални лек и средство за омекшавање меса. Термин «бромелаин» може се односити на било који од два ензима протеаза екстрахованих из биљака породице *Bromeliaceae*, или на комбинацију ових ензима заједно са другим једињењима из екстракта ананаса [14].

Материјал

- Свеж ананас
- Кесица желатина
- Адекватна посуда

Поступак

Желатин је растворен у води по упутству на кесици и куван до кључања. Након краткотрајног хлађења, додато је пар капи плаве прехранбене боје. Овај раствор је затим пребачен у стаклену куглу са фигурицом Сунђер Боба и остављен преко ноћи у фрижидеру. Након очвршћавања желатина, на врх је стављен комад свежег ананаса, исечен у облику кућице (Слика 22).



Слика 22. Припрема желатина и поставка огледа са ананасом.

Тумачење огледа

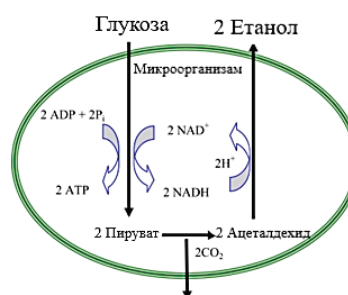
Пар сати након постављања свежег ананаса на врх желатина уочено је како ананас полако тоне ка дну посуде са желатином, односно како се желатин око ананаса раствара. Желатин представља денатурирани колаген који је и тој форми чврст. Дејством протеаза (превасходно бромелаина) из ананаса од колагена настају мањи пептиди који су у течном стању, и тако Сунђер Бобова кућица доспева на дно „мора“.

Циљ/сврха огледа

Овим експериментом могуће је повезати активност протеаза из ананаса са агрегатним стањем желатина, као и да се кроз запажање и пропратна објашњења овај феномен објасни на нивоу молекула. Како овај оглед иде након огледа денатурације протеина, продискутовати са ученицима шта би се десило да је ананас био скуван пре постављања на желатин.

2.11. Квашчева трка балона

Saccharomices cerevisiae, познатији као пекарски квасац, је еукариотски микроорганизам и факултативни анаероб [15]. То значи да квасац може да користи глукозу при аеробном дисању, уз настајање воде и угљен-диоксида, или може и да се подвргне ферментацији у одсуству кисеоника, уз производњу етанола и угљен-диоксида (Слика 23).



Слика 23. Приказ анаеробне ферментације *Saccharomices cerevisiae*.

Материјал

- Пластичне флашице
- Пекарски квасац у коцки
- Бели шећер
- Браон шећер
- Мед
- Балони

Поступак

У четири пластичне флаше одмерено је по 10 g квасца. У другу флашу је потом додато 3 g белог шећера, у трећу 3 g браон шећера, а у четврту 3 g меда. У све четири флаше је потом усудо по 100 mL млаке воде, садржај је промућкан и на врхове флаша постављени су балони. Флаше су до пола замотане крпом и остављене на собној температури да започне ферментација [16].

Тумачење огледа

Након око пола сата запажено је да су се балони надували и да су балони различите величине на свакој флаши (Слика 24). При квашчевој ферментацији, у којој се као полазни супстрат користи глукоза, као крајњи производ се издваја гас, угљен-диоксид. Угљен-диоксид потом пуни балон сразмерно полазној концентрацији глукозе.

У први балон (контрола) није додата глукоза, те је и најмање производа настало. У другом је додата глукоза која је подоста преведена у угљен-диоксид, док је у трећем балону било мање глукозе доступне квасцу. Браон шећер поред глукозе садржи и различите друге

примесе које квасац не користи за свој раст. У флаши са медом („инвертни шећер“) издвојено је још мање угљен-диоксида, сразмерно доступном супстрату.



Слика 24. Изглед балона након пола сата ферментације квасца у присуству различитих супстрата.

Циљ/сврха огледа

Протеини имају различите функције, од којих су неке неизоставни делови метаболичких путева организама. Овај оглед је одличан начин да се ова чињеница визуализује, на примеру метаболизма пекарског квасца. Иако су све коришћене супстанце (бели шећер, браон шећер и мед) слатке, оне не садрже исте количине глукозе коју квасац може да искористи за свој раст (метаболичке процесе).

2.12. Шарени протеини из алги

Фикоцијанин и фикоеритрин су протеини из морских алги. Фикоцијанин је карактеристичне плаве боје, апсорбује наранџасту и црвену светлост, нарочито близу 620 nm (у зависности од типа), а емитује флуоресценцију на око 650 nm (такође у зависности од типа овог протеина), како је приказано на слици 25.



Слика 25. Флуоресцентни протеин фикоцијанин (десно) из цијанобактерије *Spirulina*.

Фикоцијанини се налазе у цијанобактеријама (које се називају и плаво-зелене алге). Назив фикоцијанин потиче од грчког „phycos“ што значи „алге“, а цијанин је од енглеске речи „cyan“, што конвенционално значи нијанса плаво-зелене (близу „aqua“ боје) и потиче

од грчког „kyanos“ што значи „тамно-плава боја“. Фикоцијанин, који производи *Spirulina*, примењује се у индустрији хране као природно средство за бојење, нпр. у слаткишима и сладоледу. Међутим, велика mana је рН и температурна нестабилност овог протеина, које доводи до лаке денатурације и губитка атрактивне боје [17].

Фикоеритрин је црвени протеинско-пигментни комплекс из породице фикобилипротеина, присутан у цијанобактеријама, црвеним алгама и криптофитима, где је додаток главним пигментима хлорофилима у процесу прикупљања светлости за фотосинтезу. Црвена боја потиче од простетичне групе, фикоеритробилина, који фикоеритрину даје црвену боју (Слика 26). Као и сви фикобилипротеини, састоји се од протеинског дела који ковалентно везује (тиоетарска веза) фикобилинске хромофоре. Пикови апсорпције у спектру видљиве светлости су на око 495 и 545/566 nm, у зависности од типа хромофора и самог протеина [17]. Снажан максимум емисије постоји на 575 ± 10 nm; фикоеритрин апсорбује благо плаво-зелену/жућкасту светлост и емитује благо наранџасто-жуту светлост (Слика 26).



Слика 26. Флуоресцентни протеин фикоеритрин (десно) из црвена алге *Porphyra*.

Материјал

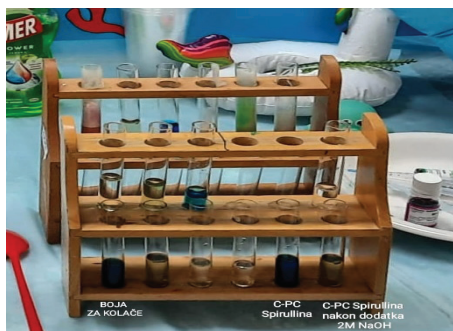
- Раствор фикоцијанина
- Раствор фикоеритрина
- 2 М раствор натријум-хидроксида
- Прехрамбене боје
- Епрувете

Поступак

Овај оглед осмишљен је уз помоћ предметног наставника и асистента. У две епрувете је сипано по 2 mL воде. У прву је додато пар капи плаве прехрамбене боје, а у другу пар капи раствора фикоцијанина. Епрувете су промућкане и упоређене су иницијалне боје. Потом је у обе епрувете додато по пар капи 2 М раствора натријум-хидроксида и праћене су визуелне промене.

Тумачење огледа

Након додатка пар капи 2 М раствора NaOH, раствор фикоцијанина се обезбојио (из тамно плаве је прешао у прозирну боју), услед денатурације протеина јаком базом (Слика 27). При денатурацији фикоцијанина и фикоеритрина долази до губитка тродимензионалне структуре (конформације) протеина и окружења хромофоре у раствору која даје карактеристичну боју. С друге стране, раствор са (комерцијалном) плавом прехрамбеном бојом није променио боју, услед велике стабилности вештачке (анјонске) боје.



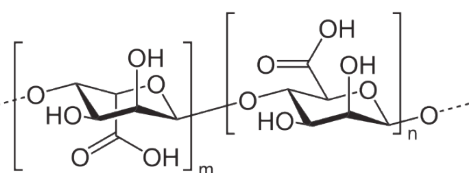
Слика 27. Промена боје запажена у раствору (плавог) протеина фикоцијанина при додатку 2 М раствора натријум-хидроксида.

Циљ/сврха огледа

Боје су свуда око нас, а овим огледом се јасно види да плава боја потиче како од малих синтетичких молекула карактеристичне структуре, тако и од великих молекула као што су сложени протеини цијанобактерија/алги. Осим тога, могуће је увидети да је хромофора одговорна за боју раствора протеина алги саставни део протеина и да боја обојених протеина зависи од стабилности њихове терцијарне структуре.

2.13. Протеинске перлице на морском дну

Алгинска киселина (или алгин) је природни, јестиви полисахарид смеђих алги. То је хидрофилни полисахарид који формира вискозну масу када се помеша са водом. Представља линеарни кополимер са (1→4)-везаним остацима β-D-мануронске киселине (М) и α-L-гулуронске киселине (Г), ковалентно повезаних у различитим секвенцама (Слика 28). Мономери се могу појавити у хомополимерним блоковима узастопних Г остатака (Г блокови), узастопних М остатака (М блокови), или наизменичних М и Г остатака (МГ блокови). Када се натријум из натријум-алгината замени калцијумом, настаје калцијум-алгинат, у води нерастворан полимер [18].



Слика 28. Основа структуре алгинске киселине.

Протеини се могу стабилизovati на различите начине; један је инкапсулација протеина са различитим биополимерима. Терцијарна структура оваквих протеина је отпорнија на промену услова средине, као што су рН и температура. У случају ензима, важно је да активност инкапсулираних протеина буде очувана.

Материјал

- 2% раствор натријум-алгината у 100 mM ацетатном пуферу рН 5
- 10% раствор калцијум-карбоната у 100 mM ацетатном пуферу рН 5
- Раствор фикоцијанина (интензивније плаве боје)
- 2 М раствор натријум-хидроксида

- Шприц
- Стаклена чаша

Поступак

Овај оглед осмишљен је уз помоћ предметног наставника и асистента. Раствор натријум-алгината у ацетатном пуферу и раствор фикоцијанина су помешани у односу 1:1. Смеша је увучена у шприц и потом укапавана у раствор калцијум-карбоната у ацетатном пуферу, при чему су се формирале куглице (Слика 29). Пар куглица је потом пребачено у епрувету и поновљен је поступак из огледа 2.12, односно додато је пар капи 2 М раствора натријум-хидроксида.



Слика 29. Припрема куглица алгината са фикоцијанином.

Тумачење огледа

При контакту капи алгината са раствором у чаши, долази до измене натријума са калцијумом, при чему настаје у води нерастворан калцијум-алгинат, који садржи плави фикоцијанин. Овако стабилизovan протеин се неће одмах денатурирати при додатку 2 М раствора натријум-хидроксида (као што је случај са раствором протеина без алгината), што се запажа одржањем плаве боје куглица током неколико минута (Слика 29).

Циљ/сврха огледа

Овим огледом показано је да постоје начини да се стабилност протеина побољша, на пример кроз припрему алгинатних куглица са фикоцијанином. Уз пропратна објашњења, могуће је ученици науче основе процеса имобилизације и инкапсулације (обојених) протеина.

Захвалница: Захваљујем се предметном наставнику, професору др Милану Николићу на ентузијазму и времену уложеном у планирању огледа и самог курса, као и асистенту Луки Величковићу на издвојеном времену и помоћи током припреме и за време огледног часа. Посебну захвалност упућујем колегицима са предмета, које су ове вежбе учиниле незаборавним искуством.

Abstract

Andela PETROVIĆ

On the blue sea-shore – the magical world of proteins

University of Belgrade - Faculty of Chemistry, Department of Biochemistry, Studentski trg 12-16, 11158 Belgrade (e-mail contact: andjelao74@gmail.com)

Along with nucleic acids, proteins are the molecules of life; the study of whose complex structure and factors regulate their activity and function is the basis of the education of every chemist/biochemist. In this paper, a collection of (theoretical and practical) exercises of different difficulties, suitable for working with students at varying levels of education and different prior knowledge, has been collected and described.

3. РЕФЕРЕНЦЕ

- Whitford D (2013). Proteins: structure and function. John Wiley & Sons.
- Voet D & Voet JG (2010). Biochemistry. John Wiley & Sons.
- Damodaran S (2017). Food proteins: an overview. Food proteins and their applications, 1-24.
- Protein structural organization. YouTube. <https://youtu.be/HWd4zu6ZA2g> [cited 12 June 2023]
- Khan Academy. Protein structure: Primary, secondary, Tertiary & Quaternary (article). <https://www.khanacademy.org/science/biology/macromolecules/proteins-and-amino-acids/a/orders-of-protein-structure>
- The principle and method of polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE). The principle and method of polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) | MBL Life Science JAPAN. <https://ruo.mbl.co.jp/bio/e/support/method/sds-page.html>
- Zoran Vujčić, Eksperimentalna biohemija - praktikum, Rantec, Beograd 2002. ISBN 86-83533-09-3
- Food nutrition: Milk testing laboratory: Milk protein analysis. <https://kendricklabs.com/food-nutrition/>
- Why protein damaged in the alcohol? Science Experiments for Kids - Ronyes Tech. <https://www.ronyestech.com/2020/05/as-we-all-know-that-protein-becomes.html>
- What would happen if you drink cola and milk at the same time? Cola and milk experiment. Science Experiments for Kids - Ronyes Tech. <https://www.ronyestech.com/2020/05/cola-and-milk-experiment.html>
- YouTube. Food test – protein; <https://www.youtube.com/watch?v=y9mSMQLcHrs>
- YouTube. Explore enzyme activity! <https://www.youtube.com/watch?v=FxjXrCyc6o>
- YouTube. How pH effects enzyme activity? <https://www.youtube.com/watch?v=34VkaCJggOM>
- YouTube. Pineapple enzymes and gelatin - the SCI guys: Science at home. <https://youtu.be/7t7v8w7EqTM>
- Leupold S, Hubmann G, Litsios A, Meinema AC, Takhaveev V, Papagiannakis A, Heinemann M. Saccharomyces cerevisiae goes through distinct metabolic phases during its replicative lifespan. Elife, 2019;8:e41046.
- Abraham, D. Amazingly cool classic science: Yeast science experiment. Lemon Lime Adventures. <https://lemonlimeadventures.com/classic-yeast-science-experiment/>
- Dagnino-Leone J, Figueroa CP, Castañeda ML, Youlton AD, Vallejos-Almirall A, Agurto-Muñoz A, Pérez JP, Agurto-Muñoz C. Phycobiliproteins: Structural aspects, functional characteristics, and biotechnological perspectives. Comput Struct Biotechnol J. 2022; 20:1506-1527.
- <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Alginate%20Acid%20TR.pdf>



ВЕСТИ ИЗ ШКОЛЕ



Игор МАТИЈАШЕВИЋ

Е-пошта: igor.matijasevic@deveta.edu.rs

“КАКО ЈЕ КОЛБЕ УВРЕДИО ВАНТ ХОФА?” – ЧАС ПРЕМА СМЕРНИЦАМА

УВОД

Због трагичних мајских догађаја Министарство просвете наложило је школама да се школска 2023/2024. година започне са оним активностима ученика које би доприносиле развоју позитивних људских вредности код ученика и унапређивању односа заснованих на међусобном поштовању, сарадњи и солидарности уз уважавање различитости [1]. Школе су имале слободу да осмисле и

остваре такве активности. У овом раду описао сам како су часови хемије (можда) допринели остваривању помешаног васпитног циља. Искористио сам једну од познатих епизода неакадемског понашања научника – она о увредљивом писању Колбеа против вант Хофа и његове идеје о тетраедарској конфигурацији угљениковог атома – као подлога за разматрање међуљудских односа. Остварена су два часа у два одељења трећег разреда природно-математичког смера гимназије.

ПРВИ ЧАС

На првом, од два часа, са ученицима сам разговарао о једном педагошком моделу “успешне одељењске заједнице” [2]. Овај модел полази од тога да у успешној одељењској заједници, њени чланови: сарађују, конструктивно решавају сукобе и поштују грађанске вредности [2]. За потребе часа, поменути модел унеколико сам прилагодио и путем примера и питања настојао сам подстакнути ученике да уоче кључне идеје модела.

Ток часа. Подсетио сам ученике на почетку часа (јер сам о циљу тог и наредног часа говорио на претходном часу) да ћемо разговарати о “успешној одељењској заједници”. Указао сам на то да сазнања о успешној одељењској заједници произилазе из психолошких и педагошких истраживања којима је установљено да се успешна одељењска заједница препознаје по одређеним активностима чланова заједнице. (Искористио сам прилику да на помен истраживања покажем и књигу, реф. 2, коју сам користио за припремање часа.). Пре него што сам “дао” основу модела, омогућио сам нешто времена да ученици искажу на шта су помислили на помен “успешна одељењска заједница”. Неки ученици су препознали да се “успешан” заправо не односи у првом реду на академски успех, него на међуљудске односе. Потом сам указао да поменуте активности јесу: (1) *сарадња*, (2) *конструктивно решавање сукоба* и (3) *поштовање грађанских вредности*. У наставку часа, свакој активности понаособ било је посвећено 10–15 минута.

(1) О сарадњи смо прво разговарали у смислу шта је то “сарадња”. Намера је била да се дође до схватања да је сарадња *заједнички рад у доспизању заједничкој циља*. Коментарисали смо нагласак на двапут помињање речи “заједнички”. Овде сам поставио и питање о њиховим искуствима сарадње из претходних разреда. Показало се да постоји много материјала за преиспитивање поменутог схватања *сарадње*, попут оне у пројектној настави. Намера је даље била и да ученици уоче и то да сарадња изискује и примену правила и активности из преостале две групе.

(2) Прво сам указао на то да су међуљудски сукоби саставни део човековог бивствовања. Питао сам их за “дефиницију” школског сукоба, за примере и разлоге њихове појаве и у којој мери се решавају. Основна намера овог дела часа односила се на схватања да је нужно решавати сукобе (не дозволити да се продубе или остану нерешени) и да је решавање сукоба једна од животних вештина која се уче и усавршава током живота. Говорио сам кратко о методама конструктивног решавања сукоба: преговарању и медијацији (преговарање уз посредника). За пример сам узео замишљен сукоб на часу физичког васпитања (у оба одељења су ученици поменули да је сукоб на часу физичког васпитања међу примерима школског сукоба). Прво сам указао на вештину преговарања, у смислу компромиса. Нагласио сам да је пут ка решењу сукоба преговарањем онда када једна страна схвати да је део сукоба и другој страни укаже на појаву стања сукоба којег треба решити. Ако то не уроди плодом, треба се обратити посреднику (нпр. неком од ученика, наставнику итд.).

(3) Преостали део часа посвећен је идеји поштовања грађанских вредности. Нисам “идеју грађанских вредности” додатно појашњавао. Овај део часа започео сам питањима:

- У четвртном разреду у одељење је дошао ученик који носи мајицу дугиних боја. Како би типично одељење реаговало?

- У четвртном разреду “омиљени” ученик долази са мајицом дугиних боја. Како би типично одељење реаговало?

Зашто би одељење тако реаговало у ова два случаја?

Питања су имала и за циљ да подстакну ученике да размишљају о неким садржајима који су учили у претходном разреду из психологије (нпр. о предрасудама). Требало је овај део још и да обухвати експлицитно помињање грађанских вредности као основа развоја пожељних међуљудских односа, али за то није било времена. Ипак, као битан закључак из разматрања поменуте замишљене ситуације јесте тај да су људи склони етикетирању других особа, иако не располажу информацијама о њима, и да је мала међуљудска толеранција.

ДРУГИ ЧАС

Основа другог часа била је чувена “епизода” из историје хемије – неакадемско понашање Хермана Колбе према вант Хофу. Херман Колбе један је од хемичара који је допринео развоју органске хемије средином 19. века. Средином 19. века тек су се почеле слагати коцкице о конституцији молекула (редослед повезивања атома) и синтези органских молекула и Колбе је својим радом томе допринео. (Читалац треба да има на уму да је термин “конституција” у овом раду употребљен у савременом схватању – редослед повезивања атома и природа повезаности. Средином 19. века “конституција” се користила на елементални састав, и на групе атома (радикале), а од почетка 60-их година почиње да се користи термин “структура молекула” у смислу редоследа повезивања атома и природе повезаности. Данас би термин структура обухватао конституцију и стереохемију молекула). Многи истакнути хемичари су одбијали могућност да је конституција доступна хемијским експериментима. Када је почетком 60-их година сазрела идеја о конституцији, неки хемичари млађе генерације су је прихватили. Крајем 60-тих година појавили су се и експериментални резултати који су упућивали на неопходност схватања структуре молекула не само у смислу конституције, него и стереохемије. Нажалост, Колбе је био чврстог уверења да није могуће спознати стереохемију молекула. Вант Хоф је 1874. претпоставио могућност тетраедарског просторног распореда атома (атомских група) повезаних за угљеников атом. Тиме су били објашњени Вислиценусови експериментални резултати о постојању двеју млечних киселина. Мада је и сам Вислиценус сматрао да је потребно разматрати “положај атома у простору”, није се одважио да претпостави решење [3]. (Искористио сам овде и прилику да поменем да је Сима Лозанић 1869/1870, студирао код Вислиценуса [4].) Вант Хофов рад је прво био објављен на холандском језику па није испрва изазвао реакције водећих хемичара, што се променило када је рад преведен на француски

и, Вислиценусовим залагањем, на немачки језик 1877. године. Исте године, Колбе се крајње непримерено огласио у свом часопису *Journal für praktische Chemie*, критикујући вант Хофа, али и Вислиценуса [3]. Колбеове речи и Вант Хофов и Вислиценусов одговор били су основа другог часа.

Ток часа. На почетку часа осврнули смо се на претходни час (неколико питања и одговора). Потом сам указао на то да ћемо у наставку часа разматрати како се нека разматрања са претходног часа могу и шире применити – и то на научну заједницу, тј. на групу људи који нису нужно везани истим простором. (Овде сам дао себи слободу да тумачим модел успешне одељењске заједнице мимо граница у којима је испитиван. Критика у том смислу је оправдана, мада сматрам да је извештај о друштвеној групи био неопходан да се одабрана историјска епизода искористи у васпитне сврхе.) Како је наставак часа изискивао да се разуме идеја “тетраедарске конфигурације”, то сам десетак минута посветио тумачењу структуре молекула метана. (О стереохемијским аспектима структуре молекула ученици су учили и у претходна два разреда. Нажалост, такви садржаји се тешко савладавају.) Укратко: Почео сам писањем на табли молекулске формуле метана као увод у питања о квалитативном и квантитативном тумачењу формуле CH_4 . Потом сам приказао Кекилеову формулу указујући на то да је то симболички приказ конституције молекула метана, а потом сам приказао перспективну формулу метана и повезао симболе H , тако да се увиди да су они на теменима тетраедра и нагласио разлику између конституције и стереохемије молекула. У наредних пет минута нагласио сам да је Херман Колбе значајан хемичар који је помогао да се увиди конституција органских молекула, али да је на идеју вант Хофа реаговао бурно, оспоравајући могућност да се стереохемија експериментално закључи. Потом сам поделио радни лист (прилог 1) и рекао да ће из материјала увидети шта је рекао Колбе, а како су одговорили Вислиценус и вант Хоф.

Након што су ученици прочитали текст, поставио сам неколико питања (1–4); намера је била да се кроз разговор уоче карактеристике модела са претходног часа: Научници су упућени једни на друге – неопходно је да сарађују. Њихов заједнички рад доводиће и до међусобног неслагања па и сукоба. Зашто се јављају сукови? Шта у тим ситуацијама треба да се ради?

(1) Прво питање односило се на то да ли су ученици разумели идеју стереохемије молекула и разлике између конституције и стереохемије.

(2) Шта је Херман Колбе рекао? Зашто се то може сматрати увредљивим и неакадемским понашањем?

Циљ је био да ученици уоче да је Колбе говорио не само о одређеној идеји, него и о вант Хофовим животним околностима (на пример, то што ради у Ветеринарској школи). У том смислу, са ученицима је прокоментарисано да су такви вербални “испади” чест извор сукоба.

(3) Како су одговорили Вислиценус и вант Хоф? Чиме се одликују одговори? Да ли су такви одговори “позив” на продубљивање или смиривање сукоба?

Циљ је био да се увиди да у одговору оба научника нема “прозивања” Колбеових животних околности, него позивање на резултате истраживања. Уједно, одговори су послужили да се још једном нагласи потреба избегавања, односно решавања сукоба.

(4) На који начин је написан текст?

Питање је постављено из разлога што су ученици прошле године, у оквиру пројектне наставе, учили о академском писању (позивање на изворе и писање извора) те сам желео проверити да ли ће препознати у тексту одлике академског писања. Овим разматрањима завршен је час.

УМЕСТО ЗАКЉУЧКА

Развој њоизийивних људских вредности код ученика и унајређивање односа заснованих на међусобном њоизийовању, сарадњи и солидарности уз уважавање различитости, представља огроман педагошки “залог” и превођење оваквог циља у конкретне часове није лако. Ипак, та чињеница није, и не треба да буде, оправдање да се међу уобичајеним, ђачким активностима, не нађе простора и за активности усмереним на развој и унапређење међуљудских односа.

Припрема часова узела је више од 20 сати (читање одговарајућих поглавља уџбеника у референцама 2,3,5, писање материјала, увежбавање сценарија часа итд). Општи утисак о часовима био је задовољавајући, мада сам свестан и тога да је у неким моментима требало поставити другачија питања. Без обзира на то, сматрам да сама идеја (више но начин на који су часови остварени) може бити од користи наставницима хемије, због чега је овај рад и написан.

Abstract

KOLBE'S CRITICISM OF VAN'T HOFF

Igor MATIJAŠEVIĆ, Ninth Gymnasium “Mihailo Petrović Alas”

Due to the May 3 tragedy, the Ministry of Education required that schools in the first two weeks of September prepare teaching situations about positive human values and student relationships based on mutual respect, cooperation, solidarity, and diversity. This paper presents two chemistry-period lessons. The first consisted of dialogue about cooperative communities, constructive conflict resolution, and civic values. The second consisted of dialogue about Colbe's criticism of van't Hoff's tetrahedron configuration of carbon atoms.

ЛИТЕРАТУРА

1. Министарство просвете (18.8. 2023), *Смернице за организацију и реализацију образовно-васпитног рада у средњој школи у школској 2023/2024.*
2. Anita Woolfolk, Malcolm Hughes, Vivienne Walkup (2008). *Psychology in Education*, Pearson Education, Harlow.

У књизи се говори о “The classroom community...Three Cs for safe and productive schools: cooperative community, constructive conflict resolution, civic values” (стр. 500). Претходно је преведено у *успешна одељењска заједница – сарадња, конструктивно решавање сукоба и поштовање браћанских вредности*.

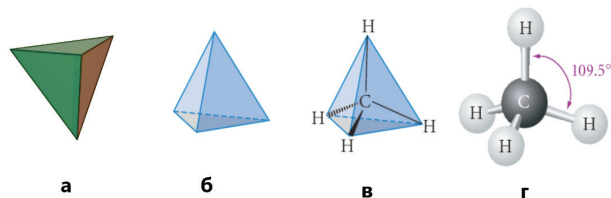
3. Drago Grdenić (2001). *Povijest kemije*, Novi Liber i Školska knjiga, Zagreb.
4. Снежана Бојовић (1993), *Сима Лозанић у српској науци и култури* (каталог за изложбу), Галерија САНУ и Музеј науке и технике, Београд.
5. Alan J. Roche (199), *The Quiet Revolution: Hermann Kolbe and the Science of Organic Chemistry*. University of California Press, Berkeley.

Доступно на: <https://publishing.cdlib.org/ucpressebooks/view?docId=ft5g500723&chunk.id=doe9646&toc.depth=1&toc.id=doe9025&brand=ucpress> (присуљено 2.9.2023)

Тематска настава: Развој позитивних људских вредности код ученика – унапређивање односа заснованих на међусобном поштовању, сарадњи и солидарности уз уважавање различитости

Колбеова увреда вант Хофа

Након што сте се подсетили да *структура молекула* обухвата не само којим редоследом су атоми повезани ковалентним везама (конституција молекула) него и како су ти атоми распоређени у простору (стереохемија молекула), следи текст о томе како је 1877. Херман Колбе, један од водећих хемичара у том периоду, увредљиво говорио о Јакобу вант Хофу и његовој *Хемији у простору* – књизи у којој је по први пут говорио о тетраедарском размештају атома/атомских група око атома угљеника у органским молекулама. На слици испод објашњена је структура молекула метана. На слици а и б приказано је геометријско тело *тетраедар* (б се добија ротацијом а; да ли уочавате?) Уношењем симбола/куглица атома угљеника у центар тетраедра, а атома водоника на теме тетраедра, добија се тзв. тетраедарски размештај атома водоника у односу на атом угљеника и тиме је показана структура молекула метана (в, г).



Слика 1.

Вант Хоф је 1901. године добио Нобелову награду за допринос у проучавању раствора и реакција у раствору.

Хемија, као наука, формирана је крајем 18. века. Увођењем идеје атома почетком 19. века омогућено је да се хемијске промене тумаче на честичном нивоу. Међутим, требало је још пет деценија да се схвати конституција најједноставнијих органских молекула. Крајем 1860-их добијени су експериментални резултати који

су указали на то да је потребно разматрати и просторни распоред атома у молекулу. Али, изван број тада водећих хемичара одлучно је тврдило да “хемију у простору” није могуће спознати. Херман Колбе био је један од тих хемичара. Иако је својим радом допринео сазнању о конституцији органских молекула, пред крај живота својим деловањем је постао “терет” за развој органске хемије.

Вислиценус, такође један од значајних хемичара друге половине 19. века, објавио је 1869. и 1873. радове којима је указао на потребу разматрања просторног распореда атома као начин да се објасни структура неких молекула. Вант Хоф објавио је (на холандском језику) брошуру – *Хемија у простору*, у којој је изнео идеју о тетраедарском размештају четирију атома (атомских група) око угљениковог атома. Брошура је 1875. била објављена на француском језику (*La Chimie dans L'espace*), а 1877. и на немачком језику (*Die Lagerung der Atome im Raume*). То је омогућило да се хемичари широм света упознају са *тетраедарском идејом* и да се о томе изјасне. Колбе је у моменту када је дао своју критику имао 56 година, а вант Хоф 22 године и био је тек постављен за предавача хемије и физике на Ветеринарској школи у Утрехту.



Слика 2. Херман Колбе (Hermann Kolbe) 1818 – 1884



Слика 3. Јоханес Вислиценус (Johannes Wislicenus) 1835 – 1902



Слика 4. Јакоб Хенрик вант Хоф (Jacobus Henricus van't Hoff) 1852 – 1911

Херман Колбе се жалио на некритичност вант Хофа и преводиоца (сарадника Вислиценуса) што са таквом сигурношћу просуђују проблеме “који никада неће бити решени, а њиховом решавању прилазе дрскошћу која запањује правог научника”. “Не бих се осврнуо на тај рад...да га није узео у заштиту истакнути хемичар (мисли на Вислиценуса) и препоручио га као вредно

достигнуће. Неком др Ј.Х. вант Хофу на Ветеринарској школи у Утрехту не свиђа се, изгледа, егзактно хемијско истраживање. Више му одговара узјашити Пегаза (очито посуђеног у стаји Ветеринарске школе), да би у својој *La Chimie dans L'espace* објавио како му се с хемијског Парнаса, на који се био храбро попео, причиња размештај атома у простору.” [1, стр. 698.] Вислиценус и Вант Хоф су овако одговорили [2].



Пегаз, крилати коњ - митско биће које живи на планини Парнас

Вислиценус (у писму Колбеу 1877):

“Вероватно ниси проучио ван’т Хофов есеј. . . [јер] како си другачије могао да ме прекориш (по логици коју не разумем) за склоност ка спиритуализму, или да замериш младом вант Хофу његову позицију у Ветеринар

ској школи, или преводиоцу Херману... Никада нисам сумњао да је жар за истином оно што води твоје критичко перо; али са друге стране жалим што изгледа не признајеш никакву могућност сопствене погрешности, што сви морају да признају...”

Ван’т Хоф (одговор на Колбеово писање 1877):

“Теорија којој до сада није супротстављена ниједна чињеница може се даље испитивати само експериментално. Када неко, чак и тако добар хемичар као што је Колбе, тврди да хемичар који још није добро познат и који је запослен у Ветеринарској школи не треба да се замара теоријама. . . могу само да кажем да такво понашање, срећом, није знак времена, већ се мора посматрати као одлика једног појединца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Drago Grdenić (2001), *Povijest kemije*, Novi Liber i Školska knjiga, Zagreb.
2. Alan J. Rocke (199), *The Quiet Revolution: Hermann Kolbe and the Science of Organic Chemistry*. University of California Press, Berkeley.

Доступно на: <https://publishing.cdlib.org/ucpressebooks/view?docId=fts500723&chunk.id=doe9646&toc.depth=1&toc.id=doe9025&brand=ucpress> (присупљено 2.9.2023)



Проф. др Ратко Јанков, уредник Хемијског прегледа

Извештај о одржаним АПРИЛСКИМ ДАНИМА О НАСТАВИ ХЕМИЈЕ - 32. стручно усавршавање наставника хемије и 4. конференција методике наставе хемије

Априлски дани о настави хемије (АД2023), у организацији Српског хемијског друштва и Универзитета у Београду - Хемијског факултета, одржани су 24. и 25. априла 2023. године на Хемијском факултету у Београду. Због пандемије COVID-19 Априлски дани нису одржани две године (2020. и 2021), а 2022. године је овај вид стручног усавршавања наставника хемије одржан онлајн помоћу апликације MS Teams. Ове године скуп је одржан уживо према веома садржајном програму (у прилогу извештаја).

Циљ овогодишњих Априлских дана је био унапређивање компетенција наставника хемије за примену нових метода наставе и учења хемије, и праћења и вредновања постигнућа ученика, према савременим трендовима у образовању. Скуп су отворили декан Хемијског факултета, проф. др Горан Роглић, председник Српског хемијског друштва, проф. др Душан Сладић и потпредседник Српског хемијског друштва и председник Српског хемијског

друштва - Хемијског друштва Војводине, проф. др Сузана Јовановић Шанта. Одржана су сва предавања према програму скупа, обе планиране радионице и осам од девет саопштења. Тако су учесници имали прилику да чују десет предавања, осам саопштења, да учествују у једној од две радионице које су се одвијале паралелно, као и у традиционалним разговорима (трибини) у последњем делу АД. Предавачи су били са четири универзитета у Србији (Универзитет у Београду, Универзитет у Новом Саду, Универзитет у Крагујевцу и Универзитет у Нишу) и са Свеучилишта у Загребу. Теме предавања су биле следеће:

1. **В. проф. др Милан Р. Николић**, Универзитет у Београду - Хемијски факултет: *Хемија среће*
2. **В. проф. др Драгиња Мрвош Сермек**, Свеучилиште у Загребу, Природословно-математички факултет: *Исход радара или о ученичким концепцијама*
3. **Проф. др Драгица Д. Тривић**, Универзитет у Београду - Хемијски факултет: *Трендови у*

доуниверзитетском образовању у области хемије у свешћу и код нас

4. **Доц. др Јелена Ђурђевић Николић**, Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет: *Развијање прегудејничких комитенција ученика применом савремених метода наставе хемије*
5. **Доц. др Саша Хорват**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет: *Предлој експериментална за одређивање одабраних физичко-хемијских константи у настави хемије*
6. **Проф. др Јасна Адамов и др Станислава Олић Нинковић, научни сарадник**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет: *Гејмификација наставе хемије*
7. **Доц. др Тамара Рончевић**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет: *Примена шестова контролисаних и слободних асоцијација у настави хемије*
8. **Проф. др Данијела Костић**, Универзитет у Нишу, Природно-математички факултет: *Периодни систем елемената кроз историју*
9. **Доц. др Весна Милановић Маштраповић**, Универзитет у Београду - Хемијски факултет: *Хемија као део друштва кроз векове - наставно искуство са студентима Карловој Универзитету у Прагу*
10. **Проф. др Сузана Јовановић Шанта**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет: *Неоходна знања диохемије да би се здраво живело - како одабрати и представити ученицима праве теме*

Саопштења на скупу су се односила на следеће теме:

1. **Проф. др Снежана Бојовић и Слађана Савић, мастер хемичар**, Универзитет у Београду - Хемијски факултет: *Научни скуп поводом 175 година од рођења Симе Лозанића: Допринос Симе Лозанића науци, образовању, привреди и друштву*
2. **Милош С. Козић**, Основна школа „Уједињене нације“, Београд; **проф. др Драгица Д. Тривић**, Универзитет у Београду - Хемијски факултет: *Шта основци мисле о садржајима индустријске и примењене хемије у настави хемије*
3. **Милош С. Козић**, Основна школа „Уједињене нације“, Београд; **проф. др Драгица Д. Тривић**, Универзитет у Београду - Хемијски факултет: *Ставови осмака о учењу хемије у оквиру виртуелне посете прехрамбеној индустрији и производњи воћних сокова*
4. **Др Снежана Каламковић**, ОШ „Прва војвођанска бригада“, Нови Сад; **Весна Прекрповић**, ОШ „Иво Лола Рибар“, Нови Сад: *Хемија и природне науке на e-twinning порталу*
5. **Љубинка Зарков**, ОШ „Јован Јовановић Змај“, Свилајнац: *Хемија у Еко-школи*
6. **Слађана Савић, мастер хемичар, проф. др Ксенија Стојановић, Небојша Радовић**, Универзитет у Београду - Хемијски факултет:

Хемија и ликовна уметност: синтеза именита берлинској палати и њеова примена

7. **Даница Рашић, доц. др Саша Хорват, доц. др Тамара Рончевић, в. проф. др Душица Родић**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет: *Значај хемијских садржаја за образовне профиле средње медицинске струке*
8. **Вук Спасић, Лидија Р. Ралевић, мастер професор хемије, проф. др Драгица Д. Тривић, доц. др Биљана Томашевић**, Универзитет у Београду - Хемијски факултет: *Мислионцеције ученика основних школа у вези са структуром, својствима и променама супстанци*

Одржане су следеће радионице:

1. **Проф. др Јасна Адамов**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет: *Escape classroom у понављању и утврђивању хемијских наставних садржаја*
2. **Доц. др Биљана Томашевић и Лидија Ралевић, мастер професор хемије**, Универзитет у Београду - Хемијски факултет: *Can You Tibe It? Припрема и примена видео-материјала у настави хемије*

Разговоре на тему *Такмичења из хемије и друге активности СХД на унапређивању наставе и учења хемије* водили су **проф. др Душан Сладић**, Универзитет у Београду - Хемијски факултет, **Видак Раичевић**, истраживач сарадник, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет и **проф. др Сузана Јовановић Шанта**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет.

На скупу је било укупно 68 учесника (50 наставника хемије из основних и средњих школа и 18 учесника са поменутих универзитета). Према оцени учесника избор и приказ тема одговарао је њиховим интересовањима и потребама у наставној пракси. Наставници основних и средњих школа су оценили скуп просечном оценом 4,80.

Програмски одбор скупа чинили су: Драгица Тривић, Весна Милановић Маштраповић, Биљана Томашевић, Лидија Ралевић, Душица Родић, Тамара Рончевић, Саша Хорват и Јасна Адамов.

Свим колегицима и колегама се захваљујем на великом залагању да се постигне циљ одржавања **Априлских дана о настави хемије** у 2023. години. Захваљујем се управама Српског хемијског друштва и Хемијског факултета Универзитета у Београду за пружену подршку и помоћ у организацији и реализацији скупа, Вери Ђушић и Дијани Курандић из Канцеларије Српског хемијског друштва на ангажовању у припремању и реализацији скупа, као и студентима Универзитета у Београду - Хемијског факултета који су помогли у реализацији скупа.

У Београду, 5.5.2023.

Проф. др Драгица Тривић